



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL



RECUPERAÇÃO E INDICADORES DA FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMA
AGRÍCOLA DE SUBSISTÊNCIA NO NORDESTE PARAENSE

DÉBORA VEIGA DE ARAGÃO

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da
Amazônia (UFRA) e à Embrapa Amazônia Oriental para
obtenção do título de Doutor em Ciências Agrárias – Área
de Concentração Agroecossistemas Sustentáveis da
Amazônia

Orientador: Dr. Cláudio José Reis de Carvalho

BELÉM – PARÁ
AGOSTO – 2010

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca da UFRA**

Aragão, Débora Veiga de

Recuperação e indicadores da fertilidade do solo em sistema agrícola de subsistência no Nordeste Paraense./Débora Veiga de Aragão - Belém, 2010.

164 f.:il.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia) – Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, 2010.

1. Corte e trituração 2. Fosfato natural 3. Adubação verde 4. Feijão-de-porco 5. Guandu 6. Titônia 7. Mandioca 8. Milho I. Título.

CDD – 631.4



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL



RECUPERAÇÃO E INDICADORES DA FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMA
AGRÍCOLA DE SUBSISTÊNCIA NO NORDESTE PARAENSE

DÉBORA VEIGA DE ARAGÃO

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da
Amazônia (UFRA) e à Embrapa Amazônia Oriental para
obtenção do título de Doutor em Ciências Agrárias – Área
de Concentração Agroecossistemas Sustentáveis da
Amazônia

Aprovada em 30 de agosto de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Cláudio José Reis de Carvalho
Embrapa Amazônia Oriental

Dr. Osvaldo Ryohei Kato
Embrapa Amazônia Oriental

Dr. Steel Silva Vasconcelos
Embrapa Amazônia Oriental

Dr. Francisco de Assis Oliveira
Universidade Federal Rural da Amazônia

Dra. Gladys Ferreira de Sousa
Embrapa Amazônia Oriental

Aos meus pais **Jonas e Cleide**,

Ao meu esposo **Ivan Luiz**, e

Às minhas filhas **Bárbara e Beatriz**

Pelo incentivo, apoio e renúncia durante este estudo.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus que me deu uma família maravilhosa!

Ao Dr. Cláudio José Reis de Carvalho pela confiança, apoio e orientação no estudo.

À Universidade Federal Rural da Amazônia e à Embrapa Amazônia Oriental pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Roberto César Lobo da Costa, Coordenador do Curso de Doutorado UFRA/Embrapa, e à dona Shirley, secretária da Coordenadoria do Curso, pela atenção.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo auxílio financeiro da pesquisa.

Ao projeto Tipitamba, em especial aos pesquisadores Dra. Socorro Kato (*in memoriam*) e Dr. Osvaldo Kato, à engenheira florestal Josie Helen e aos técnicos Ednaldo Nascimento e Marcelo Marques pelo apoio logístico e técnico.

Aos motoristas do projeto Tipitamba, Malá e Gonzaga, pelos momentos de descontração nas viagens e pela ajuda no estudo, que se estendeu além da condução à área de campo.

Ao Sr. João de Barros por conceder parte de sua área para realização deste estudo.

Ao pessoal de campo, Preto, Barata, Nei, Cícero, Josivaldo, e entre outros, pela ajuda na instalação e condução deste estudo.

Aos amigos do Laboratório de Ecofisiologia da Embrapa Amazônia Oriental pelo apoio e ajuda nas análises, em especial aos pesquisadores Drs. Steel Vasconcelos e MSc.Tereza Primo, ao analista Cléo Marcelo, aos assistentes Ivanildo Trindade, Neusa Ferreira e Everson Lima, às auxiliares Helieth e Déia, e aos amigos Jorge e Fabiano.

Ao pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental Moisés Mourão pela valiosa contribuição na análise estatística dos dados.

Ao pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental Ronaldo Sarmiento pela disponibilidade das sementes de milho.

Aos amigos do curso de doutorado Andréa, Jamil, Lázaro, Eliana e Lívia, pela ótima convivência.

Aos avaliadores da banca de defesa, Dr. Osvaldo Ryohei Kato, Dr. Steel Silva Vasconcelos, Dr. Francisco de Assis Oliveira e Dra. Gladys Ferreira de Sousa pelas valiosas contribuições prestadas ao documento final de tese.

À Ana Cristina Gomes, bibliotecária da UFRA, pela atenção e sugestão na normatização da tese.

A todos, o meu muito obrigada!

SUMÁRIO

	Pg.
RESUMO GERAL	18
ABSTRACT	20
CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	22
1 DESMATAMENTO E O USO DA TERRA NA AMAZÔNIA	22
2 SISTEMA DE CORTE-E-QUEIMA	23
3 O SISTEMA DE CORTE-E-TRITURAÇÃO: UMA ALTERNATIVA AO SISTEMA DE CORTE-E-QUEIMA	24
4 ALTERNATIVAS DE RECUPERAÇÃO DE FERTILIDADE DE SOLO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS COM BASE EM CORTE- E-QUEIMA	25
5 INDICADORES DE FERTILIDADE DE SOLO	26
6 O ESTUDO	27
REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 1 - ALTERNATIVAS DE RECUPERAÇÃO DA FERTILIDADE DE SOLO EM SISTEMA AGRÍCOLA DE SUBSISTÊNCIA NO NORDESTE PARAENSE: PRODUÇÃO DE MANDIOCA E MILHO NO SISTEMA DE CORTE-E- TRITURAÇÃO	34
RESUMO	34
ABSTRACT	36
1 INTRODUÇÃO	37
1.1 Adubação verde	38
1.2 Fósforo natural	40
2 O ESTUDO	41
3 MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1 Localização do experimento	41
3.2 Clima e solo	42
3.3 Área experimental	43
3.4 Fatores, tratamentos e delineamento	44
3.5 Arranjo espacial das culturas	45
3.6 Tratos culturais e manejo das plantas adubadoras de solo	47
3.7 Avaliação das culturas	47
3.8 Avaliação da fertilidade do solo	47
4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	48
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1 Produção de biomassa aérea de guandu e titônia	49
5.2 Teor de nitrogênio e fósforo de guandu e titônia	49
5.3 Estande e altura da mandioca	51
5.4 Produção de biomassa aérea e de raiz da mandioca	52
5.5 Altura da planta e produção do milho	54
5.6 Efeito na fertilidade do solo	57
6 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS	61

	Pg.
CAPÍTULO 2 - INDICADORES DE SOLO EM SISTEMA AGRÍCOLA DE SUBSISTÊNCIA SOB RECUPERAÇÃO DA FERTILIDADE NO NORDESTE PARAENSE	70
RESUMO	70
ABSTRACT	71
1 INTRODUÇÃO	72
2 INDICADORES BIOLÓGICOS DO SOLO	73
2.1 Biomassa microbiana	73
2.2 Fosfatase ácida	74
3 INDICADORES QUÍMICOS DE FERTILIDADE DO SOLO	75
3.1 Matéria orgânica do solo (MOS)	75
3.2 Fósforo (P)	76
3.3 Nitrogênio (N)	77
3.4 Carbono orgânico (C(org))	77
3.5 Potássio (K)	78
3.6 Sódio (Na)	78
3.7 Condutividade elétrica	79
3.8 pH	79
4 O ESTUDO	79
5 MATERIAL E MÉTODOS	80
5.1 Localização do experimento	80
5.2 Clima e solo	81
5.3 Área experimental	83
5.4 Fatores, tratamento e delineamento	83
5.5 Arranjo espacial das culturas	84
5.6 Tratos culturais e manejo das plantas adubadoras de solo	87
5.7 Amostragem de solo	87
5.8 Determinação dos indicadores biológicos do solo	87
5.8.1 <i>Carbono da biomassa microbiana (CBM)</i>	87
5.8.2 <i>Nitrogênio biomassa microbiana (NBM)</i>	87
5.8.3 <i>Fosfatase ácida</i>	88
5.9 Determinação dos indicadores químicos de fertilidade do solo	88
5.9.1 <i>Matéria orgânica do solo (MOS)</i>	88
5.9.2 <i>Fósforo total (P(t))</i>	88
5.9.3 <i>Fósforo disponível (P(d))</i>	89
5.9.4 <i>Fósforo orgânico (P(org))</i>	89
5.9.5 <i>Nitrogênio orgânico (N(org))</i>	89
5.9.6 <i>Nitrato</i>	90
5.9.7 <i>Amônio</i>	90
5.9.8 <i>Carbono orgânico (C(org))</i>	90
5.9.9 <i>Potássio total (K(t))</i>	91
5.9.10 <i>Sódio total (Na(t)).....</i>	91
5.9.11 <i>Condutividade elétrica</i>	91
5.9.12 <i>pH</i>	92
6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	91
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
7.1 Indicadores biológicos do solo	92

	Pg.
7.1.1	<i>Carbono da biomassa microbiana (CBM)</i> 92
7.1.2	<i>Nitrogênio biomassa microbiana (NBM)</i> 94
7.1.3	<i>Fosfatase ácida</i> 97
7.2	Indicadores químicos de fertilidade do solo 99
7.2.1	<i>Matéria orgânica do solo (MOS)</i> 99
7.2.2	<i>Fósforo total (P(t))</i> 101
7.2.3	<i>Fósforo disponível (P(d))</i> 104
7.2.4	<i>Fósforo orgânico (P(org))</i> 106
7.2.5	<i>Nitrogênio orgânico (N(org))</i> 107
7.2.6	<i>Nitrato</i> 109
7.2.7	<i>Amônio</i> 111
7.2.8	<i>Carbono orgânico (C(org))</i> 113
7.2.9	<i>Potássio total (K(t))</i> 115
7.2.10	<i>Sódio total (Na(t))</i> 117
7.2.11	<i>Condutividade elétrica</i> 120
7.2.12	<i>pH</i> 122
7.3	Análise de componentes principais dos indicadores do solo 123
7.4	Resposta dos indicadores aos fatores de recuperação do solo 127
7.4.1	<i>Corte-e-trituração</i> 127
7.4.2	<i>Fosfato natural</i> 129
7.4.3	<i>Adubação verde</i> 131
8	CONCLUSÕES 134
	REFERÊNCIAS 135
	CONSIDERAÇÕES GERAIS 149
	ANEXOS 150

CAPÍTULO 1

Lista de figuras

	Pg.
Figura 1 - Localização geográfica da comunidade São João, município de Marapanim, Estado do Pará (Adaptado de Leal et al., 2006)	42
Figura 2 - Precipitação pluviométrica e temperatura mensal da área de estudo ao longo do período experimental. (Fonte: Estação Meteorológica da Embrapa Amazônia Oriental, em Igarapé-Açu-PA)	43
Figura 3 - Visão parcial da área experimental após a operação manual de corte-e-trituração da capoeira de 18 meses de idade, na comunidade de São João, município de Marapanim, Estado do Pará	44
Figura 4 - <i>Lay out</i> da área experimental	45
Figura 5 - Arranjo espacial das culturas: ★Mandioca ◦ Feijão-de-porco • Titônia • Guandu	46
Figura 6 - Avaliação das plantas de mandioca: (a) altura, (b) produção de biomassa aérea (c) produção de raiz, e (d) pesagem de amostras	48
Figura 7 - Estande e altura de plantas de mandioca nos diferentes tratamentos. TEST = Testemunha; FN = Fósforo natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia (não se aplica ao tratamento CAP = Capoeira)	52

CAPÍTULO 2

Lista de figuras

	Pg.
Figura 1 – Localização geográfica da comunidade São João, município de Marapanim, Estado do Pará (Adaptado de Leal et al., 2006)	81
Figura 2 – Precipitação pluvial e temperatura mensal da área de estudo ao longo do período experimental. (Fonte: Estação Meteorológica da Embrapa Amazônia Oriental, em Igarapé-Açu-PA)	82
Figura 3 – Visão parcial da área experimental após a operação manual de corte-e-trituração da capoeira de 18 meses de idade, na comunidade de São João, município de Marapanim, Estado do Pará	83
Figura 4 – <i>Lay out</i> da área experimental	84
Figura 5 – Arranjo espacial das culturas: ★ Mandioca ◦ Feijão de porco • Titônia • Guandu	86
Figura 6 – Carbono da biomassa microbiana do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	94
Figura 7 – Nitrogênio da biomassa microbiana do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	96
Figura 8 – Fosfatase ácida do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	98
Figura 9 – Matéria orgânica do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	101
Figura 10 – Fósforo total do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	103
Figura 11 – Fósforo disponível do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	105
Figura 12 – Fósforo orgânico do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	107
Figura 13 – Nitrogênio orgânico do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	109
Figura 14 – Nitrato do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	111
Figura 15 – Amônio do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	113
Figura 16 – C orgânico do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	115
Figura 17 – Potássio total do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	117

	Pg.
Figura 18 – Sódio total do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	119
Figura 19 – Condutividade elétrica do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	121
Figura 20 – pH do solo, na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	123
Figura 21 – Análise dos componentes principais dos indicadores e dispersão dos tratamentos por período de coleta de solo, comunidade São João, município de Marapanim - PA. (CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fostato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia)	124

CAPÍTULO 1

Lista de tabelas

	Pg.
Tabela 1 – Características químicas e físicas do solo na área experimental, Comunidade de São João, município de Marapanim, Estado do Pará, 2006	43
Tabela 2 – Produção de biomassa aérea, em base seca, do guandu e da titônia aos 19 meses do plantio, após seis meses de rebrota, comunidade São João, município de Marapamin-PA. Fevereiro de 2008	49
Tabela 3 – Teor de nitrogênio na folha e no lenho de guandu e titônia, município de Marapanim, Pará. 2008	50
Tabela 4 – Teor de fósforo na folha e no lenho de guandu e titônia, município de Marapanim, Pará. 2008	50
Tabela 5 – Altura e estande de plantas de mandioca aos 18 meses de plantio, município de Marapanim, Pará. 2008	51
Tabela 6 – Produção de biomassa aérea e raiz de mandioca, num ciclo de 18 meses, no município de Marapanim, Pará. 2008	53
Tabela 7 – Características da produção de milho, em um ciclo de cinco meses, no município de Marapanim, estado do Pará. 2008	56
Tabela 8 – Algumas variáveis de fertilidade do solo ao final do experimento, na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará. Julho / 2008	59

CAPÍTULO 2

Lista de tabelas

	Pg.
Tabela 1 – Características químicas e físicas do solo na área experimental, Comunidade de São João, município de Marapanim, Estado do Pará, 2006	82
Tabela 2 – Valores médios de carbono da biomassa microbiana (g kg^{-1}) no solo, por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	93
Tabela 3 – Valores médios de nitrogênio da biomassa microbiana (g kg^{-1}) no solo, por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	95
Tabela 4 – Valores médios de fosfatase ácida do solo ($\mu\text{g } p\text{-NPP g}^{-1} \text{h}^{-1}$) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	97
Tabela 5 – Matéria orgânica do solo (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	100
Tabela 6 – Fósforo total do solo (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	102
Tabela 7 – Fósforo disponível do solo (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	104
Tabela 8 – Fósforo orgânico do solo (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	106
Tabela 9 – Nitrogênio orgânico do solo (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	108
Tabela 10 – Nitrato (g.kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	110
Tabela 11 – Amônio (g.kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	112
Tabela 12 – Carbono orgânico (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	114
Tabela 13 – Potássio total (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	116

	Pg.
Tabela 14 – Sódio total (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	118
Tabela 15 – Valores médios de condutividade elétrica do solo (μS) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	120
Tabela 16 – Valores médios de pH do solo por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará	122
Tabela 17 – Autovalores em dois componentes principais dos indicadores do solo, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará, 2010	127
Tabela 18 – Comparação das tendências dos indicadores, do início para o fim do estudo: Efeito do fator corte-e-trituração (contraste entre tratamentos: testemunha (corte-e-trituração) <i>versus</i> capoeira)	128
Tabela 19 – Comparação das tendências dos indicadores, do início para o fim do estudo: Efeito do fator fosfato natural (contraste entre tratamentos: fosfato natural <i>versus</i> testemunha (corte-e-trituração))	130
Tabela 20 – Comparação das tendências dos indicadores, do início para o fim do estudo: Efeito do fator adubação verde (contraste entre tratamentos: feijão-de-porco com guandu <i>versus</i> testemunha (corte-e-trituração))	132
Tabela 21 – Comparação das tendências dos indicadores, do início para o fim do estudo: Efeito do fator adubação verde (contraste entre tratamentos: feijão-de-porco com titônia <i>versus</i> testemunha (corte-e-trituração))	133

ANEXOS

Lista de quadros

	Pg.
Quadro 1 - Análise de variância dos dados de produção de biomassa aérea seca de guandu, entre fatores complementares, Marapanim-PA	154
Quadro 2 – Análise de variância dos dados de produção de biomassa aérea seca de titônia, entre fatores associados, Marapanim-PA	154
Quadro 3 – Análise de variância dos dados de produção de biomassa aérea seca entre plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado fosfato natural. Marapanim-PA	154
Quadro 4 – Análise de variância dos dados de produção de biomassa aérea seca entre plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado feijão-de-porco. Marapanim-PA	154
Quadro 5 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio na folha de guandu entre fatores associados. Marapanim-PA	155
Quadro 6 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio na folha de titônia entre fatores associados. Marapanim-PA	155
Quadro 7 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio nas folhas entre as plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado fosfato natural. Marapanim-PA	155
Quadro 8 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio nas folhas entre as plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado feijão-de-porco. Marapanim-PA	155
Quadro 9 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio no lenho do guandu, entre fatores associados. Marapanim-PA	155
Quadro 10 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio no lenho de titônia, entre fatores associados. Marapanim-PA	156
Quadro 11 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio no lenho entre as plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado fosfato natural. Marapanim-PA	156
Quadro 12 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio no lenho entre as plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado feijão-de-porco. Marapanim-PA	156
Quadro 13 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo na folha de guandu, entre fatores associados. Marapanim-PA	156
Quadro 14 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo na folha de titônia, entre fatores associados. Marapanim-PA	156
Quadro 15 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo nas folhas entre plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado fosfato natural. Marapanim-PA	157
Quadro 16 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo nas folhas entre plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado feijão-de-porco. Marapanim-PA	157
Quadro 17 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo no lenho do guandu, entre fatores associados. Marapanim-PA	157

	Pg.
Quadro 18 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo no lenho de titônia, entre fatores associados. Marapanim-PA	157
Quadro 19 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo no lenho entre plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado fosfato natural. Marapanim-PA	157
Quadro 20 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo no lenho entre plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado feijão-de-porco. Marapanim-PA	158
Quadro 21 – Análise de variância dos dados de altura de plantas de mandioca. Marapanim-PA	158
Quadro 22 – Análise de variância dos dados de estande de plantas de mandioca. Marapanim-PA	158
Quadro 23 – Análise de variância dos dados de produção de lenho de mandioca, na base úmida e seca. Marapanim-PA	158
Quadro 24 – Análise de variância dos dados de produção de raiz de mandioca, na base úmida e seca. Marapanim-PA	159
Quadro 25 – Análise de variância dos dados de altura das plantas de milho. Marapanim-PA	159
Quadro 26 – Análise de variância dos dados de produção de lenho de milho, na base úmida e seca. Marapanim-PA	159
Quadro 27 – Análise de variância dos dados de produção de sabugo de milho, na base úmida e seca. Marapanim-PA	159
Quadro 28 – Análise de variância dos dados de produção de grão de milho, na base úmida e seca. Marapanim-PA	160
Quadro 29 – Análise de variância dos dados de fertilidade do solo ao final do experimento. Marapanim-PA	160
Quadro 30 – Análise de variância dos dados do carbono da biomassa microbiana do solo. Marapanim-PA	161
Quadro 31 – Análise de variância dos dados do nitrogênio da biomassa microbiana do solo. Marapanim-PA	161
Quadro 32 – Análise de variância dos dados de fosfatase ácida do solo. Marapanim-PA	161
Quadro 33 – Análise de variância dos dados de matéria orgânica do solo. Marapanim-PA	161
Quadro 34 – Análise de variância dos dados de fósforo total do solo. Marapanim-PA	162
Quadro 35 – Análise de variância dos dados de fósforo disponível do solo. Marapanim-PA	162
Quadro 36 – Análise de variância dos dados de fósforo orgânico do solo. Marapanim-PA	162
Quadro 37 – Análise de variância dos dados de nitrogênio orgânico do solo. Marapanim-PA	162
Quadro 38 – Análise de variância dos dados de nitrato do solo. Marapanim-PA	163
Quadro 39 – Análise de variância dos dados de amônio do solo. Marapanim-PA	163
Quadro 40 – Análise de variância dos dados de carbono orgânico do solo. Marapanim-PA	163

	Pg.
Quadro 41 – Análise de variância dos dados de potássio total do solo. Marapanim-PA	163
Quadro 42 – Análise de variância dos dados de sódio total do solo. Marapanim-PA	163
Quadro 43 – Análise de variância dos dados de condutividade elétrica do solo. Marapanim-PA	164
Quadro 44 – Análise de variância dos dados de pH do solo. Marapanim-PA	164

INDICADORES E RECUPERAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMA AGRÍCOLA FAMILIAR NO NORDESTE PARAENSE

RESUMO – No Nordeste Paraense, a prática de corte-e-queima da vegetação secundária e a redução do tempo de pousio tem levado a perda da capacidade produtiva dos solos agrícolas, o que tem motivado o desenvolvimento de novos sistemas de preparo de área, como o de corte-e-trituração, assim como alternativas de recuperação de fertilidade de solo que sejam mais apropriadas à realidade dos produtores. Algumas alternativas de recuperação da fertilidade de solos têm sido estudadas com algum sucesso, no entanto, devem ser avaliadas a fim de determinar o nível ou a condição para que o sistema seja sustentável, dessa forma alguns indicadores são estudados. Os indicadores convencionais de fertilidade de solo, mais utilizados na prática, enfatizam basicamente o balanço ácido-base e o conteúdo de elementos químicos, mas não consideram adequadamente as propriedades biológicas do solo. Os indicadores biológicos levam em consideração a atividade microbiana que é mais sensível à dinâmica do solo. Numa área de capoeira de 18 meses, típica de pequenos produtores de mandioca e outras culturas de subsistência de Marapanim – PA, e utilizando um desenho experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, os fatores prática de corte-e-trituração, fosfato natural e adubação verde foram testados através dos seguintes tratamentos: capoeira; testemunha; fosfato natural (FN); feijão-de-porco, *Canavalia ensiformis* (L.) DC, (FP); FN + FP; FN + guandu, *Cajanus cajan* (L.) Millspaugh., (G); FN + titônia, *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray, (T); FP + G; e FP + T. O estudo é apresentado em dois capítulos: no Capítulo 1 (“Alternativas de recuperação da fertilidade de solo em sistema agrícola de subsistência no Nordeste Paraense: produção de mandioca e milho no sistema de corte-e-trituração da capoeira”) foram testadas algumas alternativas de recuperação da fertilidade de solo exaurido pelo uso do sistema de corte-e-queima no preparo da área para plantio, e no Capítulo 2 (“Indicadores de solo em sistema agrícola de subsistência sob recuperação da fertilidade no Nordeste Paraense”) avaliou-se o comportamento de alguns indicadores de fertilidade de solo em parcelas de um experimento de recuperação de sistema agrícola de subsistência. Os tratamentos de recuperação da fertilidade de solo só afetaram positivamente a produção do milho, e aquele de maior impacto foi o fosfato natural com guandu, seguido pelos tratamentos fosfato natural e fosfato natural com feijão-de-porco. Nas condições de corte-e-trituração e em termos de matéria orgânica e fósforo disponível, o tratamento de maior impacto positivo na fertilidade do solo foi o fosfato natural com guandu, o que se refletiu na produção do milho. Diferente da titônia, o guandu claramente se

beneficiou da presença do fosfato natural. A maioria dos indicadores testados foi fortemente influenciada pela variação de precipitação pluviométrica, e os mais sensíveis aos tratamentos foram matéria orgânica do solo, nitrogênio orgânico, fósforo total, fósforo orgânico, fosfatase ácida e potássio total. Ao longo do tempo, a tendência da resposta dos indicadores variou de acordo com os fatores estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Corte-e-trituração, fosfato natural, adubação verde, feijão-de-porco, guandu, titônia, mandioca, milho.

INDICATORS AND RECLAMATION OF SOIL FERTILITY UNDER SHIFT CULTIVATION SYSTEM IN NORTHEAST PARA REGION

ABSTRACT – In Northeast Para region, the slash-and-burn practice of the secondary vegetation and the shortening of fallow have caused the lost of soil agriculture productivity capacity, what has motivated the development of new land preparation systems, like slash-and-trituration, and of soil restoration alternatives, which are more appropriate to farmers reality. Some alternatives of soil fertility reclamation have been studied with some success; however, these alternatives must have determined the level and the way for reach the sustainability of the system, in that way some soil indicators had been studied. Conventional indicators of soil, commonly used, basically empathized the acid-basic balance and the chemical elements, but do not consider appropriately soil biological properties, responsible for great part of its functioning. Biological indicators, still not well known, take in consideration the microbial activity that is more sensible to soil dynamics. In an eighteen-year-old secondary vegetation area, representative of smallholder cassava and other food crops producers of Marapanim-PA county, and using a completely randomized plot design, with four replications, the factors slash-and-trituration practice, rock phosphate and green manure were tested through the following treatments: secondary vegetation (SV); control (CON); rock phosphate (RP); wonderbean *Canavalia ensiformis* (L.) DC (W); RP + W; RP + pigeonpea *Cajanus cajan* (L.) Millspaugh (P); RP + tithonia *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray (T); W + P; and W + T. This study is presented in two chapters: in Chapter 1 (“Alternatives for soil fertility reclamation in shift cultivation system in Northeast Para: cassava and corn production under slash-and-trituration practice”), some soil fertility reclamation alternatives were tested, and in Chapter 2 (“Soil indicators in shift cultivation system under fertility reclamation, Northeast Para”), the behavior of some soil fertility indicators were evaluated in parcels of an agriculture system restoration. The treatments of soil fertility reclamation only positively affected the corn production variables, and that of higher impact was rock phosphate with pigeonpea, followed by rock phosphate and rock phosphate with wonderbean. In slash-and-trituration conditions and in terms of organic matter and availability phosphorus, the higher positive impact in soil fertility occurred in rock phosphate with pigeonpea treatment, what reflected in corn production. Different from tithonia, pigeonpea clearly took advantage of rock phosphate. The majority of the studied indicators were strongly affected by rain fall variation, and the most sensible to the treatments were soil organic matter, organic nitrogen, phosphorus total, acid phosphatase and total

potassium. Along the time, the response tendency of the indicators varies according the studies factors.

KEYWORDS: Slash-and-trituration, rock phosphate, green manure, wonderbean, pigeon, tithonia, cassava, corn.

RECUPERAÇÃO E INDICADORES DA FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMA AGRÍCOLA DE SUBSISTÊNCIA NO NORDESTE PARAENSE

CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

1 DESMATAMENTO E O USO DA TERRA NA AMAZÔNIA

Apesar da redução do desmatamento na Amazônia no último semestre de 2008, 25% menor em relação ao mesmo período do ano anterior, as taxas de desmatamento nesta região ainda são preocupantes e contribuem para que o Brasil seja considerado o quarto maior emissor mundial de gases de efeito estufa (MMA, 2009).

As principais mudanças na cobertura vegetal da região são devido à expansão da pecuária, agricultura intensiva e familiar, exploração madeireira, mineração, incêndios florestais e investimentos em infraestrutura, com incentivo do governo e por demanda do mercado (MOUTINHO, 2009). Em consequência disto, há impactos na biodiversidade (SOARES FILHO et al., 2006), no solo e no sistema hidrológico da floresta (SALATI & VOSE, 1984), sem contar com a liberação massiva de carbono, principal causa do agravamento do aquecimento global. De acordo com Houghton (2005), na última década, o desmatamento na Amazônia Legal liberou cerca de 200 milhões de toneladas de C por ano, o que representa 55% das emissões totais do Brasil (MOUTINHO, 2009).

Segundo estimativas feitas pelo INPE (2009), o Estado do Pará liderou o desmatamento na Amazônia Legal, por três anos consecutivos, com as maiores taxas anuais: 5.505 km² em 2006, 5.425 km² em 2007 e 5.180 km² em 2008, correspondentes a, respectivamente, 39, 47 e 43% do desmatamento anual da região.

No Nordeste Paraense – foco da pesquisa em questão - onde predomina a atividade agrícola, a queima de floresta secundária ou capoeira (vegetação natural que cresce no período de pousio entre dois cultivos) ainda é a prática mais utilizada no preparo do solo para o estabelecimento da agricultura de subsistência ou tradicional. Somado à baixa fertilidade natural dos solos tropicais, mais especificamente no Nordeste Paraense, o uso freqüente do fogo e a redução do tempo de pousio têm causado, além das emissões de CO₂ para a atmosfera, a perda da capacidade produtiva dos solos ao longo dos anos (SANTOS et al., 2007).

O sistema de corte-e-queima oferece poucas oportunidades para o agricultor acumular capital e melhorar seu padrão de vida, além de contribuir na conversão de novas áreas de florestas. Neste sentido, ações que promovam o desenvolvimento sustentável, com base na inovação tecnológica, transferência de tecnologia e agregação de valor podem favorecer a geração de emprego e renda, a inclusão social e melhoria da qualidade de vida da população (BRASIL, 2008).

2 SISTEMA DE CORTE-E-QUEIMA

O sistema de corte-e-queima, base da agricultura de subsistência em grande parte da Amazônia brasileira, utiliza o fogo no preparo das áreas para o cultivo por um ou dois anos, seguindo-se de um período de pousio (GLIESSMAM, 2001; SAMPAIO et al., 2007). O termo pousio significa o período de descanso do solo entre um plantio e outro, com a finalidade de restituir naturalmente a fertilidade do solo.

No pousio, a capoeira (vegetação secundária) normalmente se recompõe por meio de sementes e de rebrotas de tocos e raízes, principalmente aquelas que sobrevivem ao corte e à queima. Porém, o sucesso da recomposição da diversidade florística e do acúmulo de carbono e nutrientes da biomassa exige períodos longos de pousio (DENICH, 1991; DENICH & KANASHIRO, 1998; TIPPMANN et al., 2000).

Na região Nordeste Paraense, grande parte dos pequenos produtores pratica a agricultura de subsistência com base no sistema de corte-e-queima por ser acessível, barato e proporcionar uma momentânea melhoria de fertilidade do solo (DENICH et al., 2004). Nesse sistema, a queima da capoeira disponibiliza, através das cinzas, nutrientes que são acumulados na biomassa durante o pousio, e também controla as plantas indesejadas ou daninhas que competem com os cultivos (SÁ et al., 1998; GLIESSMAN, 2001; DENICH et al., 2004).

No entanto, em face da crescente pressão populacional e da demanda de alimentos, com o tempo, o período de pousio tem sido reduzido e o fogo usado mais freqüentemente, intensificando as perdas de nutrientes para a fase agrícola (METZGER, 2000; KATO, 2000c; KATO et al., 2006). Essa perda gradual de nutrientes do solo é ocasionada pela extração das colheitas, lixiviação e pela queima da biomassa (UHL, 1987; SERRÃO et al., 1996; KATO et al., 1999; RODRIGUES et al., 2007).

Pesquisas têm constatado que a queima da vegetação ocasiona uma perda de 98% de carbono, 96% de nitrogênio, 76% de enxofre, 48% de potássio, 47% de fósforo, 40% de magnésio e 30% de sódio (MACKENSEN et al., 1996). Segundo Kato et al. (2000a), aliado aos baixos níveis de fósforo dos solos da região Nordeste Paraense, o fogo proporciona uma redução da sustentabilidade das áreas de plantio no Nordeste Paraense.

Outro impacto negativo decorrente da queima é a redução da população de microorganismos do ecossistema, uma vez que nos primeiros 5 cm do perfil do solo a temperatura pode chegar a 700°C. Segundo Denich e Kanashiro (1998), o declínio da população de bactérias ocorre em temperaturas acima de 45°C.

A prática contínua da queima também aumenta a presença de plantas espontâneas nas áreas de cultivos, o que pode inviabilizar a sua utilização nesse sistema de agricultura (MIRANDA & RODRIGUES, 1999; GLIESSMAN, 2001).

Dessa maneira, há necessidade de desenvolver alternativas que aumentem a eficiência do uso dos recursos naturais disponíveis aos pequenos produtores e, conseqüentemente, reduzam a pressão sobre as áreas de capoeiras e florestas primárias.

3 O SISTEMA DE CORTE-E-TRITURAÇÃO: UMA ALTERNATIVA AO SISTEMA DE CORTE-E-QUEIMA

O projeto SHIFT-Capoeira, uma parceria entre Embrapa Amazônia Oriental e o governo da Alemanha, atualmente denominado projeto Tipitamba, tem buscado desenvolver alternativas ao sistema de corte-e-queima praticado por agricultores familiares no Nordeste Paraense. Uma das alternativas mais promissoras é o preparo da área de plantio pelo sistema de corte-e-trituração que utiliza a capoeira triturada como cobertura morta (VIELHAUER et al., 1998). Desenvolvida no contexto do referido projeto, a máquina Tritucap, atrelada a um trator, tritura e deposita a parte aérea da vegetação sobre o solo (KATO et al., 2000b; KATO et al., 2002; BLOCK et al., 2000).

Apesar das dificuldades iniciais de adoção desse sistema, relativas ao plantio sobre a cobertura morta e o controle da regeneração espontânea, o sistema de corte-e-trituração é uma técnica bem aceita pelos agricultores colaboradores da pesquisa (SANTOS, 2006). Na percepção desses agricultores, essa prática permite maior flexibilidade na época de plantio, melhor distribuição do trabalho ao longo do ano e produção na entressafra (KATO et al., 2007; SATURNINO & LANDERS, 1997). Outras vantagens do sistema de corte-e-trituração

são a redução do número de capinas, e a rapidez e a facilidade na colheita da mandioca (SANTOS & MARTINS, 2008). No entanto, essa prática ainda exige a aplicação de fertilizante para compensar a imobilização dos nutrientes, principalmente na fase inicial (KATO et al., 1999).

Portanto, o balanço negativo de nutrientes do sistema de corte-e-queima pode ser revertido com o de corte-e-trituração que permite o acúmulo de biomassa por um período mais longo, a preservação da matéria orgânica do solo e o melhoramento de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, efeitos que impedem a degradação do solo, já que o plantio é realizado diretamente sobre a cobertura morta (DENICH et al., 2004).

4 ALTERNATIVAS DE RECUPERAÇÃO DE FERTILIDADE DE SOLO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS COM BASE EM CORTE-E-QUEIMA.

Diferente da agricultura de corte-e-queima, cuja produção declina com o tempo por perda da capacidade produtiva dos solos, a agricultura comercial alcança elevados índices de produtividade porque se baseia na mecanização, correção e fertilização do solo, e no uso de agrotóxicos contra pragas e doenças, porém, sem considerar adequadamente a conservação do meio ambiente e a qualidade dos alimentos (AROEIRA & FERNANDES, 2002). Desse modo e no âmbito de sistemas de baixo uso de insumos externos, é necessário desenvolver alternativas de recuperação da capacidade produtiva do solo que sejam menos agressivas ao meio ambiente, baseado no manejo dos recursos naturais e menos dependente de entradas externas (ABREU & COSTA NETO, 2007).

A agricultura de base ecológica ou simplesmente “agricultura ecológica” floresceu da necessidade de se introduzir uma dimensão ecológica à produção agrícola, em face aos impactos negativos da agricultura convencional (DIDONET et al., 2006). Dessa forma, os princípios da agricultura ecológica podem contribuir com a construção das bases científicas e metodológicas de uma agricultura sustentável (CAPORAL & COSTABEBER, 2004; ALTIERI, 2001).

Nesse contexto, a sustentabilidade dos solos de sistemas agrícolas de subsistência vai depender grandemente do aproveitamento dos serviços agrossistêmicos e de insumos disponíveis ou produzidos na propriedade, como cobertura morta e adubos verdes, em benefício das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (ALTIERI, 2002; RICCI et al., 2006).

Além da adubação verde, outras práticas podem ser utilizadas para conservação e recuperação da fertilidade de solos exauridos, como o plantio de leguminosas fixadoras de nitrogênio, associadas com o fósforo natural (ESPÍNDOLA et al., 1997) e uso de espécies com potencial de acumular nutrientes comumente deficientes nos solos tropicais como o fósforo (OLIVEIRA et al., 2002).

Ademais, a mudança de hábito do consumidor consciente, na busca de alimentos de qualidade sanitária e nutricional, envolve também a valorização de produtos cujo sistema de produção também favorece a preservação do meio ambiente (LAGO et al., 2006).

5 INDICADORES DE FERTILIDADE DE SOLO

A qualidade ou a fertilidade do solo pode ser quantificada por indicadores químicos, físicos e biológicos-chave por meio dos quais a sensibilidade, as mudanças e os distúrbios dos solos são identificados e avaliados (CHAER, 2001; TOTOLA & CHAER, 2002).

Os indicadores convencionais de fertilidade de solo, como aqueles incluídos no “soil test”, enfatizam basicamente o balanço ácido-base e a concentração de elementos químicos, essenciais ou tóxicos às plantas. Esse tipo de informação pode ser satisfatório para sistemas agrícolas intensivos que tentam atender as necessidades das culturas exclusivamente com insumos externos.

Recentemente tem crescido, na comunidade científica, o interesse por indicadores do funcionamento do sistema solo que também leve em consideração a atividade microbiana. Sozinhos ou em conjunto com outros convencionais, esses indicadores podem ajudar os produtores a manejarem seus solos de forma mais produtiva e sustentável.

Os parâmetros biológicos do solo, como biomassa microbiana, atividade enzimática e taxa de respiração constituem indicadores sensíveis às alterações ambientais e servem como ferramenta para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo do solo (SPADOTTO et al., 2004; CARVALHO, 2005).

6 O ESTUDO

A presente pesquisa está inserida no contexto do projeto da Embrapa Amazônia Oriental “Definição e validação de indicadores de degradação e de sustentabilidade para diferentes sistemas tradicionais e alternativos de uso da terra na Amazônia – INDICADORES”.

Este estudo é apresentado em dois capítulos. No Capítulo 1, “Alternativas de recuperação da fertilidade de solo em sistema agrícola de subsistência no Nordeste Paraense: produção de mandioca e milho no sistema de corte-e-trituração da capoeira”, verificou-se a viabilidade da adubação verde e do fosfato natural na produção de subsistência (mandioca e milho) do Nordeste Paraense; e no Capítulo 2, “Indicadores de solo em sistema agrícola de subsistência sob recuperação da fertilidade no Nordeste Paraense”, procurou-se caracterizar o comportamento de alguns indicadores de fertilidade em diferentes condições de recuperação de solo.

REFERÊNCIAS

ABREU, M.B. de; COSTA NETO, C. Familiares assentados: um estudo da produção animal no assentamento Fazenda São Fidélis – Rio de Janeiro. **Anais: Congresso Brasileiro de Sistemas de Produção**, 7. Ceará, Agricultura Familiar, Políticas Públicas e Inclusão Social. 10p. 2007. Acesso disponível em http://www.cnpat.embrapa.br/sbsp/anais/Trab_Format_PDF/144.pdf (último acesso em 09/04/2010).

ALTIERI, M.A. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 3.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS, 2001. (Síntese Universitária, 54).

ALTIERI, M.A. **Agroecologia: Bases científicas para a agricultura sustentável**. Guaíba, Agropecuária, 2002. 592p.

AROEIRA, L.J.M.; FERNANDES, E.N. **Produção orgânica de leite como alternativa para produção familiar**. Planeta Orgânico. 2002. Disponível em <http://www.planetaorganico.com.br/TrabAroeira.htm> (último acesso em 03 de maio de 2010).

BLOCK, A., BEHN, W., LÜCKE, W., DENICH, M. **Einsatz eines Buschhäckslers zur Sekundärwaldnutzung in tropischen Brachesystemen**. *Landtechnik*, 55(3):214-215, 2000.

BRASIL. **Plano Amazônia Sustentável: diretrizes para o desenvolvimento sustentável da Amazônia Brasileira**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2008.

CAPORAL, F.R.; COSTABEBER, J.A. **Agroecologia: alguns conceitos e princípios**. Brasília: MDA/SAF/DATER-IICA, 2004. 24p.

CARVALHO, F. de. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade do solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. 79p.

CHAER, G.M. **Modelo para determinação de índices de qualidade do solo baseados em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. Dissertação de Mestrado. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa. 100p. 2001.

DENICH, M. **Estudos da importância de uma vegetação secundária nova para o incremento da produtividade do sistema de produção na Amazônia Oriental Brasileira.** Eschborn, EMBRAPA/CPATU-GTZ, 284p. 1991.

DENICH, M.; KANASHIRO, M. Pontencial land-use and management of altered and abandoned areas in Brazilian Amazon region. **Studies of Human Impact of Forest and Floodplains in the Tropics – SHIFT.** Brasília: CNPq/MCT, 1998.

DENICH, M.; VIELHAUER, K.; KATO, M. do S.A.; BLOCK, A.; KATO, O.R.; SÁ, T.D. de A.; LÜCKE, W.; VLEK, P.L.G. Mechanized land preparation in forest-based fallow systems: the experience from Eastern Amazonia. **Agroforestry Systems**, 61-62:91-106, 2004.

DIDONET, A.D.; BAGGIO, A.J.; MACHADO, A.T.; TAVARES, E.D.; COUTINHO, H.L. da C.; CANUTO, J.C.; GOMES, J.C.C.; RIBEIRO, J.F.; WADT, L.M. de; BORBA, M.F.S.; KATO, M. do S.A.; URCHEI, M.A.; KITAMURA, P.C.; PEIXOTO, R.T. de G. **Marco referencial em agroecologia.** Embrapa. 31p. 2006. Disponível em <http://www.unitins.br/ates/arquivos/Agricultura/Agroecologia%20&%20Cia/Agroecologia%20-%20Marco%20Referencial.pdf> (último acesso 05/11/2010).

ESPÍNDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. **Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1997. 20p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 42).

GLIESSMAN, S. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável.** Porto Alegre: Editora Universidade/ UFRGS, 2001. 653 p.

HOUGHTON, R.A. Tropical deforestation as a source of greenhouse gases. In: Moutinho, P.; Schwartzman, S. (Eds.). **Tropical Deforestation and Climate Change.** Belém: IPAM: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia; Washington: ED - Environmental Defense. 13-22p. 2005.

INPE. **Estimativas anuais desde 1988 até 2008.** São José dos Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. Disponível em http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2008.htm (último acesso 31/05/2009).

KATO, M. do S.A.; KATO, O.R.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the Eastern Amazon region: the role of fertilizers. **Field Crops Research**. 62:225-237, 1999.

KATO, O.R.; KATO, M.S.A.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. Phosphorus availability in slash-mulch system in Eastern Amazonia. In: **German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems-Achievements and Prospects of Cooperative Research**, 2000. Hamburg, Germany. Abstracts. Hamburg: (s.n.), p.261. 2000a.

KATO, O.R.; VIELHAUER, K.; DENICH, M.; LÜCKE, W. Preparo de área sem queima: aspectos agrotécnicos para produção de mulch a partir da trituração da capoeira. **Anais: Seminário sobre Manejo da Vegetação Secundária para a Sustentabilidade da Agricultura Familiar da Amazônia Oriental**, Belém - PA, Brasil, Embrapa Amazônia Oriental: Documentos 69, p.38-41, 2000b.

KATO, O.R.; KATO, M.S.A.; SÁ, T.D. de A.; FIGUEIREDO, R. Plantio direto na capoeira. **Ciência e Ambiente**, 29:99-111, 2000c.

KATO, O.R.; KATO, M. do S.A.; JESUS, C.C. de; RENDEIRO, A.C. **Época de preparo de área e plantio de milho no sistema de corte-e-trituração no município de Igarapé-Açu, Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. (Comunicado Técnico, 64). 2002. 3p.

KATO, O.R. Uso de agroflorestas no manejo de florestas secundárias. **Sistemas agrofloretais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. p.111-113. 2006.

KATO, M. do S.A.; OLIVEIRA, C.D. de S.; KATO, O.R.; SANTANA, R.M. **Agricultura sem queima: adaptado à realidade de agricultores familiares da comunidade São João – Marapanim, PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007 48p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 289).

LAGO, A.; LENGLER, L.; CORONEL, D.A; SILVA, T.N. Agricultura familiar de produtos orgânicos: um olhar sob a ótica do marketing. **Revista Extensão Rural**, DEAER/CPGExR – CCR – UFSM, Ano XIII, Jan – Dez. 23p. 2006.

MACKENSEN, J.; HÖLSCHER, D.; KLINGE, R.; FÖLSTER, H. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**. 86: 121-128. 1996.

METZGER, J.P.M. Dinâmica e equilíbrio da paisagem em áreas de agricultura de corte e queima em pousio curto e longo na região Bragantina. **Anais: Seminário sobre Manejo da Vegetação Secundária para a Sustentabilidade da Agricultura Familiar da Amazônia Oriental**, 1998, Belém, Pará, Brasil. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p. 47-50. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos 69).

MMA. **Meio ambiente: ações estratégicas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 29p. 2009.

MIRANDA, P.S.; RODRIGUES, W. **Sistema agroflorestal “agricultura em andares”**. Belém: UFPa, NUMA, POEMA, 102p. 1999.

MOUTINHO, P. **Desmatamento na Amazônia: desafios para reduzir as emissões brasileiras**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. 28p. 2009. Disponibilizado em http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_DesmatamentoAmazonia.pdf (último acesso 08/01/2010).

OLIVEIRA, P.C.; CARVALHO, C.J.R.; SÁ, T.D.A.; BRIENZA JR., S. Prospecção de espécies vegetais potencialmente acumuladoras de P: uma estratégia para a melhoria de sistemas agroflorestais seqüenciais no nordeste Paraense. **Anais**. Ilhéus: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 4. 2002.

RICCI, M. dos S.F.; NEVES, M.C.P.; NANNETTI, A.N.; MOREIRA, C.F.M.; AGUIAR-MENEZ, E. de L.; SILVA, E.; CAIXETA, I.F.; ARAÚJO, J.B.S.; LEAL, M.A. de A.; FERNANDES, M. do C.; ALMEIDA, P.S. de; PEDINI, S. **Cultivo do café orgânico**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, Sistema de produção, 2 – 2ª edição. 2006. Disponível em http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Cafe/CafeOrganico_2ed/index.htm (último acesso em 04/06/2009).

RODRIGUES, M.A.C. de M.; MIRANDA, I.S.; KATO, M. do S.A. Estrutura de florestas secundárias após dois diferentes sistemas agrícolas no Nordeste do estado do Pará. **Acta Amazônica**, 37(4):591-598. 2007.

SÁ, T.D.A.; VIELHAUER, K.; KANASHIRO, M.; VLEK P.L.G. Towards improving resources use in Eastern Amazonia through a modified sequential agroforestry system. **Anais**. Belém: Congresso Brasileiro em Sistema Agroflorestais. p. 95-100. 1998.

SALATI, E.; VOSE, P.B. Amazon Basin: A system in equilibrium. **Science** 13, 225(4658):129-138. 1984.

SAMPAIO, C.A.; KATO, O.R.; NASCIMENTO e SILVA, D. Corte-e-trituração da capoeira sem queima com alternativa de uso da terra, rumo à sustentabilidade florestal: o caso Tipitamba em Igarapé-Açu-Pará. **IX ENGEMA – Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**. Anais. Curitiba, 2007. 17p. SANTOS, I.A.; BRIENZA JÚNIOR, S.; ALEGRE, J. Agricultura sem fogo na Amazônia Oriental: formiga como indicador agroecológico. **Biológico** 69(2): 53-56, 2007.

SANTOS, L. de O.L. dos; MARTINS, S.R. **Inovação tecnológica na agricultura familiar: um estudo de caso dos agricultores familiares da comunidade São João no Nordeste Paraense**. Disponível em http://www.cnpat.embrapa.br/sbsp/anais/Trab_Format_PDF/88.pdf (último acesso em 22/04/2008).

SANTOS, L. de O.L. dos. **Percepção de um grupo de agricultores da localidade São João do município de Marapanim-Pa sobre o método de corte-e-trituração como alternativa ao método tradicional de corte-e-queima da vegetação secundária**. Dissertação de Mestrado. Belém: Universidade Federal do Pará. 165p. 2006.

SARTURNINO, H.M.; LANDERS, J.N. Plantio direto e transferência de tecnologia nos trópicos e subtropicais. **O meio ambiente e o plantio direto**. Brasília: Embrapa – SPI, 1997. p. 89-112.

SERRÃO, E.A.S.; NEPSTAD, D.; WALKER, R. Upland agricultural and forestry development in the Amazon: sustainability, critically and resilience. **Ecological Economics**, 18:3-13. 1996.

SOARES FILHO, B.; NEPSTAD, D.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G.C.; GARCIA, R.A.; RAMOS, C.A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBRE, P.; SCHLESINGER, P. Modeling Amazon conservation. **Nature**, 444:520-523. 2006.

SPADOTTO, C.A.; GOMES, M.A.F.; LUCHINI, L.C.; ANDRÉA, M.M. de. **Monitoramento do risco ambiental de agrotóxico: princípios e recomendações.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 29p. 2004. (Documentos, 42. Embrapa Meio Ambiente). Disponível em http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_42.pdf (último acesso em 06/06/2009).

TIPPMANN, R.; DENICH, M.; VIELHAUER, K. Integration of geo- and remote sensing data for the assessment and monitoring of changes in smallholder land-use systems at farmer level. In: **German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems- Achievements and Prospects of Cooperative Research**, Abstracts, Hamburg, 2000. p.297.

TOTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: Alvarez, V.H.; Schaefer, C.E.G.R.; Barros, N.F.; Mello, J.W.V.; Costa, L.M. **Tópicos em Ciência do Solo.** Viçosa: SBPC, 2002. v. 2, p.195-276.

UHL, C. Factors controlling succession following slash-and-burn agriculture in Amazonia. **Journal of Ecology**, 75:377-407. 1987.

VIELHAUER, K.; SÁ, T. D. de A.; KANASHIRO, M.; DENICH, M. Caminhos para a maior sustentabilidade na agricultura familiar do nordeste do Pará: cultivo sem fogo e enriquecimento de capoeiras. **Agricultura Sustentável**, 1998. p. 24-27.

CAPÍTULO 1

ALTERNATIVAS DE RECUPERAÇÃO DA FERTILIDADE DE SOLO EM SISTEMA AGRÍCOLA DE SUBSISTÊNCIA DO NORDESTE PARAENSE: PRODUÇÃO DE MANDIOCA E MILHO NO SISTEMA DE CORTE-E-TRITURAÇÃO

RESUMO – No Nordeste Paraense, agricultura itinerante, que usa o sistema de corte-e-queima no preparo de área, deteriora as características físico-químicas do solo e provoca sua gradual perda de nutrientes, diminuindo paulatinamente a produção agrícola e sempre alimenta a demanda por novas áreas de cultivo. Algumas alternativas de recuperação da fertilidade de solos exauridos, com base na adubação verde e compatíveis com as condições socioeconômicas dos pequenos produtores, têm sido estudadas com algum sucesso. Também há evidências de que o fosfato natural, fonte menos solúvel de fósforo - nutriente limitante em solos tropicais – pode complementar nesse processo. Numa área de capoeira de 18 meses, típica de pequenos produtores de mandioca e outras culturas de subsistência de Marapanim – PA, e utilizando um desenho experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, os fatores prática de corte-e-trituração, fosfato natural e adubação verde foram testados através dos seguintes tratamentos: capoeira (CAP); testemunha (TEST); fosfato natural (FN); feijão-de-porco, *Canavalia ensiformis* (L.) DC, (FP); FN + FP; FN + guandu, *Cajanus cajan* (L.) Millspaugh., (G); FN + titônia, *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray, (T); FP + G; e FP + T. O preparo do solo para o plantio dos cultivos-teste, sequência mandioca e milho foi feito no sistema de corte-e-trituração da vegetação. Os tratamentos de recuperação da fertilidade de solo só afetaram positivamente a produção do milho, e aquele de maior impacto foi o fosfato natural com guandu, seguido pelos tratamentos fosfato natural e fosfato natural com feijão-de-porco. Dos tratamentos com fosfato natural, apenas aquele em associação com o guandu aumentou a produção do milho, enquanto que, na ausência desse insumo, a adubação verde não teve nenhum efeito. Nas condições de corte-e-trituração e em termos de matéria orgânica e fósforo disponível, o tratamento de maior impacto positivo na fertilidade do solo foi o fosfato natural com guandu, o que se refletiu na produção do milho. Diferente da titônia, planta concentradora de fósforo, o guandu claramente se beneficiou da presença do fosfato natural.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo do solo, fosfato natural, adubação verde, plantas adubadoras de solo, feijão-de-porco, guandu, titônia, cultura da mandioca, cultura do milho, Amazônia.

CHAPTER 1

ALTERNATIVES FOR SOIL FERTILITY RECLAMATION IN SHIFT CULTIVATION SYSTEM IN NORTHEAST PARA: CASSAVA AND CORN PRODUCTION UNDER SLASH-AND-TRITURATION PRACTICE

ABSTRACT – In the Nordeste Paraense region, the shift cultivation based on slash-and-burn of vegetation degrades the soil physiochemicals characteristics and impose a gradual soil nutrients lost, gradually decreases the agriculture production and thus always demands for new forest lands. Some alternatives of soil fertility reclamation, using green manure and compatible to socioeconomic conditions of small holders, have been studied with some success. Also there is evidence that rock phosphate, less soluble source of phosphorous - very deficient nutrient in tropical soils, can help in this process. In an eighteen-year-old secondary vegetation area, representative of smallholder cassava and other food crops producers of Marapanim-PA county, and using a completely randomized plot design, with four replications, the factors slash-and-trituration practice, rock phosphate and green manure were tested through the following treatments: secondary vegetation (SV); control (CON); rock phosphate (RP); wonderbean *Canavalia ensiformis* (L.) DC (W); RP + W; RP + pigeonpea *Cajanus cajan* (L.) Millspaugh (P); RP + tithonia *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray (T); W + P; and W + T. The soil preparation for planting the cassava – corn sequential cropping was made by slash-and-trituration of vegetation. The treatments of soil fertility reclamation only positively affected the corn production variables, and that of higher impact was rock phosphate with pigeonpea, followed by rock phosphate and rock phosphate with wonderbean. Among rock phosphate treatments, only that associated to pigeonpea increased corn production. In the absence of rock phosphate, green manure did not show any effect. In slash-and-trituration conditions and in terms of organic matter and availability phosphorus, the higher positive impact in soil fertility occurred in rock phosphate with pigeonpea treatment, what reflected in corn production. Different from tithonia, a phosphorus-concentrator plant, pigeonpea clearly took advantage of rock phosphate.

KEYWORDS: Soil management, rock phosphate, green manure, soil improver plants, wonderbean, pigeonpea, tithonia, manioc, corn, Amazon.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura itinerante praticada no Nordeste Paraense, que usa a prática de corte-e-queima como principal ferramenta de preparo de área, causa importantes modificações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SILVA et al., 2006). Esse processo provoca uma gradual perda de nutrientes do solo, principalmente de nitrogênio (N) e fósforo (P), na forma de gases e de constituinte das cinzas, com reflexo negativo na produção agrícola e abandono das áreas consideradas “degradadas” (KATO et al., 1999; RODRIGUES et al., 2007).

Diversas alternativas à prática de corte-e-queima têm sido sugeridas para a região Amazônica, como o pousio enriquecido com plantas arbóreas de rápido crescimento, fixadoras de N atmosférico e/ou mais eficientes na ciclagem de nutrientes (KWABIAH et al., 2001; DENICH et al., 2004; WICKEL, 2004).

Outra alternativa é a prática de corte-e-trituração que utiliza a capoeira triturada como cobertura morta ou *mulch* e que, além de suprimir o fogo no preparo de área para plantio, permite maior elasticidade na época de plantio, melhor distribuição do trabalho ao longo do ano e produzir fora do pico da safra (SATURNINO & LANDERS, 1997; KATO et al., 2007). No entanto, essa prática ainda exige a aplicação de fertilizante para compensar a imobilização dos nutrientes, principalmente na fase inicial, devido ao tempo de decomposição da cobertura morta (KATO et al., 1999).

Nas áreas tradicionais, submetidas a vários ciclos de corte-e-queima, a recuperação da produtividade agrícola só é possível com o uso de insumos químicos e/ou orgânicos. Modelos de produção intensiva de cultivos alimentares, a partir de solos exauridos pela agricultura de corte-e-queima, têm sido propostos por pesquisadores da Embrapa Amazônia Oriental (CRAVO et al., 2005). Contudo, esses pacotes tecnológicos requerem larga aplicação de insumos modernos (implementos agrícolas, corretivos e fertilizantes, e defensivos), só acessíveis aos pequenos produtores através de empréstimos bancários.

Por outro lado, o uso de sistemas conservacionistas, com uso de adubação verde, rotação de culturas e plantio direto, são capazes de manter uma produtividade agrícola satisfatória e, ao mesmo tempo, preservar as características do solo.

No contexto da agricultura familiar, o uso da biomassa de leguminosas herbáceas e arbustivas, prática conhecida como adubação verde, tem sido testado tanto em cultivos anuais como perenes (LOPES & ALVES, 2005).

1.1 Adubação verde

Num cenário de baixo nível de uso de insumos e de produtividade agrícola declinante, o uso da adubação verde pode ser uma opção para enfrentar a elevação dos preços dos fertilizantes fósseis (MUZILLI, 1986).

Aliado ou não à adubação química, a adubação verde vem sendo utilizado como fonte adicional de nutrientes, através do aproveitamento da biomassa de plantas cultivadas, desenvolvidas espontaneamente ou trazida de outra área, que é distribuída na superfície do solo, com a finalidade de melhorar as suas condições químicas, físicas e biológicas (CHAVES & CALEGARI, 2001; FREITAS et al., 2003).

As plantas pertencentes à família das leguminosas são as mais usadas na adubação verde por se associarem a microorganismos do solo capazes de fixar o N atmosférico (FREITAS et al., 2003). Plantas como feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e leucena (*Leucaena leucocephala* L.) têm sido utilizadas na adubação verde com a finalidade de proteger e enriquecer o solo, assim como melhorar a atividade microbiana, a capacidade de troca de cátions e as condições físicas do solo (MIYASAKA et al., 1983; CALEGARI, 1995; LOPES, 1998a,b,c; LOPES, 2000 a,b,c; NASCIMENTO et al., 2003). Dessa forma, o manejo agrícola, com base nas boas práticas de conservação e recuperação do solo, através da adubação verde, tem sido considerado a estratégia mais apropriada para proteger e conservar o solo, e garantir a sustentabilidade do agroecossistema (ALVARENGA et al., 1995).

Segundo Oliveira et al. (1989), a adubação verde da leguminosa *Stylosanthes capitata* aumenta a produtividade de raiz de mandioca, enquanto a das leguminosas *Desmodium ovalifolium*, *Desmodium intortum* e *Centrosema macrocarpum* promove uma eficiente cobertura do solo.

Num Latossolo Vermelho Distrófico da região da Transamazônica, compactado por excesso de mecanização, a fertilidade - medida em termos de pH, P, Ca, K, Al e CTC - foi melhorada com o uso da palha de guandu no plantio direto do feijão (*Phaseolus* sp.) (LOPES & CELESTINO FILHO, 2003).

Em região litorânea ocidental do Nordeste do Brasil, Oliveira et al. (2000) comprovaram o potencial do feijão-de-porco como produtor de biomassa e cobertura do solo para a produção agroindustrial do caju, e que o efeito dessa leguminosa só foi detectável a partir do terceiro ano do consórcio com a cultura explorada. Num estudo desenvolvido em Tracuateua - PA, o feijão-de-porco e *Chamaecrista* se destacaram, entre as leguminosas

testadas para adubação verde, como as mais eficientes recicladores de nutrientes do solo (LOPES, 1998a; LOPES, 2000c).

Devido à deficiência de P nos solos tropicais, principalmente na região Amazônia, a integração de cultivos com plantas mais eficientes no uso e acúmulo desse elemento no solo pode ajudar a produtividade dos sistemas agrícolas da agricultura familiar (AE et al., 1990). Alguns estudos têm sido desenvolvidos com espécies que estocam e alocam P no solo, permitindo reduzir o uso ou mesmo substituir a adubação fosfatada (FERREIRA & CARVALHO, 1998).

Oliveira e Carvalho (2009) apontam *Neea macrophylla* e *Cecropia arborea* como espécies arbóreas potencialmente acumuladoras de P e indicadas para composição do *mulch* no sistema de corte-e-trituração no preparo de área para plantio em alguns sistemas agrícolas do Nordeste Paraense.

Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* D.C.)

O feijão-de-porco é uma leguminosa de ciclo anual, adaptada a solos pobres e a altas temperaturas, tolerante ao sombreamento parcial e capaz de proporcionar uma boa cobertura do solo (FREITAS et al., 2003). Por isso, é recomendado para adubação verde para minimizar os danos causados ao solo por sucessivos monocultivos, com reflexos positivos na amortização dos custos de manutenção e investimentos no sistema agrícola (RODRIGUES et al., 2004).

Para Lopes (1998b), o feijão-de-porco reduz as perdas de solo, água e nutrientes por erosão e o número de capinas ou roçagens mecanizadas, assim como favorece a reciclagem de matéria orgânica e nutriente no solo.

Guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)

Além de melhorar o solo como adubo verde, a leguminosa guandu é um valioso alimento para os animais (TRANI et al., 1989) e humanos (ENWERE, 1998), por seu alto valor nutritivo em termos de carboidratos, minerais e vitaminas (ODENY, 2007). Sua capacidade de rebrotar eficientemente, principalmente quando podado a 40 cm do solo, e de se associar simbioticamente a bactérias fixadoras de N atmosférico, justifica o seu importante papel na produção sustentável (SEIFFERT & THIAGO, 1983).

Em alguns países da África, pequenos produtores preferem o guandu por sua capacidade de fixar N e capturar minerais de camadas mais profundas do solo (SAKALA et al., 2000).

Usado na adução verde, o guandu proporciona vários benefícios como melhorar a qualidade e fertilidade do solo por um longo tempo (ONIM et al., 1990) e reduzir os níveis de nematóides do nó de raiz (DANIEL & ONG, 1990). Além do mais, como cobertura do solo reduz a competição de plantas indesejáveis (VENZON et al., 2006).

Titônia (*Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray)

Pertence à família Asteraceae e comumente chamada de margaridão, titônia é um arbusto originário do México que tem sido reconhecido como fonte efetiva de P para o solo (JAMA et al., 2000). Essa planta pode ser utilizada como forragem, fonte de nutrientes para plantas, controle de erosão do solo e de insetos, e apresenta rápida decomposição foliar depois de incorporado ao solo, além de liberar o P com eficiência similar aos fertilizantes solúveis (ROOTHAERT et al., 1997; NG'INJA et al., 1998; DUTTA et al., 1993; NAGARAJAH & NIZAR, 1982). Além do mais, a titônia tem relativamente altas concentrações foliares de N (3,5%), P (0,37%) e K (4,1%), maiores do que o normalmente encontrado em arbustos e árvores (JAMA et al., 2000). Sua abundância, crescimento rápido, adaptação a diversos ambientes e facilidade de propagação vegetativa reforçam sua importância como planta recuperadora de solos degradados (OLABODE et al., 2007).

1.2 Fósforo natural

Na Amazônia, o P é o elemento mais limitante ao crescimento das culturas, sendo deficiente em 90% dos solos dessa região (MALAVOLTA, 1980). A deficiência de fósforo e de outros nutrientes nos solos dessa região torna-se ainda mais crítica quando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo são modificadas pelo uso do fogo, prática característica da agricultura tradicional de corte-e-queima (CERRI et al., 1985).

Esse impacto sobre a fertilidade do solo, cujos níveis de P já eram naturalmente baixos, conduz a uma agricultura extremamente dependente de adubação fosfatada (BUNNEMANN et al., 2000). Dessa maneira, a viabilidade econômica das culturas na Amazônia brasileira como um todo depende, em boa parte, de fertilizantes fosfatados.

Os fertilizantes fosfatados mais utilizados na agricultura brasileira são os fosfatos solúveis em água, como os superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfato monoamônio e fosfato diamônio, que são insumos caros (RAIJ et al., 1982). Por isso, os fosfatos de rocha, de solubilidade mais lenta, têm sido sugeridos como alternativa acessível para os agricultores, uma vez que seu custo de fabricação é baixo.

Estudos realizados por Sousa et al. (2008) mostraram um efeito positivo de doses crescentes de fosfato de rocha no crescimento de *Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland, *Cajanus cajan* (L.) Millsp., *Crotalaria juncea* L. e *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth.

Segundo Kato et al. (2000a), o preparo do solo influencia a disponibilidade de P para as plantas. Diferente do sistema de corte-e-queima em que o P contido na biomassa da vegetação é prontamente disponível no início do cultivo, o sistema de corte-e-trituração necessita da adição de fertilizante fosfatado.

2 O ESTUDO

No contexto do projeto pesquisa “Definição e validação de indicadores de degradação e de sustentabilidade para diferentes sistemas tradicionais e alternativos de uso da terra na Amazônia”, da Embrapa Amazônia Oriental, este estudo objetivou avaliar o desempenho de algumas alternativas de adubação verde e do fosfato natural para a recuperação de fertilidade de solo na produção agrícola de subsistência do Nordeste Paraense, especificamente nas culturas de mandioca e milho em área preparada com o sistema de corte-e-trituração da capoeira. Dessa forma, propôs-se verificar a viabilidade da adubação verde e do fosfato natural na produção de subsistência (mandioca e milho) do Nordeste Paraense.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi estabelecido em propriedade particular, na comunidade São João cuja principal atividade é de mandioca, no município de Marapanim-PA, Nordeste Paraense (entre as latitudes 0°56'24" e 1°4'12" S e as longitudes 47°34'48" e 47°39'36" W Gr) (Figura 1).

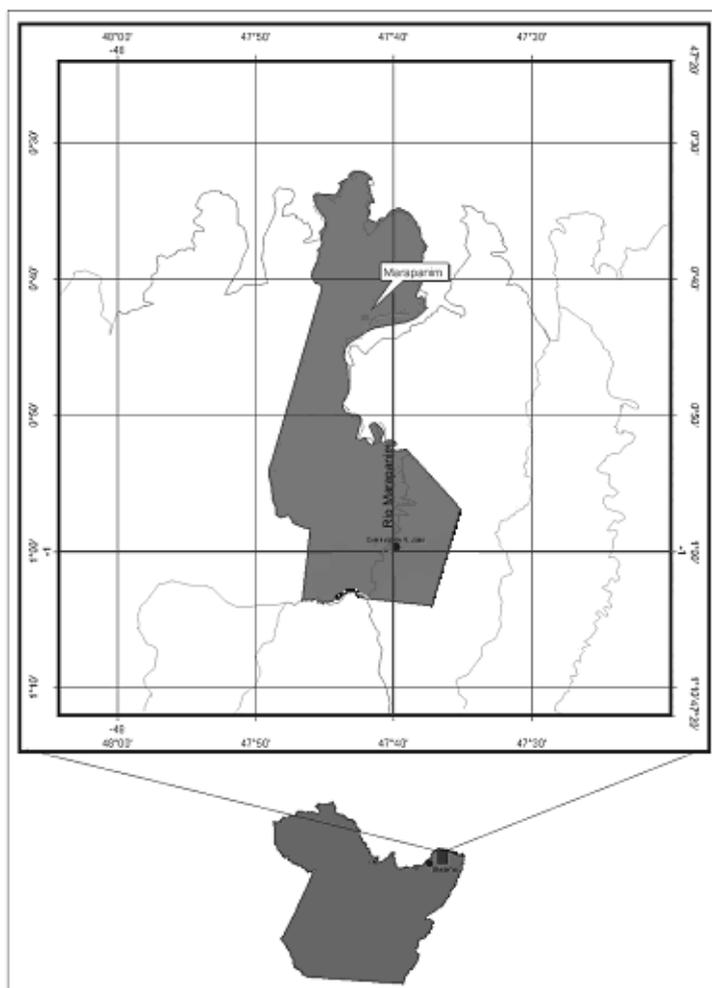


Figura 1 – Localização geográfica da comunidade São João, município de Marapanim, Estado do Pará (Adaptado de Leal et al., 2006)

3.2 Clima e solo

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é quente e úmido, do tipo Am, a precipitação média anual é de 2.500 mm, com meses de baixa pluviosidade entre setembro a novembro. A temperatura média anual é de 27° C, com máxima de 38° C e mínima de 26°, C e a umidade relativa do ar varia de 80 a 90% (BASTOS & PACHECO, 1999) (Figura 2).

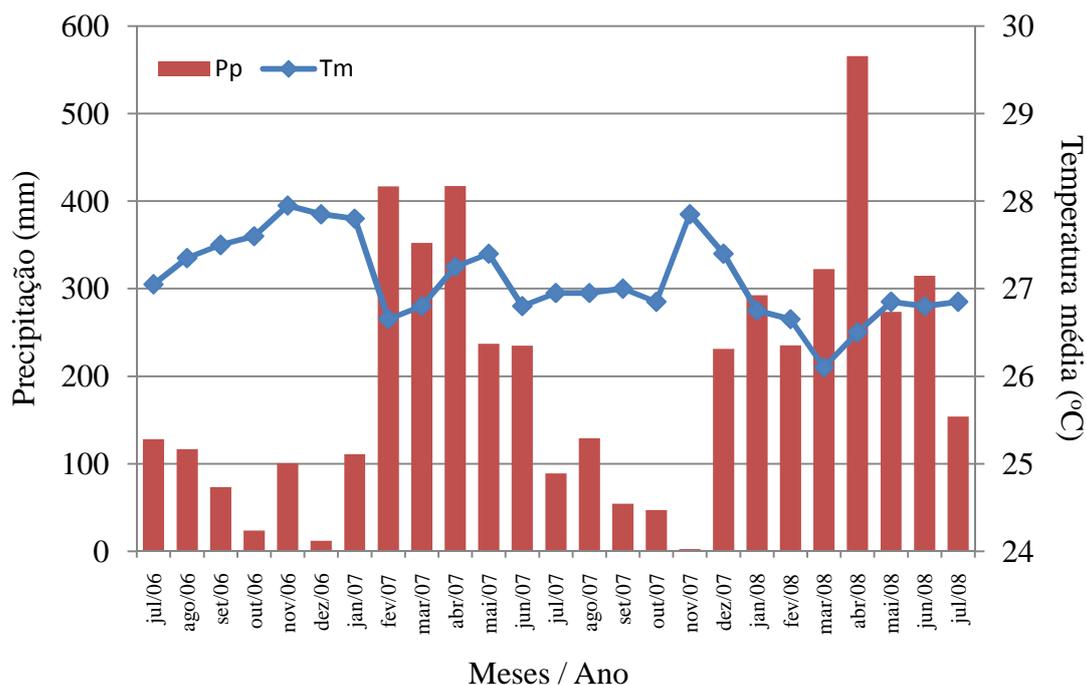


Figura 2 – Precipitação pluvial e temperatura mensal da área de estudo ao longo do período experimental. (Fonte: Estação Meteorológica da Embrapa Amazônia Oriental, em Igarapé-Açu-PA).

O solo predominante na área é o Latossolo Amarelo, textura arenosa (EMBRAPA, 2006), de baixa fertilidade (Tabela 1).

Tabela 1 – Características químicas e físicas do solo na área experimental, Comunidade de São João, município de Marapanim, Estado do Pará, 2006.

Profundidade (cm)	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total	pH (água)	MO	P	K	Na	Ca	Ca+Mg	Al
	g kg ⁻¹					g kg ⁻¹				cmol _c dm ⁻³		
0 – 10	543	334	61	60	5,8	51,72	1,94	35,6	195,8	2,5	3	0,1

3.3 Área experimental

Em junho de 2006, 1,5 ha de capoeira de 18 meses foi manualmente derrubado e recortado, e a biomassa resultante foi uniformemente distribuída sobre o terreno para formação do *mulch*, conforme o sistema de preparo do solo corte-e-trituração (Figura 3).

Cinco áreas de 10 m x 10 m, selecionadas ao acaso, permitiram se estimar a biomassa disponível da capoeira triturada em $8,5 \pm 1,57$ ton. MS ha⁻¹, que ficou em repouso em torno de um mês antes do plantio. Não foi realizada nenhuma operação mecânica de preparo de solo.



Figura 3 – Visão parcial da área experimental após a operação manual de corte-e-trituração da capoeira de 18 meses de idade, na comunidade de São João, município de Marapanim, Estado do Pará.

3.4 Fatores, tratamentos e delineamento

Para testar as alternativas de recuperação da fertilidade do solo, foi conduzido um ciclo de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e, em seguida, outro de milho (*Zea mays* L.). Os fatores experimentais testados foram prática de corte-e-trituração, fosfato natural e adubação verde de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh.) e de titônia (*Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray). Os tratamentos foram: capoeira (CAP); testemunha (TEST); fosfato natural (FN); feijão-de-porco (FP); FP + FN; FN + guandu (G); FN + titônia (T); FP + G; FP + T. Com exceção das parcelas do tratamento capoeira, a vegetação original foi submetida ao corte-e-trituração, como prática de preparo de área para plantio.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com nove tratamentos e quatro repetições; as parcelas experimentais eram de 10 m x 10 m, com área útil central de 5 m x 5 m; as parcelas eram separadas por 2 m (Figura 4).

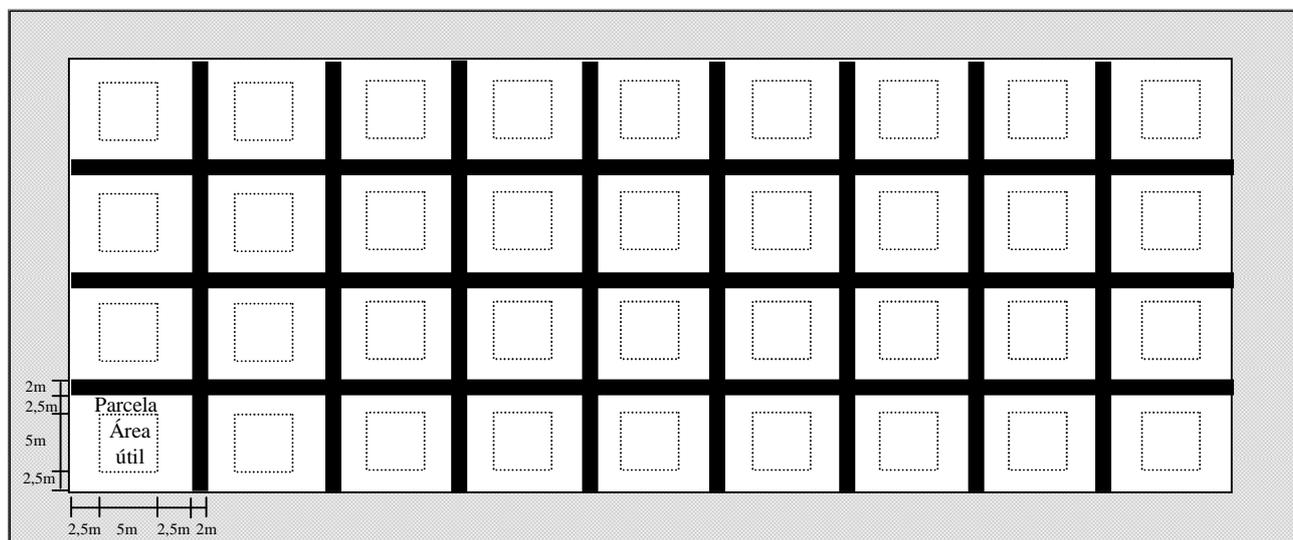


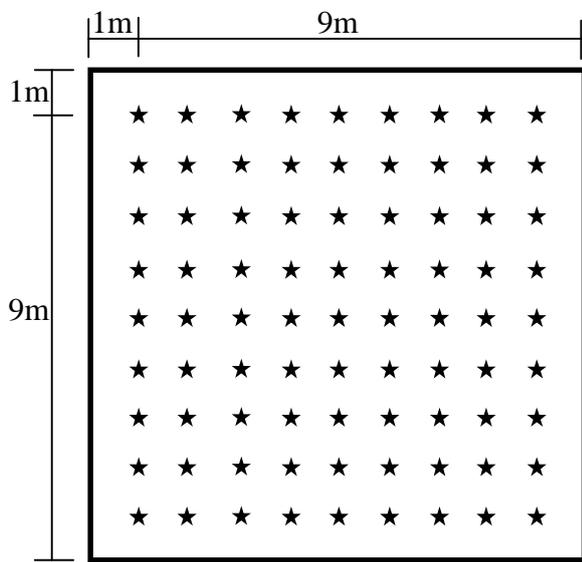
Figura 4 – *Lay out* da área experimental.

3.5 Arranjo espacial das culturas

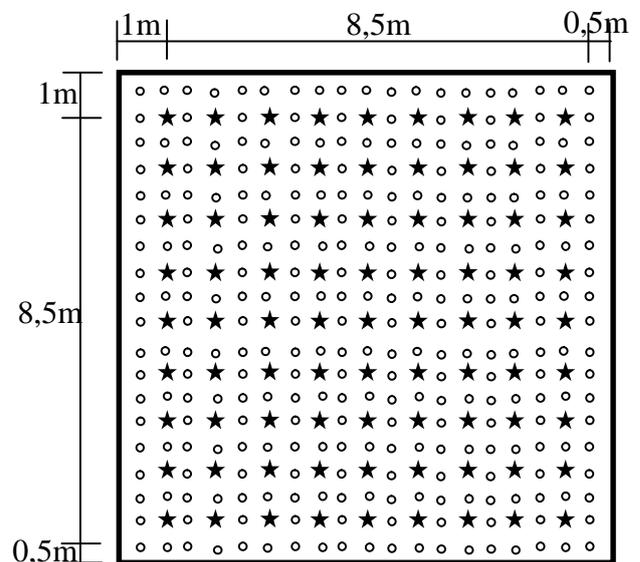
Mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), variedade local *Inha*, foi plantada no espaçamento de 1 m x 1 m (Figura 5a), utilizando-se duas estacas de 20 cm por cova, no sistema de plantio direto. Seu ciclo foi de julho de 2006 a dezembro de 2007.

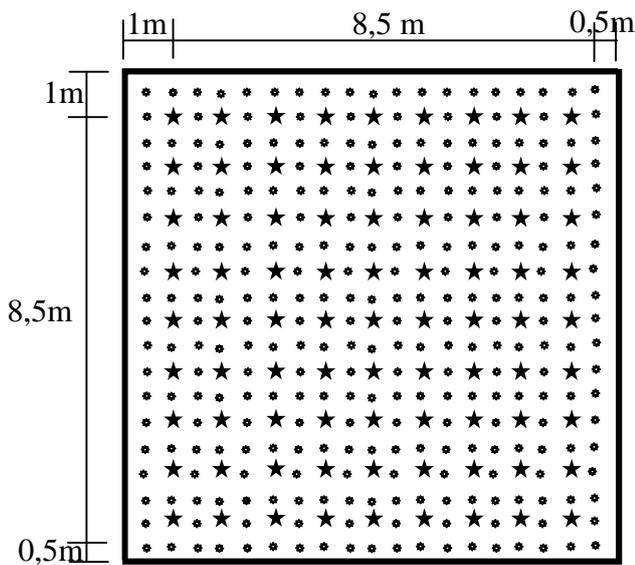
As plantas utilizadas como adubação verde foram plantadas intercaladamente e na mesma época da mandioca. As sementes de feijão-de-porco foram plantadas no espaçamento de 0,5 m x 0,50 m (Figura 5b), e as de guandu no de 1,0 m x 0,5 m (Figura 5d). As estacas de titônia foram plantadas em covas no espaçamento 1,0 m x 0,5 m (Figura 5c). O fosfato natural (Arad), com 33% de P_2O_5 solúvel, foi aplicado a lanço no final do plantio do experimento, na dose de 99 kg de P_2O_5 por hectare.



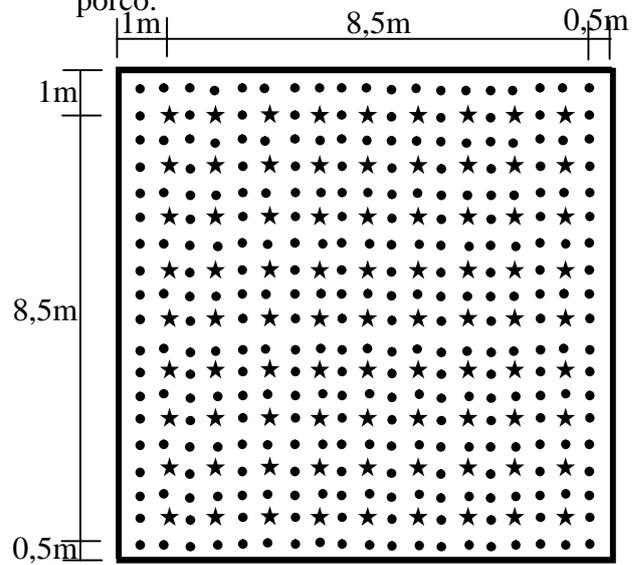
a) Arranjo da mandioca.



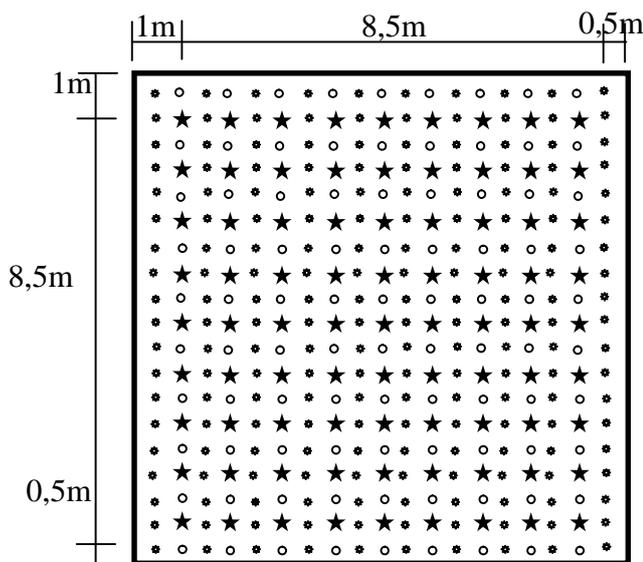
b) Arranjo da mandioca x feijão-de-porco.



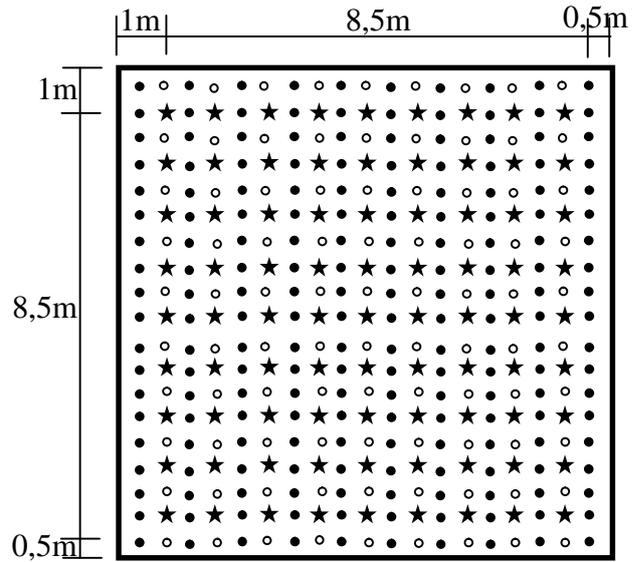
c) Arranjo da mandioca x titônia.



d) Arranjo da mandioca x guandu.



e) Arranjo da mandioca x guandu x feijão-de-porco.



f) Arranjo da mandioca x guandu x feijão-de-porco.

Figura 5 – Arranjo espacial das culturas: ★Mandioca ○ Feijão-de-porco * Titônia ● Guandu

Milho

Após a colheita da mandioca, o milho, variedade BR 5102, adaptada a solos de baixa fertilidade, foi plantado nas mesmas covas da mandioca, em um espaçamento de 1 m x 1 m, intercaladamente apenas às rebrotas do guandu e titônia, já que o feijão-de-porco havia completado o seu ciclo.

Uma semana antes do plantio do milho, uma nova aplicação do fosfato natural foi feita, na mesma dose.

3.6 Tratos culturais e manejo das plantas adubadoras de solo

Ao longo do ciclo da mandioca, foram feitas duas capinas: aos cinco meses e um ano, após o plantio. A terceira capina ocorreu em fevereiro de 2008, antecedendo o plantio de milho.

No final do ciclo do feijão-de-porco, de cerca de três meses, sua biomassa aérea depositou-se naturalmente sobre o solo. No caso do guandu e da titônia, a biomassa foi cortada e depositada sobre o solo em três ocasiões, aos oito, 13 e 19 meses do plantio. No último corte, após seis meses de rebrota, a produção de biomassa dessas plantas foi estimada.

Nessa ocasião, foram tiradas amostras da biomassa (folha e lenho) do guandu e titônia para análises de N e P. O N foi determinado pelo método Kjeldahl de destilação-titulação (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS, 1970) e o P pelo método de Murphy-Riley (EMBRAPA, 2009).

3.7 Avaliação das culturas

Aos 16 meses do plantio da mandioca (dezembro/2007), o estande e altura das plantas, e a produção de biomassa aérea (ramas) e de raízes foram avaliados (Figura 6).

O estande da mandioca expressa a sobrevivência das plantas no espaçamento usado. Já a altura das plantas teve como base o maior ramo de cada indivíduo da parcela.

3.8 Avaliação da fertilidade do solo

No final do estudo, em julho de 2008, amostras de solo das parcelas experimentais foram coletadas, na profundidade de 0-10 cm, nas quais foram analisadas para pH em água, matéria orgânica do solo, , potássio total e sódio total, conforme Embrapa (2009), e fósforo disponível segundo Olsen et al. (1954), com adaptações (ANEXO 1)



Figura 6 – Avaliação das plantas de mandioca: (a) altura, (b) produção de biomassa aérea, (c) produção de raiz, e (d) pesagem de amostras.

A produção de grãos e de biomassa (palhada e sabugo) do milho foi avaliada aos cinco meses do plantio (julho/2008),

4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises de variância (análise univariada ANOVA) dos dados experimentais foram realizadas pelo programa STATISTICA, versão 8.0 (2007).

As médias de produção e composição das plantas experimentais, e dos parâmetros de fertilidade do solo foram testadas pelo teste Tukey, ao nível de 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variância dos resultados mostrados a seguir estão apresentadas no ANEXO 2 - Quadros 1 a 29.

5.1 Produção de biomassa aérea de guandu e titônia

A produção de biomassa aérea do guandu foi significativamente superior à da titônia apenas na presença do fosfato natural (Tabela 2). Isso indica uma maior eficiência do guandu no aproveitamento dessa fonte de fósforo que a titônia. Segundo Souza et al. (2008), o guandu produz mais matéria seca por unidade de fósforo absorvido.

O nível de produção de biomassa de guandu obtido no estudo foi superior ao encontrado por Mário Júnior et al. (2009), de 0,41 a 0,77 t ha⁻¹, e comparável ao reportado por Silva et al. (2008), de 1,4 t ha⁻¹.

Já o nível da biomassa da titônia foi inferior ao encontrado por Souza Júnior (2007), de 3,43 a 3,55 t ha⁻¹.

Tabela 2 – Produção de biomassa aérea, em base seca, do guandu e da titônia aos 19 meses do plantio, após seis meses de rebrota, comunidade São João, município de Marapamin-PA. Fevereiro de 2008.

Plantas adubadoras*	Fator associado	
	Fosfato natural	Feijão-de-porco
	----- (t ha ⁻¹) -----	
Guandu	2,40±0,45 Aa	1,29±0,43 Ab
Titônia	1,46±0,39 Ba	1,48±0,25 Aa

*A biomassa do feijão-de-porco não foi avaliada.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

5.2 Teor de nitrogênio e fósforo de guandu e titônia

Os teores de N e P nas folhas do guandu registrados neste estudo (Tabelas 3 e 4) foram semelhantes aos reportados por Costa et al. (2003) e maiores que os reportados por Maior Júnior et al. (2009) e Teixeira et al. (2005). Essa diferença pode ser atribuída à época

de semeadura desta planta (AMABILE et al., 1999). No caso da titônia, esses teores foram semelhantes aos encontrados por Gachengo et al. (1999) e George et al. (2001).

Tabela 3 – Teor de nitrogênio na folha e no lenho de guandu e titônia, município de Marapanim, Pará. 2008.

Fator	Folha		Lenho	
	Guandu	Titônia	Guandu	Titônia
Associado				
	----- (g kg ⁻¹) -----			
Fosfato natural	34,22 _{±2,07} Aa	32,64 _{±0,34} Aa	9,41 _{±3,15} Aa	10,39 _{±0,60} Aa
Feijão-de-porco	37,21 _{±2,21} Aa	34,99 _{±2,07} Aa	10,40 _{±2,21} Aa	10,79 _{±1,75} Aa
Média geral	35,72 A	33,82 A	9,90 A	10,59 A

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4 – Teor de fósforo na folha e no lenho de guandu e titônia, município de Marapanim, Pará. 2008.

Fator	Folha		Lenho	
	Guandu	Titônia	Guandu	Titônia
Associado				
	----- (g kg ⁻¹) -----			
Fosfato natural	2,79 _{±0,26} Ab	4,95 _{±0,57} Aa	0,79 _{±0,40} Aa	0,88 _{±0,27} Aa
Feijão-de-porco	2,21 _{±0,30} Ba	3,24 _{±0,90} Ba	0,57 _{±0,27} Aa	0,50 _{±0,66} Ba
Média geral	2,50 B	4,10 A	0,68 A	0,69 A

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tanto na folha como no lenho, não se observou diferença significativa no teor de N entre as plantas adubadoras de solo estudadas. Da mesma forma, o teor de N das plantas não diferiu entre fosfato natural e feijão-de-porco como fator associado (Tabela 3). Souza et al. (2008) também não detectaram esse efeito, no caso de guandu com adubação fosfatada. No que diz respeito ao teor de P das folhas, a titônia suplantou significativamente o guandu somente na presença do fosfato natural (Tabela 4). Isso mostra que a capacidade concentradora de P daquela planta (NAGARAJAH & NIZAR, 1982; JAMA et al., 2000), aumenta com o fosfato natural. Tanto na folha quanto no lenho da titônia e como era de se

esperar, o teor de P foi significativamente maior na presença do fosfato natural que na do feijão-de-porco. No caso do guandu, isso só ocorreu nas folhas, o que confere com os relatos de Souza et al.(2008).

5.3 Estande e altura da mandioca

Embora não se tenha constatado nenhum efeito significativo de tratamento de recuperação do solo no estande e na altura da mandioca, pode-se verificar uma tendência de superioridade dos tratamentos fosfato natural, testemunha e feijão-de-porco no estande da mandioca (Tabela 5 e Figura 6), possivelmente devido à ausência de competição permanente de cobertura verde, considerando que a competição do feijão-de-porco durou apenas três meses. Ao longo dos dois anos de estudo, apenas três podas foram realizadas na titônia e no guandu e provavelmente isso foi insuficiente para diminuir a competição com as plantas de mandioca.

Tabela 5 – Altura e estande de plantas de mandioca aos 18 meses de plantio, município de Marapanim, Pará. 2008.

Tratamento ¹	Altura (cm)	Estande (%)
CAP	*	*
TEST	147,84±31,90	18,75±4,65
FN	143,74±12,73	20,75±2,50
FP	131,59±32,54	18,50±3,92
FN+FP	131,35±22,62	12,75±3,32
FN+G	140,14±21,80	13,75±3,30
FN+T	142,85±18,02	15,00±2,71
FP+G	148,32±20,36	16,00±4,32
FP+T	146,24±7,07	18,75±2,98

¹ CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

* Não se aplica.

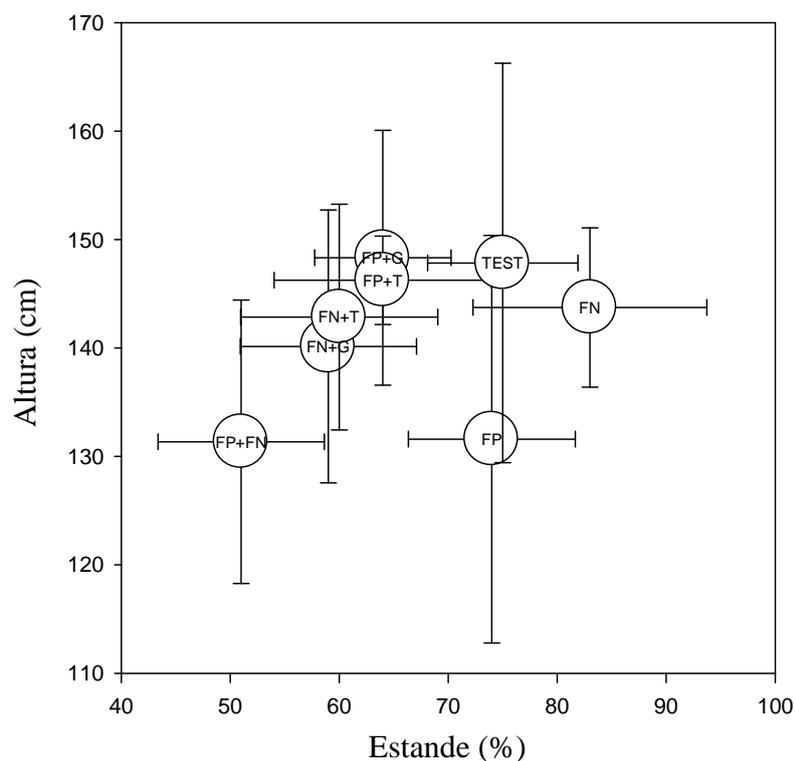


Figura 7 – Estande e altura de plantas de mandioca nos diferentes tratamentos. TEST = Testemunha; FN = Fósforo natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia (não se aplica ao tratamento CAP = Capoeira).

Por apresentar rápido amadurecimento, alta produção de biomassa e capacidade de regeneração (JAMA et al., 2000), a titônia é uma planta potencialmente competidora por nutrientes, mesmo após sucessivos cortes. Por isso, cortes mais frequentes dessa planta têm sido recomendados para controlar a competição com cultivos agrícolas (PALM et al., 1996). Costa e Chandrapala (2000) relatam uma alta competição de titônia com *Vigna radiata*, com impacto negativo no desempenho reprodutivo desse feijão.

A competição proporcionada por plantas de guandu também podem ocorrer em consórcios com cultivos agrícolas inadequadamente manejados (PAULO et al., 2001).

5.4 Produção de biomassa aérea e de raiz da mandioca

As médias de produção de biomassa e de raiz, tanto na base úmida como na seca, sofreram efeito de tratamento (Tabela 6). A maior biomassa aérea, tanto na base úmida como na seca, foi proporcionada pelo tratamento fósforo natural, que diferiu significativamente do

tratamento fosfato natural com feijão-de-porco, fosfato natural com guandu ou com titônia e feijão-de-porco com guandu ou com titônia. Já a maior produção de raiz ocorreu no tratamento fosfato natural, tanto na base úmida como na seca. Na base úmida aquele tratamento não diferiu apenas da testemunha, enquanto na base seca não diferiu também do tratamento feijão-de-porco.

Tabela 6 – Produção de biomassa aérea e raiz de mandioca, num ciclo de 18 meses, no município de Marapanim, Pará. 2008.

Tratamento ¹	Biomassa aérea		Raiz	
	Na base úmida	Na base seca	Na base úmida	Na base seca
	----- (t ha ⁻¹) -----			
CAP	*	*	*	*
TEST	4,08 _{±1,35} ab	1,31 _{±0,41} abc	8,64 _{±3,94} ab	3,73 _{±1,60} ab
FN	5,74 _{±1,62} a	1,69 _{±0,46} a	11,75 _{±1,64} a	4,44 _{±0,89} a
FP	4,76 _{±1,18} abc	1,66 _{±0,45} ab	6,57 _{±1,94} bc	2,65 _{±0,88} abc
FN+FP	3,11 _{±0,38} c	0,98 _{±0,07} b	4,65 _{±1,88} bc	1,64 _{±0,65} c
FN+G	2,81 _{±1,33} c	0,82 _{±0,39} c	2,64 _{±0,93} c	1,11 _{±0,40} c
FN+T	3,93 _{±0,41} bc	1,20 _{±0,18} abc	5,33 _{±1,50} bc	2,10 _{±0,65} bc
FP+G	3,27 _{±0,38} c	1,05 _{±0,05} bc	3,46 _{±0,63} c	1,54 _{±0,34} c
FP+T	2,29 _{±0,22} c	0,71 _{±0,09} c	3,49 _{±0,75} c	1,61 _{±0,36} c

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

*Não se aplica.

Devido o intenso uso prévio do solo estudado, o baixo uso de insumos e o déficit hídrico observado na fase de estabelecimento da mandioca, de modo geral, a produção de raiz obtida neste estudo foi muito baixa. Em sistema de preparo de área semelhante ao do estudo (corte-e-trituração), Kato et al. (2007) obtiveram uma produção média de 20,6 t.ha⁻¹, Somente a produção do melhor tratamento (fosfato natural) assemelhou-se à média da região estudada, de 12 t ha⁻¹ (VARELLA, 2003; KATO et al., 2007) e da da região Norte, de 14,99 t ha⁻¹. (GROXKO, 2009).

A maior produção de raiz obtida no tratamento fosfato natural pode ser explicada pela ausência de competição por parte das plantas adubadoras, o que concorda com os relatos de Schons et al. (2007) e Padovan et al. (2007).

Dessa forma, em condições de cultivo simultâneo de plantas adubadoras (adubação verde) com os cultivos, fica evidenciada a necessidade de um manejo apropriado daquelas

plantas para evitar que as vantagens proporcionadas na qualidade do solo não sejam neutralizadas pela competição impostas aos cultivos.

Não se observou resposta significativa do fator “fosfato natural” na produtividade da mandioca (tratamento testemunha *versus* tratamento fosfato natural). Já o fator “adubação verde”, com ou sem fosfato natural, não proporcionou aumento significativo, em alguns casos diminuindo em relação à testemunha, como observado por Galvão et al. (1998). Esses resultados sugerem que essas alternativas conservadoras de fertilidade de solo só podem ser efetivas em longo prazo (WADT, 2003).

5.5 Altura da planta e produção do milho

A altura do milho não diferiu significativamente devido a tratamento (Tabela 7), apesar de Kato et al. (2002) terem constatado maior resposta dessa variável à aplicação de fosfato natural, nas mesmas condições de preparo de área (corte-e-trituração).

A maior produção de biomassa do lenho, tanto na base úmida como na seca, foi proporcionada pelo tratamento fosfato natural com guandu, que foi seguida pela produção do tratamento feijão-de-porco com guandu, que, por sua vez, só diferiu significativamente dos tratamentos fosfato natural com titônia e feijão-de-porco com titônia (Tabela 7).

Também quanto à biomassa do sabugo e de grãos, tanto na base úmida quanto na seca, o tratamento de maior produção, significativamente diferente dos demais, foi o fosfato natural com guandu (Tabela 7). Em segundo plano, seguem as produções dos tratamentos fosfato natural sozinho e fosfato natural com feijão-de-porco, que sempre pertencem a grupos de tratamentos superiores, estatisticamente. Nos grupos de tratamentos de menor produção, sempre estão presentes os tratamentos feijão-de-porco com titônia e fosfato natural com titônia. É possível que a titônia, como planta concentradora de fósforo, tenha competido fortemente com as plantas de milho por aquele elemento, enquanto o guandu claramente se beneficiou da presença do fosfato natural. As vantagens do fosfato natural na produção de grão de milho, nas mesmas condições deste estudo, também foram constatadas por Kato et al., (2002).

De modo geral, a produção de milho obtida neste estudo foi muito baixa, devido possivelmente ao histórico de desgaste do solo e ao baixo uso de insumos. Além do mais, em condições de preparo de área de corte-e-trituração, a melhor época de plantio é novembro e não fevereiro (como no presente estudo) devido à maior luminosidade (KATO et al., 2002). As médias de produção obtidas são bem inferiores à média do Pará, em 2006/2007, de 2,06 t ha⁻¹ (IBGE, 2008). No entanto, a produção do tratamento fosfato natural com guandu é mais

que o dobro da obtida no contexto do sistema tradicional corte-e-queima (CRAVO et al., 2008).

Tendo como referência o tratamento testemunha, dos tratamentos com adubação fosfatada apenas o fosfato natural com guandu aumentou significativamente a produção de biomassa do lenho, do sabugo e de grão. Da mesma forma, não se observou efeito dos tratamentos só com adubação verde.

No que diz respeito ao fator “adubação verde”, na ausência do fosfato natural, nenhum tratamento aumentou significativamente a produção de biomassa de lenho e de sabugo, e de grão. Nas condições de baixo uso de insumos, isso pode sugerir a necessidade de se associar as plantas adubadoras de solo a fontes complementares de nutrientes, como o fósforo, conforme sugerem alguns autores (SKORA NETO et al., 2007; SOUZA et al., 2008), o que ocorreu no caso do guandu. No entanto, o efeito do feijão-de-porco e titônia não foi beneficiado significativamente pela presença do fosfato natural, sugerindo a importância das características intrínsecas da planta adubadora, como a capacidade de competição que está associado à arquitetura da planta, à densidade de plantio e ao manejo de corte.

Tabela 7 – Características da produção de milho, em um ciclo de cinco meses, no município de Marapanim, estado do Pará. 2008.

Tratamento ¹	Altura (cm)	Biomassa do lenho		Biomassa do sabugo		Grão	
		Na base úmida	Na base seca	Na base úmida	Na base seca	Na base úmida	Na base seca
----- (t ha ⁻¹) -----							
CAP	*	*	*	*	*	*	*
TEST	104±20,4 a	0,92±0,14 bc	0,34±0,074 bc	0,025±0,006 bc	0,023±0,005 bcd	0,088±0,024 bc	0,081±0,023 bc
FN	108±8,7 a	0,78±0,30 bc	0,33±0,131 bc	0,100±0,003 b	0,093±0,027 bc	0,372±0,176 bc	0,348±0,161 bc
FP	127±35,7 a	0,78±0,22 bc	0,25±0,040 bc	0,031±0,001 bc	0,028±0,013 bcd	0,096±0,078 bc	0,090±0,074 bc
FN+FP	108±8,9 a	0,86±0,15 bc	0,40±0,059 bc	0,098±0,003 b	0,095±0,010 b	0,415±0,037 b	0,391±0,034 b
FN+G	127±24,5 a	2,15±0,50 a	0,97±0,240 a	0,322±0,010 a	0,296±0,088 a	1,174±0,341 a	1,115±0,326 a
FN+T	104±13,9 a	0,48±0,16 c	0,19±0,060 c	0,018±0,002 c	0,016±0,014 cd	0,054±0,059 c	0,049±0,057 c
FP+G	102±5,1 a	1,10±0,20 b	0,41±0,061 b	0,075±0,003 bc	0,069±0,025 bcd	0,267±0,104 bc	0,250±0,096 bc
FP+T	115±11,3 a	0,57±0,22 c	0,22±0,065 c	0,013±0,001 c	0,011±0,001 d	0,038±0,012 c	0,036±0,011 c

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

¹ CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

* Não se aplica.

5.6 Efeito na fertilidade do solo

Não foi observada nenhuma diferença significativa devido a tratamento na variável pH do solo, uma vez que, entre as alternativas de recuperação da fertilidade estudadas não se incluiu nenhum corretivo da acidez; o mesmo ocorreu com a variável potássio total (Tabela 8).

Contudo, o maior teor de matéria orgânica foi obtido no tratamento fosfato natural com guandu que não diferiu significativamente dos tratamentos fosfato natural com feijão-de-porco, capoeira e feijão-de-porco. Aquele tratamento também aumentou significativamente o teor da matéria orgânica nas condições de corte-e-trituração (comparação com a testemunha). Ao que tudo indica, o efeito daquele tratamento pode ser atribuído à maior produção de biomassa do guandu (Tabela 2).

Também o tratamento fosfato natural com guandu proporcionou um dos maiores teores de fósforo disponível no solo, mesmo considerando que as folhas do guandu tenham menor conteúdo de P que as da titônia (Tabela 4). O teor de P disponível no solo proporcionado por aquele tratamento não diferiu estatisticamente daqueles dos tratamentos feijão-de-porco com guandu, fosfato natural e fosfato natural com titônia. O tratamento fosfato natural com guandu foi o único que aumentou estatisticamente o P disponível do solo nas condições de corte-e-trituração (comparação com a testemunha), embora os tratamentos fosfato natural, fosfato natural com feijão-de-porco e fosfato natural com titônia tenham sido concebidos para incorporar esse elemento ao solo.

Ao final deste estudo, a relação das variáveis de fertilidade com a produtividade agrícola pode ser analisada na resposta do milho. Assim, o aumento na matéria orgânica e no fósforo disponível do solo, proporcionado pelo tratamento fosfato natural com guandu, se refletiu na produção de biomassa do lenho e do sabugo, e do grão de milho (Tabela 7), provavelmente devido às inegáveis contribuições daqueles atributos nos solos ácidos e de baixa fertilidade, principalmente nas condições de baixo uso de insumos.

Apesar de conhecida como planta concentradora de P (ROOTHAERT et al., 1997; NG'INJA et al., 1998; JAMA et al., 2000), a titônia não contribuiu para elevar a disponibilidade desse elemento no solo, mesmo apresentando, na presença do fosfato natural, significativamente maior conteúdo de P nas folhas que o guandu (Tabela 4). Provavelmente essa foi a razão pela qual essa planta melhoradora de solo não ter aumentado a produtividade agrícola (Tabela 8). Entretanto, é possível que a biomassa dessa planta necessite de maior tempo para disponibilizar o fósforo ao solo.

O tratamento feijão-de-porco com titônia proporcionou o menor teor de sódio total no solo estudado, não diferindo estatisticamente dos tratamentos capoeira, fosfato natural e fosfato natural com feijão-de-porco. Aquele tratamento foi o único que reduziu significativamente essa variável nas condições de corte-e-trituração (comparação com a testemunha).

Tabela 8 – Algumas variáveis de fertilidade do solo ao final do experimento, na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará. Julho / 2008.

Tratamentos ¹	pH em água	Matéria orgânica	Fósforo disponível	Potássio total	Sódio total
		----- g kg ⁻¹ -----			
CAP	5,74 _{±0,21} a	66,00 _{±10,63} abc	0,23 _{±0,04} b	83,28 _{±2,03} a	140,79 _{±16,08} de
TEST	5,73 _{±0,23} a	48,47 _{±2,43} bcd	0,19 _{±0,04} b	75,04 _{±7,59} a	158,21 _{±7,03} abdc
FN	5,68 _{±0,12} a	54,52 _{±2,43} bdc	0,32 _{±0,04} ab	89,01 _{±12,03} a	145,08 _{±8,72} cde
FP	5,49 _{±0,27} a	65,13 _{±8,61} abc	0,25 _{±0,03} b	85,34 _{±17,04} a	166,90 _{±10,90} abc
FN+FP	5,76 _{±0,33} a	68,02 _{±7,66} ab	0,34 _{±0,08} ab	88,14 _{±12,89} a	148,40 _{±4,94} bcde
FN+G	5,74 _{±0,17} a	69,98 _{±7,43} a	0,47 _{±0,10} a	97,14 _{±3,42} a	165,99 _{±9,23} abcd
FN+T	5,61 _{±0,34} a	40,03 _{±2,85} d	0,29 _{±0,03} ab	95,60 _{±9,79} a	173,42 _{±9,27} ab
FP+G	5,18 _{±0,35} a	64,52 _{±13,82} bc	0,36 _{±0,12} ab	84,33 _{±4,31} a	178,48 _{±9,86} a
FP+T	5,54 _{±0,19} a	47,04 _{±1,51} cd	0,22 _{±0,05} b	95,52 _{±3,92} a	129,91 _{±0,57} e
MÉDIA GERAL	5,61	58,19	0,30	88,16	139,97

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.
Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

6 CONCLUSÕES

Nas condições deste estudo e numa sequência de cultivo de mandioca seguida de milho, os tratamentos de recuperação da fertilidade de solo só afetaram positivamente a produção do milho.

O tratamento de maior impacto positivo nos componentes da produção do milho foi o fosfato natural com guandu. Em segundo plano ficaram os tratamentos: fosfato natural e fosfato natural com feijão-de-porco.

Dos tratamentos com fosfato natural, apenas aquele em associação com o guandu aumentou a produção do milho, enquanto que, na ausência desse insumo, a adubação verde não teve nenhum efeito positivo.

Nas condições de corte-e-trituração e em termos de matéria orgânica e fósforo disponível, o tratamento de maior impacto positivo na fertilidade do solo foi o fosfato natural com guandu, o que se elevou os componentes da produção do milho.

Diferente da titônia, planta concentradora de fósforo, o guandu claramente se beneficiou da presença do fosfato natural.

REFERÊNCIAS

AE, N.; ARIHARA, J.; OKADA, K.; YOSHIHARA, T.; JOHANSEN, C. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent. **Science**, v.248, p.477-480, 1990.

ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M. da; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.D. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.175-185, 1995.

AMABILE, R.F.; FANCELLI, A.L.; CARVALHO, A.M. Absorção de N, P e K por espécies de adubos verdes cultivadas em diferentes épocas e densidades num latossolo vermelho-escuro argiloso sob cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:837-845, 1999.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (Washington, EUA). **Official methods of the A.O.A.C.** Washington, 1970. 1015p.

BASTOS, T.X.; PACHECO, N.A. **Características de Igarapé-açu, PA e suas implicações para as culturas anuais: feijão-caupi, milho, arroz e mandioca.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 30 p.

BUNNEMANN, E.; DENICH, M.; VIELHAUER, K.; VLEK, P. L.G. Mineral Nutrition of maize and cowpea on mulched areas in NE Pará. In: **Seminário sobre manejo da vegetação secundária para a sustentabilidade da agricultura familiar.** ANAIS, Belém, EMBRAPA Amazônia Oriental/ CNPq. Pg. 120, 2000.

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná.** Londrina: IAPAR. (IAAR. Circular, 80). 1995. 118p.

CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B.P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 9(1):1-4. 1985.

CHAVES, J. C. D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, 22:53-60. 2001.

COSTA, N. de L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Resposta do guandu (*Cajanus cajan*) à altura e frequência de corte.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 3p. 2003. (Comunicado Técnico, 253).

COSTA, W.A.J.M. de; CHANDRAPALA, A.G. Competition between six hedgerow tree species and mung bean (*Vigna radiate* (L.) Wilczek) in the mid-country intermediate zone. **Journal of Naturalist Science Foundation**, 28(2):113-125, 2000.

CRAVO, M. da S.; CORTELETTI, J.; NOGUEIRA, O.L. SMYTH, T.J.; SOUZA, B.D.L. de. **Sistema Bragantino: agricultura sustentável para a Amazônia.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 93p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 218).

CRAVO, M. da S.; GALÃO, E.U.P.; SMYTH, T.J.; SOUZA, B.D.L.de. Sistema Bragantino: alternativa inovadora para produção de alimentos em áreas degradadas na Amazônia. **Amazônia: Ci. & Desenv.**, 4(7):221-239. 2008.

DANIEL, J.N.; ONG, C.K. Perennial pigeonpea: A multipurpose species for agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, 10:113-129. 1990.

DENICH, M.; VIELHAUER, K.; KATO, M. do S.A.; BLOCK, A.; KATO, O.R.; SÁ, T.D. de A.; LÜCKE, W.; VLEK, P.L.G. Mechanized land preparation in forest-based fallow systems: the experience from Eastern Amazonia. **Agroforestry Systems**, 61-62:91-106, 2004.

DUTTA, P.; CHAUDHURI, R.P.; SHARMA, R.P. Insect feeding deterrents from *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray. **Journal of Environmental Biology**. 14: 27-33. 1993.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Silva, F.C. da (Ed. Técnico). 2ª ed. Rev. Ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

ENWERE, N.J. **Foods of Plant Origin.** Nsukka, Afro-Orbis Publications, 1998.

FERREIRA, C.A.P.; CARVALHO, R.A. **Estimativa de custo de sistema de produção de arroz, milho e mandioca no município de Igarapé-Açu.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental (Comunicado Técnico, no. 83). 5p. 1998.

FREITAS, G.B. de; PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; BARELLA, T.P.; DINIZ, E.R. **Adubação Verde.** Brasília: SENAR, 2003. 91p.

GACHENGO, C.N.; PALM, C.A.; JAMA, B.; OTHIENO, C. *Thitonia* and Senna Green manures and inorganic fertilizers as phosphorus sources for maize in Western Kenya. **Agroforestry Systems**, 44:21-36, 1999.

GALVÃO, E.V.P.; OLIVEIRA, R.F. de; SOUZA, F.R.S. de; SILVA, J.F. de A.F. da; LOPES, O.M.N.; MENEZES, A.J.A. **Recuperação de área degradada com uso de adubação química e de leguminosas em Irituia, PA**. Belém: Embrapa-CPATU, 1998. 23p. (Boletim de Pesquisa, 187).

GEORGE, T.S.; GREGORY, P.J.; ROBINSON, J.S.; BURESH, R.J.; JAMA, B.A. *Tithonia diversifolia*: variation in leaf nutrient concentration and implications for biomass transfer. **Agroforestry Systems**, 52:199-205, 2001.

GROXKO, M. **Mandioca**. Análise da conjuntura agropecuária safra 2009/10. 2009. Disponível em www.seab.pr.gov.br (último acesso em 08/10/2010).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em www.ibge.gov.br (último acesso em 25/09/2008).

JAMA, B.; PALM, C.A.; BURESH, R.J.; NIANG, A.; GACHENGA, C.; NZIGUHEBA, G.; AMADALO, B. *Thitonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya: a review. **Agroforestry Systems**, 49:2001-221. 2000.

JAMA, B.C.A.; BURESH, R. J.; NIANG, A.; GACHENCO, C. N.; NZIGUHEBA, G. AMADALO, B. *Tithonia diversifolia* as green manure for soil fertility improvement in western Kenya. **A Rev. Agroforest Sys.**, 49: 201-221. 2000.

KATO, M. do S.A.; KATO, O.R.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the Eastern Amazon region: the role of fertilizers. **Field Crops Research**. 62:225-237. 1999.

KATO, M. do S.A.; KATO, O.R.; JESUS, C.C. de; RENDEIRO, A.C.L. **Genótipos de milho para plantio em sistema de corte e trituração**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 4p. 2002. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 65).

KATO, O.R.; KATO, M. do S.A.; JESUS, C.C. de; RENDEIRO, A.C. **Época de preparo de área e plantio de milho no sistema de corte e trituração no município de Igarapé-Açu**,

Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 3p. 2002. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 64).

KATO, M. do S.A.; OLIVEIRA, C.D. de S.; OLIVEIRA, M. do S.S. de; KATO, O.R.; SANTANA, R.M. **Agricultura sem queima: adaptando à realidade de agricultores familiares da comunidade São João – Marapanim, PA.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 48p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 289).

KWABIAH, A.B.; STOSKOPF, N.C.; VORONEY, R.P.; PALM, C.A. Nitrogen and phosphorus release from decomposing leaves under sub-humid tropical condition. **Biotropica.** 33(2):229-240. 2001.

LEAL, E.C.; VIEIRA, I.C.G.; KATO, M. do S.A. Banco de sementes em sistemas de produção de agricultura com queima e sem queima no município de Marapanim, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi,** 1(1):19-29, 2006.

LOPES, O.M.N. **Feijã-de-porco: leguminosa para adubação verde e cobertura de solo.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1998a. 4p. (Recomendações Básicas, 37).

LOPES, O.M.N. **Feijão-de-porco no solo cultivado com pimenta-do-reino.** Belém: Embrapa – CPATU. 1998b. (Embrapa – CPATU. Circular Técnica, 74). 4p.

LOPES, O.M.N. **Leguminosas para adubação verde na região Bragantina, Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 5p. 1998c. (Comunicado Técnico, 86).

LOPES, O.M.N. **Feijão-de-porco: Leguminosa para controle de mato e adubação verde do solo.** Belém: Embrapa – CPATU. 2000a. (Recomendações Técnicas, 12).

LOPES, O.M.N. **Guandu: Leguminosa para controle do mato, adubação verde do solo e alimentação animal.** Belém: Embrapa – CPATU. 2000b. (Recomendações Técnicas, 10).

LOPES, O.M.N. ***Chamaecrista rotundifolia*: Leguminosa para controle de mato e adubação verde do solo.** Belém: Embrapa – CPATU. 2000c. (Recomendações Técnicas, 11).

LOPES, O.M.N.; CELESTINO FILHO, P. **Plantio direto de feijão phaseolus sobre palhada da leguminosa guandu na agricultura familiar da Transamazônica.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2003. (Comunicado Técnico 81).

LOPES, O.M.N.; ALVES, R.N.B. **Adubação verde e plantio direto: alternativas de manejo agroecológico para a produção agrícola familiar sustentável**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 34p.

MÁRIO JÚNIOR, S.G.S.; SOUTO, J.S.; SANTOS, R.V. dos; SOUTO, P.C. Produção de fitomassa do feijão guandu em diferentes arranjos populacionais. **Tecnologia e Ciência Agropecuaria**, 3(1):1-5, 2009.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de planta. São Paulo: **Agronômica Ceres**. 251p. 1980.

MIYASAKA, S.; CAMARGO, O.A.; CAVALERI, P.A. **Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no estado de São Paulo**. Fundação Cargill, Campinas. 138p. 1983.

MUZILLI, O. A adubação verde como alternativa para a melhoria da fertilidade do solo e racionalização do uso de fertilizantes. Fundação Instituto Agrônômico do Paraná. **Informe da Pesquisa**, ano X, nº68, 1986. 14p.

NAGARAJAH, S.; NIZAR, B.M. Wild sunflower as a green manure for rice in the mid-conutry west zone. **Tropical Agriculturalist**. 138: 69-78. 1982.

NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L.F. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 7(3):457-462. 2003.

NG'INJA, J.O.; NIANG, A.; PALM, C.; LAURIKS, P. **Traditinoal hedges in westrn Kenya: typology, composition, distribution, uses, productivity and tenure**. Pilot Project No. 8. Regional Agroforestry Research Centre, Maseno, Kenya. 1998.

ODENY, D.A. The potential of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) in Africa. **Natural Resources Forum**, 31:297-305, 2007.

OLABODE, O.S.; SOLA, O.; AKANBI, W.B.; ADESINA, G.O.; BABAJIDE, P.A. Evaluation of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A Gray for soil Improvement. **World Journal of Agricultural Sciences**, 3(4): 503-507, 2007.

OLIVEIRA, F.N.S.; JORGE, H.D.; LIMA, J.A. de S. **Avaliação de leguminosas para adubação verde e rotação com a cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. Porto Velho: Embrapa. Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Porto Velho, 1989. 5p.

OLIVEIRA, F.N.S.; LIMA, A.A.C.; AQUINO, A.R.L. de; COSTA, J.B.A. **Adubação verde com leguminosas em pomares de cajueiro anão precoce**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. 19p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa, 31).

OLIVEIRA, P.C.; CARVALHO, C.J.R. Fósforo, nitrogênio, lignina, celulose e polifenóis em amostras de serrapilheira foliar de *Neea macrophylla*, *Cecropia palmata* e *Casearia arbores* no Nordeste do Estado do Pará. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 4(3):20-28. 2009.

ONIM, J.F.M.; MATHUVA, M.; OTIENO, K.; FITZHUGN, H.A. Soil fertility changes and response of maize and beans to green manures of leucaena, sesbania and pigeonpea. **Agroforestry Systems**, 12:197-215. 1990.

OLSEN, S.R.; COLE, C.V.; WATANABE, F.S.; DEAN, L.A. **Estimation of available phosphorus in soils extraction with sodium bicarbonate**. Washington: USDA, 1954. 19p. (Circular, 939).

PADOVAN, M.P.; OTSUBO, A.A.; OLIVEIRA, A. de; GENEVRO, J.C. Consorciação de adubos verdes com a cultura da mandioca em sistemas de produção orgânica no Mato Grosso do Sul. **Anais**. Congresso Brasileiro de Sistemas de Produção, 7. Agricultura Familiar, Políticas Públicas e Inclusão Social, 7p. 2007. Disponível em http://www.cnpat.embrapa.br/sbsp/anais/Trab_Format_PDF/103.pdf (último acesso em 06/06/2010).

PALM, C.A.; MUKALAMA, J.; AGUNDA, J.; NEKESA, P.; AJANGA, S. Farm hedge survey: composition, management, use and potential for soil fertility management. Summary report for African Highlands Initiative. **Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF)**, Nairobi, Kenya. 1996.

PAULO, E.M.; BERTON, R.S.; CAVICHIOLI, J.C.; BULISANI, E.A.; KASAI, F.S. Produtividade do café Apatã em consórcio com leguminosas na região da Alta Paulista. **Bragantia**, 60(3):195-199, 2001.

RAIJ, B. VAN; CABALA, R.P.; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S; GOEDERT, W.J. (Eds.). **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: Embrapa-DID, 1982. p.1-19. (Documentos, 21).

RODRIGUES, J.E.L.F.; ALVES, R.N.B.; LOPES, O.M.N; TEIXEIRA, R.N.G.; ROSA, E.S. **A importância do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* DC.) como cultura intercalar em rotação com milho e feijão caupi em cultivo de coqueirais no Município de Ponta-de-Pedras/Marajó-PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 4p. (Comunicado Técnico, 96).

RODRIGUES, M.A.C. de M.; MIRANDA, I.S.; KATO, M. do S.A. Estrutura de florestas secundárias após dois diferentes sistemas agrícolas no nordeste do estado do Pará. **Acta Amazônica**, 37(4):591-598. 2007.

ROOTHAERT, R.; ARIMI, H.K.; KAMARU, E. Indigenous fodder species in Kenya – assessing the wealth. **Agroforestry Today**, 9(3):17-22. 1997.

SAKALA, W.D.; CADISCH, G.; GILLER, K.E. Interactions between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, 32:679-688. 2000.

SCHONS, A.; STRECK, N.A.; FAGUNDES, L.K. Rendimento da mandioca em diferentes arranjos de plantas no cultivo solteiro e consorciado com milho. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, volume 3, 4p. 2007. Disponível em <http://www.cerat.unesp.br/revistarar/volume3/artigos/97%20Alfredo%20schonz.pdf> (último acesso em 06/06/2010).

SEIFFERT, N.F.; THIAGO, L.R.L. **Legumineira: cultura forrageira para produção de proteína**. Circular Técnica, 13. Campo Grande: Embrapa Gado de Leite. 1983. Disponível em <http://www.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/ct/ct13/02guandu.html> (último acesso em 10/12/2006).

SILVA, G.R. DA; SILVA JÚNIOR, M.L. DA; MELO, V.S. de. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um Latossolo Amarelo do Estado do Pará. **Acta Amazônica**, 36(2): 151-158. 2006.

SILVA, M.A. da; SANTOS, M.V.F. dos; LIRA, M. de A.; DUBEUX JUNIOR, C.B.; LEITE, P.M.B. de A.; SILVA, H.M. S. da. Produção de biomassa, aspectos morfológicos de leguminosas arbustivas na Zona da Mata Seca de Pernambuco. **Associação Brasileira de Zootecnistas**. João Pessoa, PB – UFPB / ABZ. 2008. 1-5p.

SKORA NETO, F.; CAMPOS, A.; RADOMSKI, M.I. Fosfato natural e calcário na produção de biomassa da parte aérea de adubos verdes de inverno e verão. **Rev. Bras. de Agroecologia**, 2(2):723-726. 2007.

SOUZA, C.M. de A.; CARVALHO, C.J.R. de; VASCONCELOS, S.S.; SERRÃO, B. de O. Crescimento de leguminosas submetidas a diferentes níveis de adubação com fosfato de rocha. **Rev. Ciênc. Agrár.**, Belém, 50:77-93. 2008.

SOUZA JÚNIOR, O.F. de. **Influência do espaçamento e da época de corte na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray**. Dissertação de Mestrado. Marília: UNIMAR, 2007. 43p.

TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J. de; FURTINI NETO, A.E.; ANDRADE, M.J.B. de; MARQUES, E.L.S. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milheto, feijão-deporco e guandu-anão em cultivo solteiro e consorciado. **Ciência Agrotécnica**, 29(1):93-99, 2005.

TRANI, P.E.; BULISANI, E.A.; BRAGA, N.R. **Adubação verde**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1989. 13p.

VARELLA, L.B. Sustentabilidade prospectiva do sistema *taungy* em comparação com a roça tradicional na zona bragantina do Estado do Pará. **Movendo Idéias**, 8(14):73-85, 2003.

VENZON, M.; ROSADO, M.C.; EUZEBIO, M.C.; SOUZA, B.; SCHOEREDER, J.H. Suitability of leguminous cover crop pollens as food source for the green lancewing *chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: chrysopidae). **Neotropical Entomology**, 35:371-376. 2006.

WADT, G.S. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 29p. 2003. (Documentos, 90).

WICKEL, B. **Water and nutrient dynamics of a humid tropical watershed in Eastern Amazon.** Center of Development Research, University of Bonn, Thesis of Doctor. Ecology and Development Series, 2004. 135p.

CAPÍTULO 2

INDICADORES DE SOLO EM SISTEMA AGRÍCOLA DE SUBSISTÊNCIA SOB RECUPERAÇÃO DA FERTILIDADE NO NORDESTE PARAENSE

RESUMO – Os indicadores convencionais de fertilidade de solo, mais comumente utilizados na prática, enfatizam basicamente o balanço ácido-base e o conteúdo de elementos químicos, essenciais ou tóxicos às plantas, mas não consideram adequadamente as propriedades biológicas do solo, responsáveis por grande parte do seu funcionamento. Os indicadores biológicos, ainda pouco difundidos, levam em consideração a atividade microbiana do solo que é mais sensível à dinâmica do solo. Desenvolvido no município de Marapanim – PA, no Nordeste Paraense, e utilizando um desenho experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, este estudo avaliou o comportamento dos indicadores biológicos - carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) e fosfatase ácida - e químicos - matéria orgânica do solo (MOS), fósforo total (P(t)), fósforo disponível (P(d)), fósforo orgânico (P(org)), nitrogênio orgânico (N(org)), nitrato, amônio, carbono orgânico (C(org)), potássio total (K(t)), sódio total (Na(t)), pH e condutividade elétrica - num solo cultivado com mandioca e milho, em área preparada com corte-e-trituração. Os fatores prática de corte-e-trituração, fosfato natural e adubação verde foram arranjados nos seguintes tratamentos daquele experimento: capoeira (CAP); testemunha (TEST); fosfato natural (FN); feijão-de-porco *Canavalia ensiformis* (L.) DC (FP); FN + FP; FN + guandu *Cajanus cajan* (L.) Millspaugh. (G); FN + titônia *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray (T); FP + G; FP + T. Em quatro épocas de amostragens, foram tiradas amostras compostas da camada superficial do solo (0 – 10 cm) de cada parcela para análise dos indicadores. A maioria dos indicadores testados foi fortemente influenciada pela variação de precipitação pluviométrica, e os mais sensíveis aos tratamentos foram MOS, N(org), P(t) e P(org), fosfatase ácida e K(t). Ao longo do tempo, a tendência da resposta dos indicadores variou de acordo com os fatores estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Corte-e-trituração, atributos do solo, fosfato natural, adubação verde, feijão-de-porco, guandu, titônia, Amazônia.

CHAPTER 2

SOIL INDICATORS IN SHIFT CULTIVATION SYSTEM UNDER FERTILITY RECLAMATION, NORTHEAST OF PARA

ABSTRACT – The traditional soil fertility indicators, more commonly used, emphasize basically the acid-basic balance and the content of chemical elements, essential or toxic to the plants, but do not consider adequately the soil biologic properties, largely responsible for soil functioning. Yet no sufficiently used, the biologic indicators take into consideration the microbial activity that is more sensible to soil dynamics. Carried out in Marapanim count, Para state, in Northeast region, and using a completely randomized plot design, with four replication, this study evaluated the behavior of biologic - microbial biomass carbon (MBC), microbial biomass nitrogen (MBN) and acid phosphatase – and chemical indicators – soil organic matter (SOM), total phosphorus (P(t)), available phosphorus (P(a)), organic phosphorus (P(org)), organic nitrogen (N(org)), nitrate, ammonium, organic carbon (C(org)), total potassium (K(t)), total sodium (Na(t)), pH and electric conductivity - in a soil cultivated with cassava and corn, which the secondary vegetation was prepared by slash-and-trituration system. The factors slash-and-trituration, rock phosphate and green manure were arranged in the following treatments: secondary vegetation (SV); control (CON); rock phosphate (RP); wonderbean *Canavalia ensiformis* (L.) DC (W); RP + W; RP + pigeonpea *Cajanus cajan* (L.) Millspaugh (P); RP + tithonia *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray (T); W + P; W + T. At four season samplings, soil samples were taken from the 0 - 10 cm layer of each parcel to measure the indicator values. The majority of the studied indicators was strongly affected by rain fall variation, and the most sensible to the treatments were SOM, N(org), P(t) and P(org), acid phosphatase and K(t). Along the time, the response tendency of the indicators varies according the studies factors.

KYEWORDS: Slash-and-trituration, soil attribute, rock phosphate, green manure, wonderbean, pigeon, tithonia, Amazon.

1 INTRODUÇÃO

O sistema de agricultura tradicional, com base no preparo de área com corte-e-queima da capoeira, utilizado há mais de um século no Nordeste Paraense, resulta em limitações para a produção agrícola por promover a perda de nutrientes e reduzir a fertilidade do solo, devido aos efeitos deletérios do fogo na vegetação (KATO et al., 2002). As perdas de nutrientes chegam a 97% de carbono, 98% de nitrogênio, 63% de fósforo do solo e 70% de cátions potássio, magnésio e cálcio da biomassa acima do solo (SOMMER et al., 2004). Assim, com essa prática, a recuperação natural do solo normalmente exige longos descansos para restabelecer a biomassa da vegetação e o estoque de nutrientes, no entanto, essa recuperação não atende ao crescimento populacional que leva à redução do período de pousio e, conseqüentemente, um menor acúmulo de biomassa e nutrientes.

Em contrapartida, a prática de preparo de área com corte-e-trituração da vegetação evita que os nutrientes acumulados na biomassa aérea sejam perdidos por volatilização, erosão e lixiviação, mantendo assim a produtividade agrícola (KATO et al., 2002). Portanto, a adoção dessa prática contribui para a sustentabilidade agrícola, na medida em que são melhorados os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, decisivos para o desenvolvimento das plantas e à vida da microbiota do solo (DORAN & PARKIN, 1994). Isso se baseia nos processos biogeoquímicos, fundamentais para o funcionamento dos ecossistemas terrestres e de todos os membros da cadeia alimentar que são dependentes do solo como fonte de nutrientes e intermediários na ciclagem de matéria orgânica e no fluxo de energia (DICK, 1994).

Além do mais, as práticas e o manejo agrícola inadequado, como uso do fogo no preparo de área entre outros, podem levar à degradação e conseqüentemente à perda de qualidade do solo (DORAN & PARKIN, 1994). A qualidade do solo é entendida como a capacidade deste de sustentar a produtividade biológica do ecossistema, mantendo o equilíbrio ambiental e promovendo a saúde de plantas e/ou animais e do próprio ser humano (DORAN et al., 1996; SPOSITO & ZABEL, 2003).

No entanto, avaliar a qualidade do solo requer o monitoramento de alguns parâmetros em função de mudanças no manejo ou de fatores externos. Dessa forma, o indicador é um instrumento que permite avaliar um sistema e determinar a condição em que esse sistema é sustentável (DEPONTI et al., 2002). Contudo, como um único indicador dificilmente conseguirá expressar completamente a qualidade do solo, é recomendável o uso de um conjunto deles, desde que se relacionem aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo

(DORAN, 1997; STENBERG, 1999). Por esse motivo, o uso de um conjunto de indicadores é necessário para avaliar o estado atual do solo e prever o seu desempenho futuro (HALBERG, 1999). Por outro lado, um grande número de indicadores requer tempo, é oneroso e muitas vezes não é praticável (MITCHELL et al., 2000). Dessa forma, a qualidade do solo pode ser melhor avaliada através de indicadores químicos, físicos e biológicos-chaves, por meio dos quais a sensibilidade às mudanças e aos distúrbios do solo é identificada e avaliada (CHAER, 2001; TÓTOLA & CHAER, 2002). Ademais, para se comparar a dinâmica de práticas de manejo têm sido usadas avaliações periódicas de indicadores do solo (KARLEN et al., 2001; SPARLING & SCHIPPER, 2002).

Recentemente tem crescido na comunidade científica o interesse por indicadores do funcionamento do sistema solo, baseados na atividade microbiana, que sozinhos ou em conjunto com outros indicadores convencionais, podem ajudar a orientar os produtores a manejarem seus solos de forma mais produtiva e sustentável.

As propriedades biológicas do solo, como biomassa microbiana, atividade enzimática e taxa de respiração constituem indicadores sensíveis às alterações ambientais e servem como ferramenta para orientar o planejamento e avaliar as práticas de manejo do solo (SPADOTTO et al., 2004; CARVALHO, 2005).

Além desses, os indicadores químicos retratam parâmetros responsáveis pelos processos naturais do funcionamento do solo, como a matéria orgânica que influencia a liteira e a biomassa microbiana, o pH a disponibilidade de nutrientes e o conteúdo de nutrientes a produção de biomassa.

Neste estudo, alguns indicadores biológicos e químicos foram avaliados em diferentes tratamentos de recuperação de fertilidade de solo, ao longo do tempo.

2 INDICADORES BIOLÓGICOS DO SOLO

2.1 Biomassa microbiana

A biomassa microbiana, que representa a parte viva da matéria orgânica e armazena nutriente, pode servir como indicador de mudanças no solo, especialmente por ser de determinação rápida (GRISI, 1995; SILVEIRA et al., 2006).

A biomassa microbiana é um indicador de resposta sensível às variações no ambiente do solo, decorrentes de mudanças climáticas, manejo dos cultivos e cobertura vegetal (FRIGHETTO & SCHNEIDER, 2000; GAMA-RODRIGUES et al., 2005). Tanto que a

biomassa microbiana tem sido considerada como um bio-indicador da qualidade do solo (ANGERS et al., 1993; GUPTA & GERMIDA, 1998). Este indicador é considerado um expressivo reservatório de nutrientes nos solos, podendo ser associado a mudanças na cobertura vegetal e funcionar como indicador ecológico (MORAES et al., 2007).

Essa qualidade da matéria orgânica é proporcionada pela participação dos microorganismos nos processos vitais da formação e funcionamento do solo, como ciclagem de nutrientes, transformação da matéria orgânica, fixação biológica de nitrogênio, associação micorrízica, assim como diversidade e crescimento de espécies vegetais (JENKINSON & LADD, 1981; WARDLE, 1992; KENNEDY & PAPENDICK, 1995; KENNEDY & SMITH, 1995; USHIO et al., 2008).

A dinâmica e supressão da vegetação influenciam diretamente a biomassa microbiana. Por exemplo, a eliminação da cobertura vegetal ocasiona uma drástica queda no C da biomassa microbiana, devido às mudanças da estrutura do solo e da qualidade da matéria orgânica (CAMPOS, 1998; CERRI et al., 1985 e PFENNING et al., 1992). Dessa forma, a biomassa e a atividade microbiana no solo têm grande relevância na agricultura por estarem relacionadas à imobilização temporária de carbono, nitrogênio e outros nutrientes (ALVAREZ et al., 1995). Num sistema tradicional de agricultura do Nordeste Paraense, Lopes et al. (2007) avaliaram o efeito das práticas de preparo do solo corte-e-queima e corte-e-trituração da capoeira sobre o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e constataram que a trituração aumenta a biomassa microbiana, assim como o seu conteúdo de nitrogênio.

Bausenwein et al. (2008) constataram um efeito significativo do período de amostragem no carbono da biomassa microbiana do solo, num sistema de cultivo mínimo.

2.2 Fosfatase ácida

As enzimas são importantes para a qualidade do solo pelo seu papel no desdobramento das substâncias complexas em moléculas simples que podem ser assimiladas pelas plantas como nutrientes minerais. Dessa maneira, esses compostos decompõem e mineralizam os nutrientes no solo, disponibilizando-os para as plantas e contribuindo para a ciclagem de nutrientes (SILVEIRA, 2007).

Desse modo, as atividades enzimáticas podem indicar a eficiência da ciclagem de nutrientes, da nitrificação, da oxidação e de outros processos vitais ao funcionamento do solo (DICK & TABATABAI, 1992; DICK et al., 1996). A atividade das enzimas é sensível a

vários fatores, como concentração de substrato, composição do meio da reação, temperatura, pH, íons, inibidores e outros (NAKAGI, 2007).

Fosfatase ácida compreende um conjunto de enzimas responsáveis pela ciclagem de nutrientes que é fundamental na mineralização do fósforo. Essa enzima disponibiliza fósforo para as plantas, por meio da catálise da hidrólise de fósforo orgânico, sendo responsável pela liberação do ânion PO_4^- no processo de mineralização de ésteres e anidros de ácido fosfórico, fundamentais no ciclo do fósforo no solo (SILVEIRA, 2007). Segundo Tabatabai (1994), a fosfatase ácida também é produzida por vegetais, porém a fonte microbiana é muito maior.

A enzima fosfatase ácida correlaciona-se com P e o crescimento da planta (SPEIR & ROSS, 1978), matéria orgânica (AON & COLANERI, 2001), e pH do solo (ACOSTA-MARTINEZ & TABATABAI, 2000), o que deve contribuir para a sua reputação, no meio científico, de boa indicadora de fertilidade do solo (DICK et al., 2000).

3 INDICADORES QUÍMICOS DE FERTILIDADE DO SOLO

3.1 Matéria orgânica do solo (MOS)

A matéria orgânica (MOS) do solo compreende os organismos vivos, resíduos de plantas e animais, decompostos ou em decomposição, e varia em estabilidade, disponibilidade e/ou estágio de alteração (MAGDOFF, 1992).

A MOS beneficia o solo química, física e biologicamente, ao nutrir a planta com nutrientes depositados pela cobertura morta, e melhorar a capacidade de retenção da água no solo, via modificação de sua estrutura (SILVA et al., 1999; PARRY et al., 2007). Em solos tropicais, ácidos e de baixa fertilidade, a MOS é a responsável por parte significativa da capacidade de troca catiônica – CTC (SANCHEZ, 1976).

Em geral, a MOS do solo tem relação direta com a nutrição das plantas, a facilidade de cultivo, a penetração das raízes, a estabilidade de agregados, a retenção de água e a porosidade do solo (KRULL et al., 2004). Por esses atributos, Elliott (1997) considera a MOS um indicativo chave da saúde do solo.

Num Latossolo Vermelho Eutroférico de Nova União, Roraima, Marcolan et al. (2009) avaliaram o teor de MOS em três sistemas de preparo do solo: trituração e queima da capoeira, e capoeira contínua (testemunha). Embora sem diferença significativa, a capoeira contínua tendeu a suplantiar a trituração e a queima da capoeira, em conteúdo de MOS na camada de 0-10cm (33, 28 e 21 g kg^{-1} , respectivamente).

No município de Marapanim, região Nordeste do Pará, os teores de MOS do sistema de preparo convencional de corte-e-queima da capoeira, e do plantio direto com corte-e-trituração da capoeira não diferiram significativamente, em todas as profundidades testadas, provavelmente devido à pouca idade da capoeira (TRINDADE et al., 2009). Segundo Lopes et al. (2004), o aumento do teor de MOS ocorre após seis anos de uso do sistema plantio direto.

3.2 Fósforo (P)

O P é um elemento necessário para fotossíntese, respiração, função celular, transferência de genes e reprodução das plantas. A deficiência de P afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas e, dependendo da severidade, esse impacto pode continuar durante a fase reprodutiva (STAUFFER & SULEWSKI, 2004). Em condição de deficiência de P, as plantas normalmente diminuem o desenvolvimento de raízes e as brotações e, como o perfil do solo é pouco explorado, a absorção de nutrientes e o uso de água são prejudicados (SCHWARTZ & KAFKAFI, 1978).

O P encontra-se no solo nas formas orgânicas e inorgânicas. As orgânicas são partes integrantes da matéria orgânica do solo e a separação dos componentes da fração orgânica é bastante complexa. Por outro lado, as formas inorgânicas estão associadas aos componentes minerais do solo e dependem do estágio químico de intemperização do solo (SANCHEZ, 1976).

Nos solos tropicais, grande parte do P está indisponível para utilização imediata das plantas, pela presença de óxidos-hidróxidos de alumínio e ferro (SAMPLE et al., 1980). Especialmente nos solos da Amazônia, o P é um dos elementos mais limitantes ao desenvolvimento vegetal, sendo deficiente em 90% dos solos da região (MALAVOLTA, 1980).

A carência desse elemento se torna ainda mais grave em face de práticas agrícolas inadequadas que levam a perdas de P por erosão, extração via colheita, redução do tempo de pousio e competição com plantas invasoras. Por essa razão, a baixa disponibilidade deste nutriente nos solos tem sido identificada como uma das principais limitações dos solos da Amazônia. Dessa maneira, o monitoramento do P é essencial para avaliar o efeito de práticas como a incorporação de plantas adubadoras de solo ou adubação.

3.3 Nitrogênio (N)

Representando 78% da atmosfera terrestre, o N é um elemento utilizado por certos grupos de plantas que possuem capacidade altamente especializada em assimilar o N orgânico e convertê-lo em uma forma utilizável pelas células. A deficiência de N assimilável constitui, muitas vezes, o principal fator limitante do crescimento vegetal (HARPER, 1994).

Entender o comportamento dos fatores que controlam as taxas de ciclagem do N no solo é importante para explicar, tanto a estrutura e o funcionamento do ecossistema, como também a qualidade ambiental (TÓTOLA & CHAER, 2002).

As florestas tropicais são geralmente ricas em N. No entanto, sua substituição para desenvolvimento da agricultura tradicional, seguida de abandono da área de cultivo, reduz muito os níveis de N do solo, sendo necessários pelo menos 70 anos para se restabelecer o ciclo original do N que permita o crescimento da vegetação primária (DAVIDSON et al., 2007).

As entradas e saídas do N nos sistemas de produção passam pela mineralização da matéria orgânica, realizada apenas por um grupo de microorganismos, que são capazes de fixar N e converter em amônia (NH_3), por meio da enzima nitrogenase, oxidar o amônio (NH_4^+) em nitrato (NO_3^-), e reduzir o nitrato a N_2 e o gás N_2 a amônia (CAMARGO et al., 1999). Esses microrganismos relacionam-se de forma simbiótica com leguminosas fixadoras de N, formando nódulos localizados principalmente no sistema radicular.

O nitrato e o amônio são as principais fontes de N inorgânico absorvido pelas raízes das plantas superiores (RAIJ, 1981) e o monitoramento desses indicadores é baseado em testes rápidos para determinação da disponibilidade de N no solo (ROTH et al., 1992; SIMS et al., 1995; RAMBO et al., 2004).

3.4 Carbono orgânico (C(org))

O C(org) é um elemento essencial da estrutura do solo que melhora o ambiente físico para a penetração das raízes. O C(org) entra no solo através da decomposição de plantas, animais, biota do solo e exsudados de raiz (USDA, 2009). Este indicador é afetado principalmente pelo clima, vegetação, hidrologia, textura do solo, e uso da terra.

A redução do estoque do C(org) pode limitar a capacidade do solo em fornecer nutrientes às plantas, o que baixa os rendimentos e reduz a biodiversidade do solo ao diminuir a oferta de alimento para os organismos vivos presentes no solo (SOCO, 2009).

A conversão do ecossistema natural em agroecossistemas reduz a concentração e o estoque de C(org) do solo, principalmente em regime intensivo, em 10,3% ou 6,74 mg ha⁻¹ de

C(org), na profundidade de 0 – 20 cm (ZINN et al., 2005). Uma alternativa para evitar essa perda é a incorporação ou deposição de resíduos agrícolas na superfície do solo, prática que também reduz a erosão superficial (USDA, 2009). No Nordeste Paraense, a prática de corte-e-trituração, utilizada no preparo de área para plantio, tem sido indicada para aumentar o C(org) no solo, principalmente na camada superficial (KATO et al., 2006).

Num Argisolo Vermelho Distrófico Arênico de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Pes et al. (2006) avaliaram a matéria orgânica em diferentes coberturas de solo, e constataram que sistemas de produção convencionais - que deixam o solo descoberto, sem aporte de resíduos - apresentaram drásticas perdas de C(org) pela fragilidade à erosão em comparação aos sistemas que mantêm a cobertura vegetal do solo.

3.5 Potássio (K)

Na planta, o K desempenha importante papel na eficiência fotossintética, velocidade de respiração, turgidez das células, formação dos frutos, translocação de metais pesados e resistência às doenças (LOPES, 1989). Plantas deficientes em K crescem lentamente, apresentam sistemas radiculares pouco desenvolvidos, colmos fracos e estão sujeitas a acamamento (LOPES, 1989).

A capacidade dos solos em suprir K às plantas depende da forma em que esse elemento se encontra, de sua quantidade e disponibilidade, bem como das condições físicas que afetam a sua condução pela solução do solo até o contato com a raiz (MIELNICZUK, 1978).

O K depende da difusão para chegar às raízes. Os sais de K apresentam maior mobilidade devido à alta solubilidade de K^+ , porém são mais sujeitos à lixiviação do solo (RAIJ, 1981).

Em condições de corte-e-queima, Kato et al. (2004) verificaram um aumento crescente na produção de milho com a elevação do suprimento de K, P e N, sugerindo uma perda de fertilidade do solo em decorrência da queima da biomassa aérea (SOMMER et al., 2004).

3.6 Sódio (Na)

Apesar de não ser um nutriente de plantas, o Na possui um papel crítico no solo. Altas taxas de Na reduzem a permeabilidade, dificultando a drenagem e facilitando a compactação do solo (CLANCY, 2010).

Solos que apresentam elevada concentração de sais, principalmente de Na oferecem dificuldades para o crescimento radicular e absorção de água, além de gerar um desbalanceamento geral de nutrientes (FAZFÁCIL, 2009).

3.7 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é uma medida de concentração de sal utilizada para medir a quantidade de sais presente na solução do solo, parâmetro crítico para o crescimento das culturas e infiltração de água no solo (DALAL et al., 2003).

Segundo EMBRAPA (2006), um solo considerado salino apresenta elevada concentração de sais solúveis, o que reduz o potencial de água a níveis prejudiciais às plantas; altas concentrações de sais causam uma diminuição na permeabilidade das membranas das células das raízes, diminuindo a velocidade de entrada de água na planta.

3.8 pH

Utilizado para determinar o nível de acidez do solo, o pH tem capacidade de interferir na disponibilidade de vários elementos químicos essenciais para as plantas (BRANDÃO & LIMA, 2002).

Dessa maneira, o pH é uma das principais limitações da produtividade agrícola nos solos da Amazônia que são geralmente ácidos e ricos em óxidos de ferro e alumínio, e caulinita. Na maioria dos solos da região, o pH varia de 4,5 a 5,5 (BAENA et al., 1998).

Segundo Comte (2008), solos preparados com corte-e-queima aumentam temporariamente o pH, mas diminuem as concentrações de C, N, P inorgânico, K, Ca e Mg, em relação a solos submetidos à corte-e-trituração da capoeira.

4 O ESTUDO

No contexto do projeto de pesquisa “Definição e validação de indicadores de degradação e de sustentabilidade para diferentes sistemas tradicionais e alternativos de uso da terra na Amazônia”, da Embrapa Amazônia Oriental, esta pesquisa objetivou avaliar o comportamento de alguns indicadores biológicos e químicos do solo em diferentes condições de recuperação da fertilidade de solo no sistema agrícola de subsistência no Nordeste Paraense.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Os indicadores foram avaliados nas parcelas de um experimento que visou comparar algumas alternativas de recuperação da fertilidade de solo de sistemas agrícolas de subsistência, cuja metodologia também é descrita a seguir.

5.1 Localização do experimento

O experimento foi estabelecido em uma área particular com histórico de uso de corte-e-queima no preparo de área, na comunidade São João, município de Marapanim, Nordeste Paraense, próximo ao município de Igarapé-Açu (Figura 1). Com uma área de 7.628 ha, essa comunidade situa-se na microbacia do igarapé Timboteua, entre as latitudes 0°56'24" e 1°4'12" S e as longitudes 47°34'48" e 47°39'36" WGr.



Figura 1 – Localização geográfica da comunidade São João, município de Marapanim, Estado do Pará (Adaptado de Leal et al., 2006)

5.2 Clima e solo

De acordo com a classificação de Köppen, o clima quente e úmido da área é do tipo Ami e a precipitação média anual é de 2.500 mm, com meses de baixa pluviosidade entre setembro e novembro. A temperatura média anual é de 27° C, com máxima de 38° C e mínima de 26° C, e a umidade relativa do ar varia de 80 a 90% (BASTOS & PACHECO, 1999). No intervalo deste estudo em questão, a temperatura média foi de 27,1° C, com máxima de 28 °C e mínima de 26 °C e precipitação média de 197,42 mm de chuva, com períodos de seca entre os meses de julho a novembro e chuva de dezembro a junho (Figura 2).

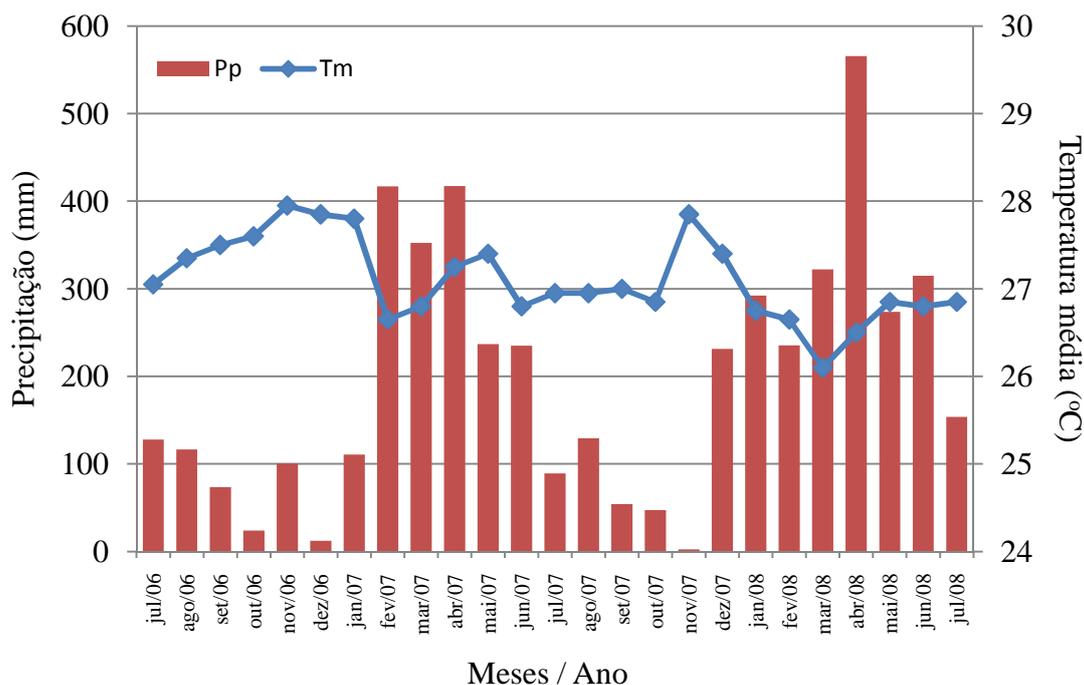


Figura 2 – Precipitação pluvial e temperatura mensal da área de estudo ao longo do período experimental. (Fonte: Estação Meteorológica da Embrapa Amazônia Oriental, em Igarapé-Açu-PA).

O solo predominante é Latossolo Amarelo, textura arenosa (EMBRAPA, 2006), de baixa fertilidade, como mostra a análise de fertilidade do solo da área experimental (Tabela 1). O relevo é classificado como plano a suave ondulado.

Tabela 1 – Características químicas e físicas do solo na área experimental, Comunidade de São João, município de Marapanim, Estado do Pará, 2006.

Profundidade (cm)	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila Total	pH	MO	P	K	Na	Ca	Ca+Mg	Al
	----- g kg ⁻¹ -----				(água)	----- g kg ⁻¹ -----				--- cmol _c dm ⁻³ ---		
0 – 10	543	334	61	60	5,8	51,72	1,94	35,6	195,8	2,5	3	0,1

5.3 Área experimental

Em junho de 2006, 1,5 ha de capoeira de 18 meses foi manualmente derrubado e rebaixado, e a biomassa resultante foi uniformemente distribuída sobre o terreno para formação do *mulch*, conforme o sistema de preparo do solo corte-e-trituração (Figura 3). Cinco áreas de 10 m x 10 m, selecionadas ao acaso, permitiram se estimar a biomassa disponível que foi de $8,5 \pm 1,57$ ton. MS ha⁻¹. O plantio dos cultivos experimentais foi realizado cerca de um mês após o preparo da área.



Figura 3 – Visão parcial da área experimental após a operação manual de corte-e-trituração da capoeira de 18 meses de idade, na comunidade de São João, município de Marapanim, Estado do Pará.

5.4 Fatores, tratamentos e delineamento

Para testar as alternativas de recuperação da fertilidade do solo foi conduzido um ciclo de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e, em seguida, outro de milho (*Zea mays* L.). Os fatores experimentais testados foram prática de corte-e-trituração, fósforo natural e adubação verde de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC), de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh.) e de titônia (*Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray). Os tratamentos foram: capoeira (CAP); testemunha (TEST); fósforo natural (FN); feijão-de-porco (FP); FN + FP;

FN + guandu (G); FN + titônia (T); FP + G; e FP + T. Com exceção das parcelas do tratamento capoeira, a vegetação original foi submetida ao corte-e-trituração, como prática de preparo de área para plantio.

O delineamento experimental utilizado foi de parcelas inteiramente casualizadas, com nove tratamentos e quatro repetições; as parcelas experimentais eram de 10 m x 10 m, cuja parte central de 5 m x 5 m foi considerada área útil; as parcelas eram separadas umas das outras por 2 m (Figura 4).

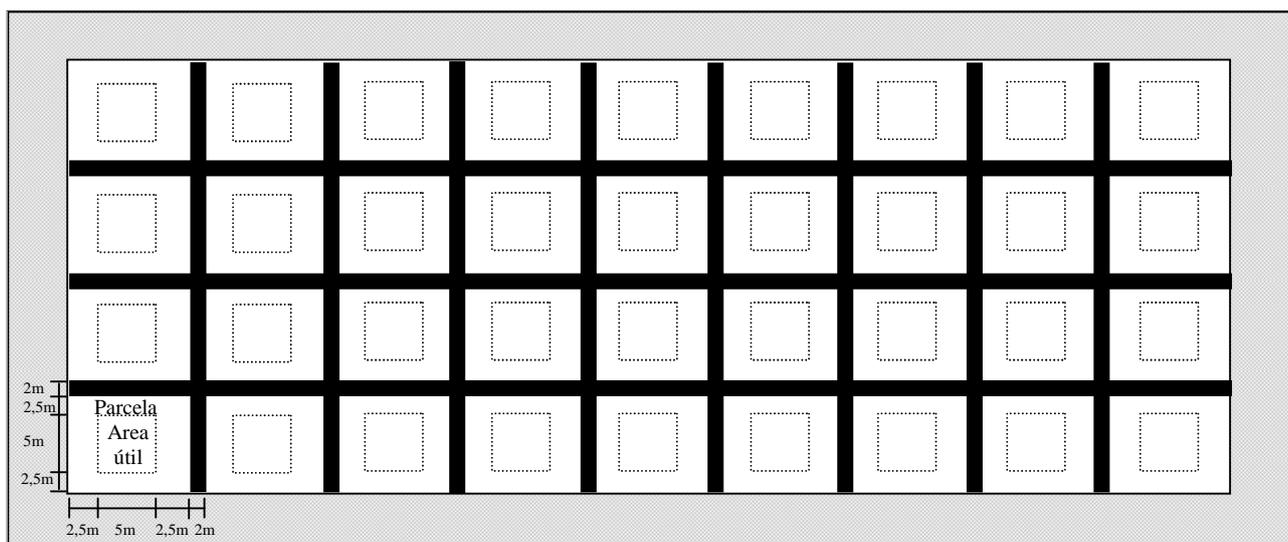


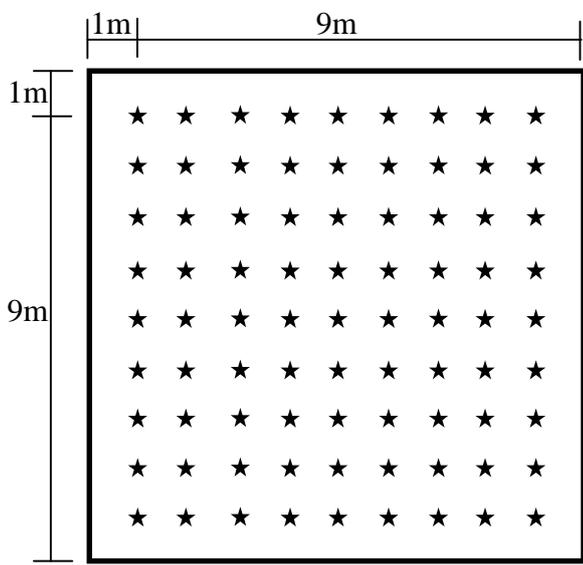
Figura 4 – Lay out da área experimental.

5.5 Arranjo espacial das culturas

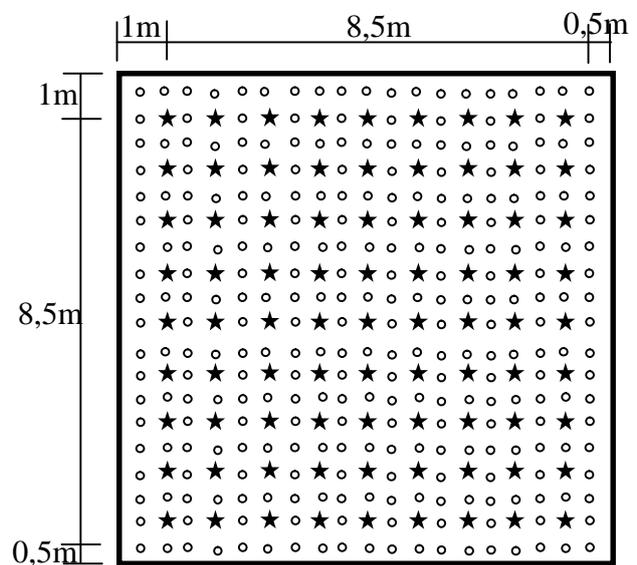
A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), variedade local *Inha*, foi plantada no espaçamento de 1 m x 1 m (Figura 5), utilizando-se duas estacas de 20 cm por cova, no sistema de plantio direto. Seu ciclo foi de julho de 2006 e dezembro de 2007.

As plantas adubadoras de solo, feijão-de-porco, guandu e titônia, foram plantadas intercaladamente ao plantio da mandioca. Na base de duas sementes por cova, o feijão-de-porco foi plantado no espaçamento de 0,5 m x 0,5 m, e o guandu no de 1,0 m x 0,5 m. As estacas de titônia foram plantadas em covas no espaçamento 1,0 m x 0,5 m (Figura 5). O fosfato natural (Arad), reativo e com 33% de P_2O_5 solúvel, foi aplicado no plantio da mandioca, a lanço, na dose de 99 kg de P_2O_5 por hectare. A mandioca foi colhida aos 16 meses.

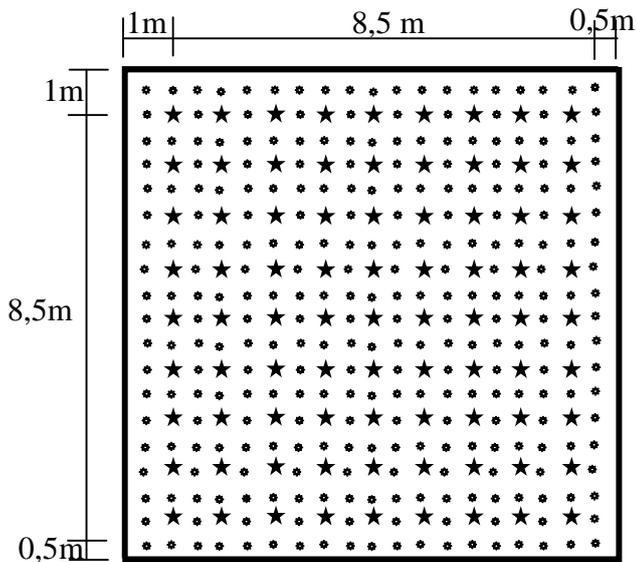
Em seguida, o milho, variedade BR 5102, adaptada a solos de baixa fertilidade, foi plantado nas covas remanescentes da mandioca, intercaladamente apenas às rebrotas do guandu e titônia, já que o feijão-de-porco havia completado o seu ciclo. Uma semana antes do plantio do milho, uma nova aplicação de fosfato natural foi feita, na mesma dose.



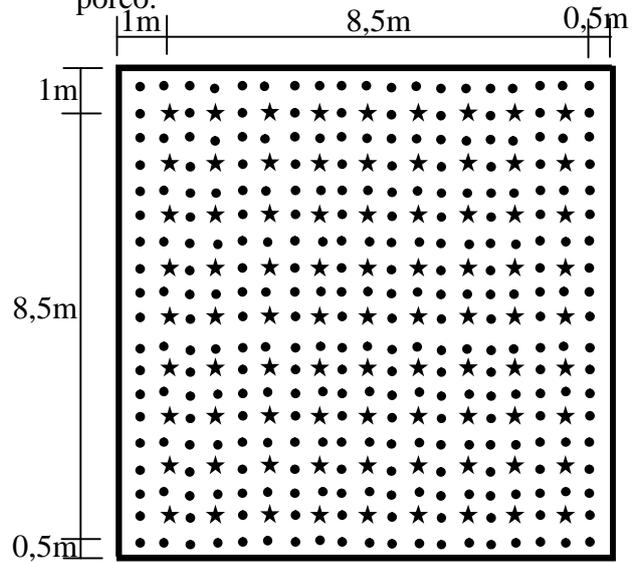
a) Arranjo da mandioca.



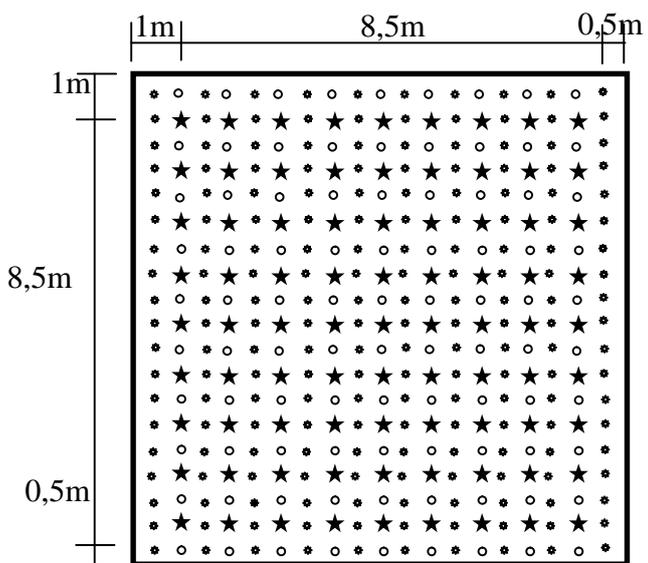
b) Arranjo da mandioca x feijão-de-porco.



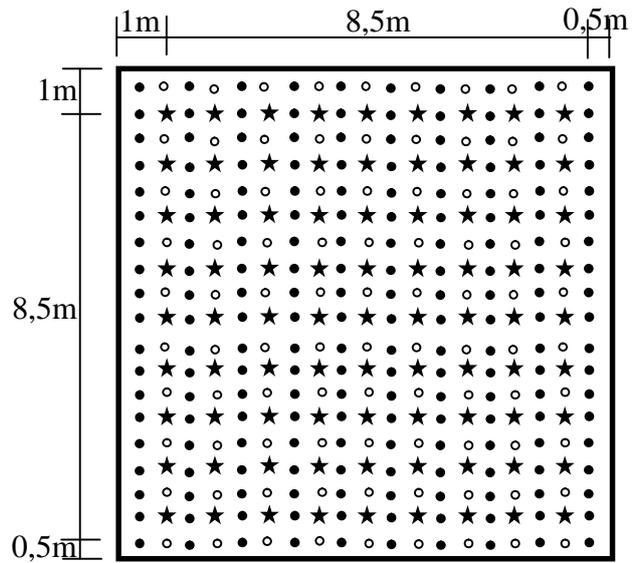
c) Arranjo da mandioca x titônia.



d) Arranjo da mandioca x guandu.



e) Arranjo da mandioca x guandu x feijão-de-porco.



f) Arranjo da mandioca x titônia x feijão-de-porco.

Figura 5 – Arranjo espacial das culturas: ★ Mandioca ○ Feijão de porco * Titônia • Guandu

5.6 Tratos culturais e manejo das plantas adubadoras de solo

Ao longo do ciclo da mandioca, foram feitas duas capinas: aos cinco meses e um ano. A terceira capina ocorreu em fevereiro de 2008, antecedendo o plantio de milho.

Ao final de seu ciclo, de cerca de três meses, a biomassa do feijão-de-porco foi colocada naturalmente sobre o solo. A biomassa do guandu e da titônia foi cortada e depositada sobre o solo em três ocasiões: aos oito, 13 e 19 meses do plantio. Aos 19 meses do plantio, após seis meses de rebrota, a produção de biomassa do guandu e da titônia foi de 4.727 kg ha⁻¹ e 4.104 kg ha⁻¹, respectivamente.

5.7 Amostragem de solo

Em julho de 2006, antes de qualquer interferência nas parcelas e utilizando um trado inoxidável, procedeu-se a primeira amostragem da camada superficial do solo (0 – 10 cm). Ao longo do estudo, efetuaram-se mais três amostragens na mesma profundidade: em setembro e dezembro de 2007, e em julho de 2008. Foram tiradas amostras simples em cinco locais da área útil de cada parcela, as quais se constituíram em uma composta.

Do campo e em sacos plásticos, as amostras de solo foram transportadas até o laboratório em recipiente térmico com gelo.

5.8 Determinação dos indicadores biológicos do solo

5.8.1 Carbono da biomassa microbiana (CBM)

Para quantificar o CBM do solo foi utilizada a fumigação-extração em solução aquosa de sulfato de potássio (K₂SO₄) 0,5 M.

A biomassa microbiana foi determinada pela quantificação do carbono orgânico solúvel em amostras fumigadas com clorofórmio, onde o material celular ficou disponível para a extração, subtraído de amostras não fumigadas (VANCE et al., 1987). Os extratos (fumigado e não-fumigado) foram submetidos à digestão com solução de dicromato de potássio em meio ácido e o CBM foi determinado por colorimetria (BAKER, 1976).

5.8.2 Nitrogênio biomassa microbiana (NBM)

A solução para análise do NBM foi obtida por fumigação-extração (VANCE et al., 1987) e, em seguida, o teor de N orgânico total da biomassa microbiana foi determinado pelo método de Kjeldahl (EMBRAPA, 1997). Este método consiste na retirada de 3,0 mL dos filtrados para tubos de ensaio de 20 mL, onde são adicionados 3,0 mL de H₂SO₄ e sais

catalisadores. Após este procedimento, os tubos são acondicionados em bloco digestor, previamente aquecido a 350°C, até obter um digerido límpido, azulado e sem fumejar. Em seguida, visando a destilação, em um erlenmeyer de 125 mL, são adicionados 20 mL de ácido bórico 2% e conectado a um suporte do destilador para adição de 20 mL de NaOH 40%. Após a destilação foi efetuada a titulação em solução de HCl 0,05 N fatorada. A leitura foi procedida no momento da mudança da coloração da solução azulada para róseo.

5.8.3 Fosfatase ácida

A atividade da fosfatase ácida foi determinada pelo método de Eivazi & Tabatabai (1977) Em amostras de solo frescas e peneiradas a 2 mm. Este método se baseia na determinação do *p*-Nitrofenol formado após a incubação do substrato com *P*-Nitrofenil Fosfato por 1 hora a 37 °C.

5.9 Determinação dos indicadores químicos de fertilidade do solo

5.9.1 Matéria orgânica do solo (MOS)

Para determinar a concentração de MOS, amostras de 1 g de solo foram colocadas em cápsulas de porcelana e submetidas a aquecimento lento em mufla até a temperatura de 550° C, por 12 horas. Em seguida, as cápsulas foram pesadas e, por diferença de peso, obteve-se o conteúdo de MOS.

5.9.2 Fósforo total (P(t))

Utilizou-se o método de Murphy-Riley, em que 0,2 g de solo são pesados e colocados em tubos de ensaio. São adicionados 2 mL de H₂SO₄, procedendo-se a digestão por 30 minutos à uma temperatura de aproximadamente 280 °C. Depois de retirados do bloco e resfriados, os tubos recebem 1 mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), retornando ao bloco por mais 30 minutos. Em seguida é adicionado novamente aos tubos 1 mL de H₂SO₄. Resfriados os tubos, seu conteúdo é diluído em 50 mL de água destilada e colocado para decantar por 30 minutos.

O conteúdo do tubo de ensaio é transferido para frascos de plásticos. Destes frascos, são retirados 2 mL da solução e transferidos para frascos tipo funil, aos quais são adicionados 20 µL de *p*-nitrofenol. A solução incolor foi titulada com NaOH 4 M até a mudança para amarelo. Em seguida, foi adicionado, gota à gota, H₂SO₄ 0,25 M até a solução se tornar novamente incolor.

Após este procedimento, são adicionados 8 mL de reativo de cor (molibdato de amônia + tartarato de K e antimônio + ácido ascórbico + H₂SO₄ 2,5 M) em cada amostra, completando o volume para 50 mL com água destilada e agitado levemente. Após 220 minutos a absorbância de 885 nm é lida no espectrofotômetro (UNICAM 8675 visible spectrometer).

5.9.3 Fósforo disponível (P(d))

Como o fosfato usado no fator adubação deste estudo foi de fonte natural, a determinação do P(d) foi feito segundo Olsen et al. (1954), com adaptação (ANEXO 1).

5.9.4 Fósforo orgânico (P(org))

Para determinar o P(org), amostras de 2 g de solo foram colocadas em mufla por 12 horas, à temperatura de 500°C. Os materiais resultantes foram transferidos para tubos de ensaio nos quais foram adicionados 25 mL de solução extratora (H₂SO₄ 0,5 M); em seguida os tubos foram agitados por aproximadamente 15 horas.

Paralelamente, amostras de 1 g de solo foram também transferidas para os tubos nos quais foram adicionados 25 mL de solução extratora (H₂SO₄ 0,5 M); em seguida, os tubos foram agitados por aproximadamente 15 horas. Todas as amostras foram centrifugadas por 10 minutos e, de cada uma das amostras anteriormente levadas a mufla, retirou-se uma alíquota de 3 mL, e daquelas que não foram 5 mL. Cada alíquota foi transferida para frascos com bico de funil, os quais receberam 50 ml de p-nitrofenol 10 µmol/mL, foram titulados com NaOH 4M – até a mudança da coloração para amarelo. A seguir, o pH foi elevado por gotejamento de H₂SO₄ 0,25 M, até a mudança da coloração para incolor. A absorbância foi lida no espectrofotômetro a 885nm (UNICAM 8675 visible spectrometer). O resultado foi obtido por diferenças nas medidas dos dois tipos de amostra.

5.9.5 Nitrogênio orgânico (N(org))

Amostras de 0,5g de solo previamente moído a 60 mesh foram acondicionadas em tubos de ensaio que receberam 3 mL de H₂SO₄ concentrado e 1g de catalisador. Os tubos foram levados a um bloco digestor à temperatura de 350 °C, até que a solução atingisse a coloração esverdeada. A leitura do indicador foi feita segundo Embrapa (2009).

5.9.6 Nitrato

O nitrato foi determinado pelo método calorimétrico, utilizado na determinação das formas inorgânicas de N (MENDONÇA & MATOS, 2005). Amostras de solo, pesando entre 20-25 g, foram acondicionadas em frascos em que se adicionaram 100 mL de KCl 1M. Em seguida, os frascos foram agitados por 2 horas, em seguida deixados em repouso por aproximadamente 15 horas para descanso do precipitado. Desta foi retirada uma alíquota de 20 mL desse extrato para congelamento.

Para análise do extrato, foram retiradas alíquotas de 1 mL de cada solução congelada que foram transferidas para tubos de vidro com fundo chato, onde foi introduzido 0,5 mL de reagente TRI; posteriormente os tubos foram aquecidos em placa quente (100°C) até secar completamente. Após este procedimento, os tubos foram levados para uma capela para esfriar e, em seguida, receberam 1 mL de H₂SO₄, 5 mL de água destilada e 5 mL de NaOH 40%. Após o resfriamento dos tubos, procedeu-se a leitura da absorbância a 410 nm (UNICAM 8675 visible spectrometer).

5.9.7 Amônio

Para determinar o amônio, o extrato da solução foi obtido seguindo as mesmas etapas da determinação do nitrato. Usaram-se alíquotas de 1,0 mL de extrato congelado que foram transferidas para balões volumétricos, onde foram adicionados 1 mL de EDTA, 4 mL de solução de salicilato + nitroprussiato e 2 mL de tampão (TRIONE). O volume foi completado para 25 mL com água recém-destilada. Em seguida, os recipientes foram colocados em banho-maria a 37°, até a solução ficar com a cor verde esmeralda, o que leva aproximadamente 30 minutos. Após o resfriamento à temperatura ambiente, por 10 minutos, a absorbância (em aparelho UNICAM 8675 visible spectrometer) foi lida a 667 nm, em relação ao branco.

5.9.8 Carbono orgânico (C(org))

A determinação do C orgânico foi feita em amostras de 0,5 g de solo previamente moído a 60 mesh. As amostras foram acondicionadas em tubos de ensaio, que receberam 2 mL de água destilada, 10 mL de dicromato de potássio e 5 mL de H₂SO₄. Em seguida, os tubos foram vedados com esferas de vidro e colocados em bloco digestor a 150° C por 30 minutos. Após esse período, foram adicionados 50 mL de cloreto de bário a 0,4% aos tubos, os quais foram vedados com parafilm, agitados suavemente e deixados em repouso, por

aproximadamente 15 horas. Em seguida, fez-se a leitura no espectrômetro UNICAM 8675 visible spectrometer, a 600 nm.

5.9.9 Potássio total (K(t))

Na extração da solução do solo para análise de K(t), utilizou-se o método de Mehlich 1, adaptado por EMBRAPA (2009). A leitura do K(t) foi feita em fotômetro de chama.

5.9.10 Sódio total (Na(t))

A extração da solução do solo para análise de Na(t) foi feita pelo método desenvolvido por EMBRAPA (2009). A leitura foi feita em fotômetro de chama.

5.9.11 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica foi determinada em 10g de solo dissolvidos em 10 mL de água destilada em um tubo de vidro pequeno que foi agitado manualmente. Após 30 minutos em repouso, a condutividade foi medida com auxílio de um condutivímetro (HI 8820 N – Hanna Instruments).

5.9.12 pH

Para determinação do pH em H₂O, foram utilizados 10g de solo seco, na proporção 1:2,5. A leitura foi obtida por meio do equipamento TECNAL – TEC - 3MP (Embrapa, 1997).

6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise de variância (análise univariada ANOVA) foi realizada com o auxílio do programa STATISTICA 8.0 (2007). Os valores médios dos indicadores biológicos e químicos estudados foram testados nos diferentes tratamentos de recuperação de fertilidade de solo, nas quatro amostragens, assim como a interação entre tratamento e amostragens, por meio do teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

No estudo do conjunto das variáveis testadas foi empregado o método multivariado, utilizando a Análise de Componentes Principais (ACP) (SIGMAPLOT 11.0, 2008) que analisa os dados de forma reducionista, eliminando as sobreposições e escolhendo as melhores representações de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais

(VASCONCELOS, 2007). Na ACP foi possível identificar as variáveis mais importantes no espaço dos componentes principais.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

À exceção da fosfatase ácida e pH do solo, a interação tratamento x amostragem foi significativa nos indicadores estudados (ANEXO 2 - Quadros 30 a 44). Logo, para esses indicadores a comparação entre tratamentos foi feita por amostragem, e entre amostragem por tratamento.

7.1 Indicadores biológicos de solo

7.1.1 *Carbono da biomassa microbiana (CBM)*

Ao longo do estudo, o CBM diferiu significativamente entre tratamentos nas duas primeiras amostragens (Tabela 2).

Os únicos tratamentos em que o CBM manteve-se constante, ao longo das amostragens, foram testemunha e fosfato natural (Tabela 2). As mudanças nas características do solo têm sido atribuídas às alterações do uso da terra e às estações do ano (THEODORO et al., 2003) que freqüentemente são acompanhadas da perda da biodiversidade e mudança da atividade microbiana, sobretudo em termos de carbono (SANCHEZ et al., 1989; LUNDQUIST et al., 1999; BOSSIO et al., 2005).

Na primeira amostragem (julho/2006), antes da imposição dos tratamentos, esta resposta foi diversa, indicando heterogeneidade das condições do solo nas parcelas. Mesmo assim, foi possível mostrar efeito significativo de tratamento na segunda amostragem (setembro/2007).

Tabela 2 - Valores médios de carbono da biomassa microbiana (g kg^{-1}) no solo, por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo			
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)
	-----g kg ⁻¹ -----			
CAP	146,47 AB ab	76,49 B c	102,93 A bc	173,980 A a
TEST	180,31 AB a	149,22 A a	121,74 A a	145,231 A a
FN	180,04 AB a	135,17 AB a	125,03 A a	135,164 A a
FP	154,05 AB ab	118,53 AB ab	93,29 A b	156,269 A a
FN+ FP	197,17 AB a	119,62 AB b	125,09 A b	136,852 A b
FN+G	197,60 AB a	137,81 AB b	101,41 A b	143,699 A ab
FN+T	130,54 B ab	71,63 B b	92,29 A b	176,156 A a
FP+G	215,34 A a	114,06 AB b	118,82 A b	160,465 A ab
FP+T	202,41 A a	113,15 AB b	130,20 A b	164,933 A ab

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fósforo natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao longo do estudo, o comportamento mais característico da resposta do CBM foi uma marcante queda da primeira para a segunda amostragem (setembro/2007), época de menor precipitação pluviométrica (Figura 6 e Tabela 2). Desse ponto em diante, configuraram-se duas trajetórias: a) estabilização ao longo das amostragens seguintes, nos tratamentos fósforo natural com feijão-de-porco, fósforo natural com guandu, feijão-de-porco com guandu e feijão-de-porco com titônia, e; b) recuperação dos valores ao longo das amostragens seguintes, na condição da capoeira, quando a pluviosidade aumentou, confirmando os achados de Sampaio (2008) de um aumento do CBM com a intensidade de chuvas em condição natural de crescimento da vegetação sucessional. Nos tratamentos testemunha e fósforo natural, o CBM manteve-se estável em todas as amostragens. Diferentemente nos tratamentos feijão-de-porco e fósforo natural com titônia, o CBM

manteve-se estável da primeira amostragem até a terceira, seguindo-se de uma elevação na última amostragem.

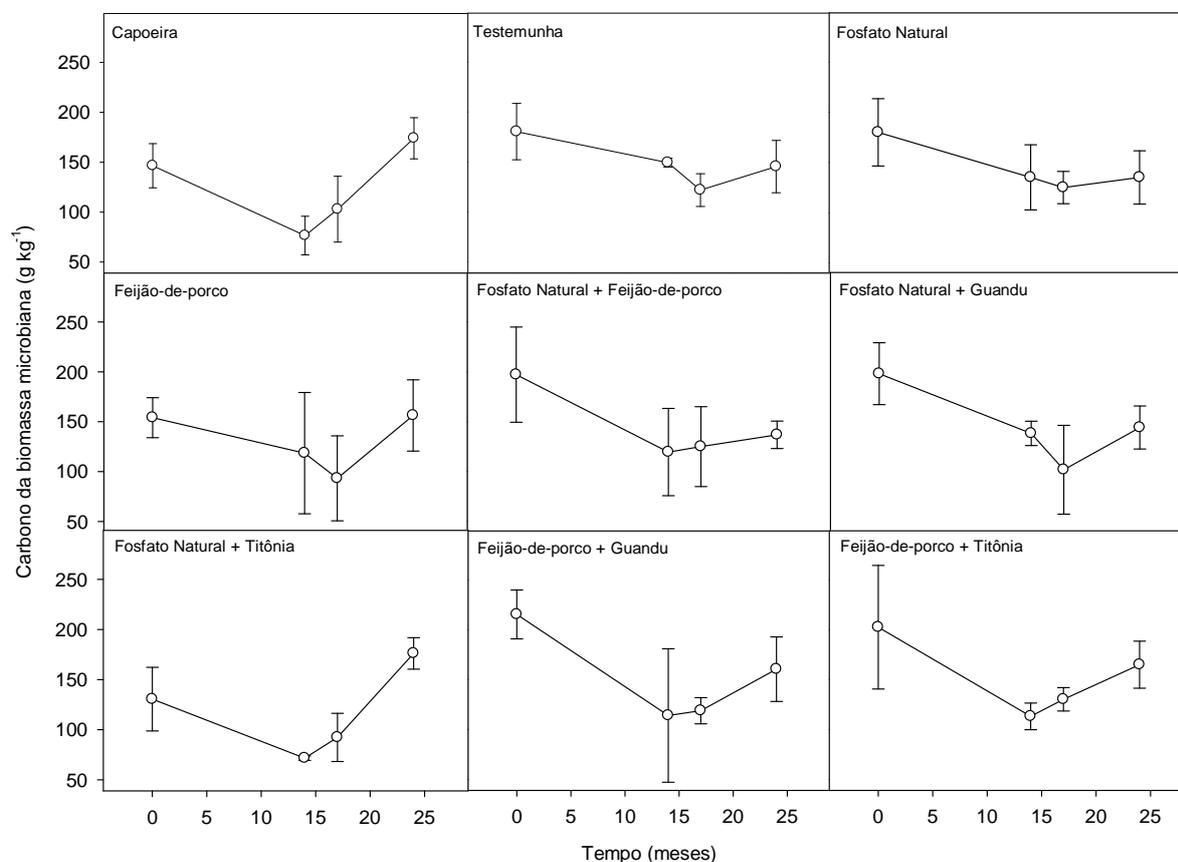


Figura 6 – Carbono da biomassa microbiana do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

À exceção do tratamento fosfato natural com feijão-de-porco, em que esse indicador diminuiu estatisticamente da primeira para a última amostragem, os demais se mantiveram estáveis. Dessa forma, é razoável admitir que o corte-e-trituração por si só pode ser uma alternativa aceitável de manutenção do carbono da biomassa microbiana do solo. Para Vasconcellos et al. (1999), resíduos vegetais deixados na superfície do solo favorecem a imobilização do carbono pela biomassa microbiana.

7.1.2 Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM)

O nível de NBM só diferiu estatisticamente, devido a tratamento, apenas na primeira e segunda amostragem (Tabela 3). A significância observada na primeira amostragem, antes da

implantação dos tratamentos (julho/2006), indica a falta de homogeneidade das parcelas em NBM.

Tabela 3 - Valores médios de nitrogênio da biomassa microbiana (g kg^{-1}) no solo, por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo			
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)
	-----g kg ⁻¹ -----			
CAP	74,53 BC a	70,84 B a	69,10 A a	81,20 A a
TEST	121,39 A a	96,86 AB ab	39,95 A c	75,75 A b
FN	75,97 BC b	123,01 A a	69,83 A b	70,83 A b
FP	58,18 C b	112,15 AB a	73,95 A b	60,92 A b
FN+FP	107,23 AB a	92,63 AB a	54,59 A b	73,21 A ab
FN+G	149,83 A a	107,72 AB b	61,89 A c	62,85 A c
FN+T	128,77 A a	71,36 B b	61,27 A b	73,59 A b
FP+G	49,21 C b	95,41 AB a	58,22 A b	82,42 A ab
FP+T	50,69 C b	115,85 A a	75,69 A b	77,30 A b

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao longo do estudo, a resposta do NBM foi diversa e se caracterizou por cinco comportamentos básicos (Figura 7 e Tabela 3). No primeiro, a resposta foi estável ao longo das amostragens, no tratamento capoeira. No segundo, foi estável da primeira para a segunda amostragem, decrescendo significativamente para a terceira e mantendo estável até a última amostragem, no caso do fosfato natural com feijão-de-porco. No caso da testemunha, o comportamento do NBM foi de estabilidade da primeira para a segunda amostragem, seguida de uma queda significativa na terceira e recuperando-se na amostragem final. No terceiro caso, cresceu significativamente da primeira para a segunda amostragem, diminuiu significativamente para a terceira e manteve-se constante até o final, no fosfato natural, feijão-de-porco, feijão-de-porco com guandu e feijão-de-porco com titônia. No quarto caso,

um decréscimo contínuo da primeira até a terceira amostragem seguida de uma estabilidade até a última, no fosfato natural com guandu. Por último, decresceu da primeira para a segunda amostragem, mantendo-se constante nas amostras seguintes, no fosfato natural com titônia.

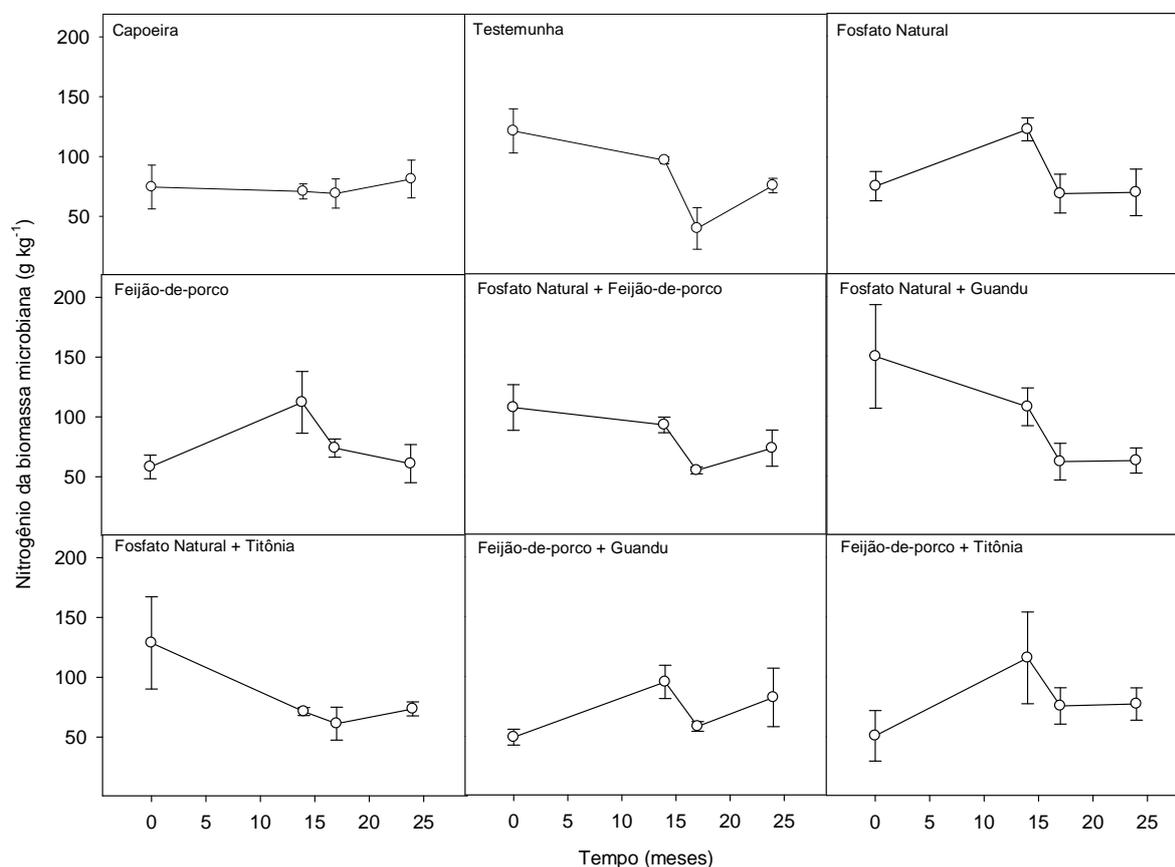


Figura 7 – Nitrogênio da biomassa microbiana do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

No caso dos tratamentos feijão-de-porco, feijão-de-porco com guandu e feijão-de-porco com titônia, o aumento desse indicador na segunda amostragem, mês de menor precipitação, pode ser atribuído à maior oferta de detritos e ao aumento do N mineral no solo. Além do mais, o déficit hídrico diminui a produção de biomassa das plantas e dificulta o seu florescimento, diminuindo a demanda de N (ROSA et al., 2005; PEREZ et al., 2005).

Num balanço final, o NBM diminuiu significativamente do início para o final do estudo nos tratamentos testemunha, fosfato natural com guandu e fosfato natural com titônia, diferentemente dos demais, em que esse indicador manteve-se estável da primeira para a última amostragem.

Por sua capacidade de produção de biomassa e fixação de N atmosférico, as leguminosas guandu (SEIFFERT & THIAGO, 1983) e feijão-de-porco (LOPES, 1998) têm sido recomendadas para adubação verde, contribuindo no metabolismo do N da atividade microbiana. Contudo, as respostas do indicador NBM neste estudo corroboram consistentemente com essa informação apenas no caso do feijão-de-porco.

7.1.3 Fosfatase ácida

Os valores médios gerais de fosfatase ácida do solo variaram significativamente entre tratamentos e entre amostragens (Tabela 4). A variação devida à amostragem é apoiada pelas evidências de que a atividade termolábil desta enzima varia de acordo com o clima (PORTES, 1988).

Tabela 4 - Valores médios de fosfatase ácida do solo ($\mu\text{g } p\text{-NPP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo				MÉDIA GERAL
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)	
----- $\mu\text{g } p\text{-NPP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ -----					
CAP	461,69 A c	652,12 A b	604,65 A b	852,57 AB a	642,76 a
TEST	483,81 A b	695,65 A a	496,79 ABC b	800,86 ABC a	619,28 ab
FN	476,70 A b	554,08 A ab	437,49 BC b	687,31 C a	538,90 bc
FP	496,14 A bc	629,16 A b	484,02 ABC c	794,43 ABC a	600,94 abc
FN+FP	469,77 A bc	599,83 A ab	425,97 C c	646,81 C a	535,60 c
FN+G	521,59 A b	616,03 A b	489,84 ABC b	875,38 A a	625,71 a
FN+T	486,11 A ab	562,15 A b	418,16 C b	704,87 BC a	542,82 bc
FP+G	549,91 A c	700,89 A b	535,19 ABC c	934,32 A a	680,08 a
FP+T	516,42 A c	702,33 A ab	602,39 AB bc	798,66 ABC a	654,95 a
MÉDIA GERAL	495,79 C	634,69 B	499,39 C	788,36 A	

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao longo do estudo, os níveis desse indicador só não variaram significativamente entre tratamentos na primeira e segunda amostragem.

A resposta da fosfatase ácida, ao longo das amostragens, configurou quatro trajetórias (Figura 8 e Tabela 4). Na primeira, permaneceu estável da primeira até a terceira amostragem, elevando-se daí até o final, caso do fosfato natural – só, com guandu ou com titônia. Na segunda trajetória, permaneceu estável da primeira para a segunda amostragem, desta decresce até a terceira, subindo em seguida, no caso do feijão-de-porco – só ou com fosfato natural. Na terceira, ocorreu uma elevação da primeira para a segunda amostragem, uma estabilidade da segunda para a terceira e uma elevação desta para a última, no caso dos tratamentos capoeira e feijão-de-porco com titônia. Na última, observa-se uma elevação da primeira para a segunda amostragem e um decréscimo desta para a terceira e uma elevação até o final, no caso da testemunha e feijão-de-porco com guandu.

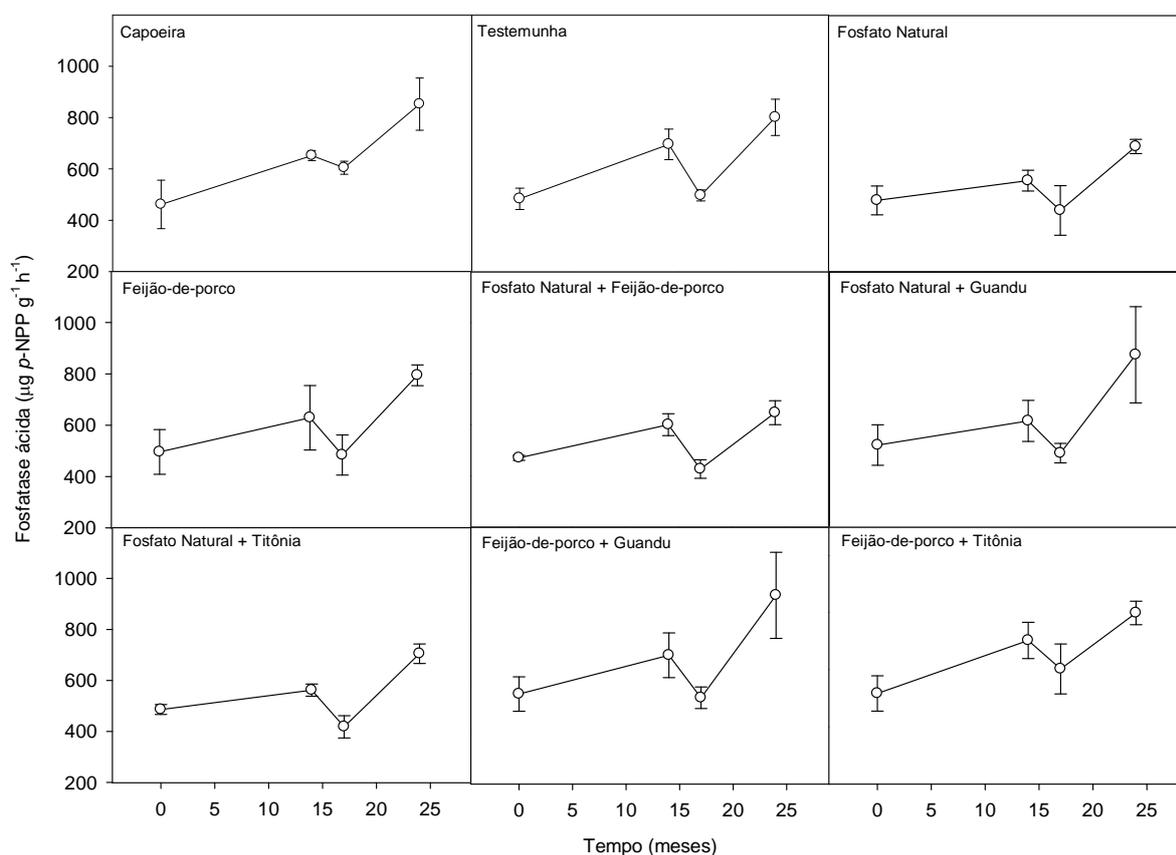


Figura 8 – Fosfatase ácida do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Dos tratamentos testados, apenas o fosfato natural com titônia não elevou significativamente o nível da fosfatase ácida, do início ao final do estudo. Como a fosfatase ácida é importante na disponibilização do P, é razoável se esperar que esse indicador aumente com o desenvolvimento das plantas sucessionais (PORTES, 1988; OLIVEIRA et al. 1999) e, possivelmente, com as demandas dos cultivos que se sucederam ao longo do estudo.

No tratamento capoeira, o significativo aumento da fosfatase ácida ao final do estudo pode ser justificado pela condição microclimática características desse sítio ou pela dinâmica de crescimento da própria vegetação.

7.2 Indicadores químicos de fertilidade do solo

7.2.1 *Matéria orgânica do solo (MOS)*

Somente a MOS do tratamento fosfato natural com titônia foi significativamente menor do que a da capoeira, apesar do rápido crescimento e alta acumulação de nutrientes daquela planta (GANUNGA et al. 1998; BARRIOS & COBO 2004) (Tabela 5). As médias dos tratamentos restantes não diferiram estatisticamente da capoeira.

No início do experimento (julho/2006) não foi verificado diferença entre os tratamentos, possivelmente devido à falta de revolvimento das parcelas de corte-e-trituração da vegetação secundária, porém com o tempo de cultivo o teor de MOS no tratamento feijão-de-porco com gundu proporcionou aumentos significativos na MOS, ao contrário dos tratamentos fosfato natural com titônia e feijão de porco com titônia, que proporcionaram os menores valores.

Por sua diversidade e dinamismo, a vegetação de capoeira, comparativamente aos sistemas agropecuários convencionais, mantém níveis superiores de MOS (SILVA et al., 2006). Além disso, sistemas agrícolas normalmente reduzem a MOS, em relação à capoeira, apenas quando o solo é revolvido mecanicamente, promovendo maior aeração no solo e consequentemente maior mineralização da MOS (SOUZA et al., 2006), o que não foi o caso deste estudo, em que se usou o corte-e-trituração da capoeira para formação da cobertura morta que cobriu o solo e permitiu o plantio direto.

Tabela 5 – Matéria orgânica do solo (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo			
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)
	-----g kg ⁻¹ -----			
CAP	58,31 A a	62,01 A a	54,86 A a	66,00 AB a
TEST	53,57 A a	54,77 A a	55,39 A a	48,47 ABC a
FN	60,53 A a	53,08 A a	44,22 A a	54,52 ABC a
FP	53,77 A a	64,40 A a	54,14 A a	65,13 AB a
FN+FP	51,56 A a	57,73 A a	52,93 A a	68,02 AB a
FN+G	55,24 A a	66,65 A a	55,20 A a	69,98 A a
FN+T	47,72 A a	52,34 A a	54,11 A a	40,03 C a
FP+G	43,19 A b	60,75 A ab	63,35 A a	64,52 AB a
FP+T	54,48 A ab	67,33 A a	51,48 A ab	47,04 BC b

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fósforo natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao longo do estudo, esse indicador só variou significativamente na última amostragem (Tabela 5 e Figura 9), possivelmente devido a MOS necessitar de um tempo relativamente longo para se formar no solo (RANGEL-VASCONCELOS, 2009).

As respostas desse indicador, ao longo do estudo, podem ser representadas por três comportamentos. No primeiro, ocorreu uma elevação da primeira para a terceira amostragem, permanecendo estável até o final, no caso do feijão-de-porco com guandu. No segundo, houve uma estabilidade da primeira para a segunda amostragem, reduzindo a partir desta até o final, no caso do feijão-de-porco com titônia. No último, o comportamento foi estável ao longo de todo o estudo, nos restantes dos tratamentos. Teoricamente, a MOS na capoeira pode ter sido mantida constante em função da contínua deposição de serrapilheira.

Na comparação do início com o final do período estudado, apenas o feijão-de-porco com o guandu possibilitou um aumento significativo nesse indicador, possivelmente devido à contribuição da biomassa das duas leguminosas.

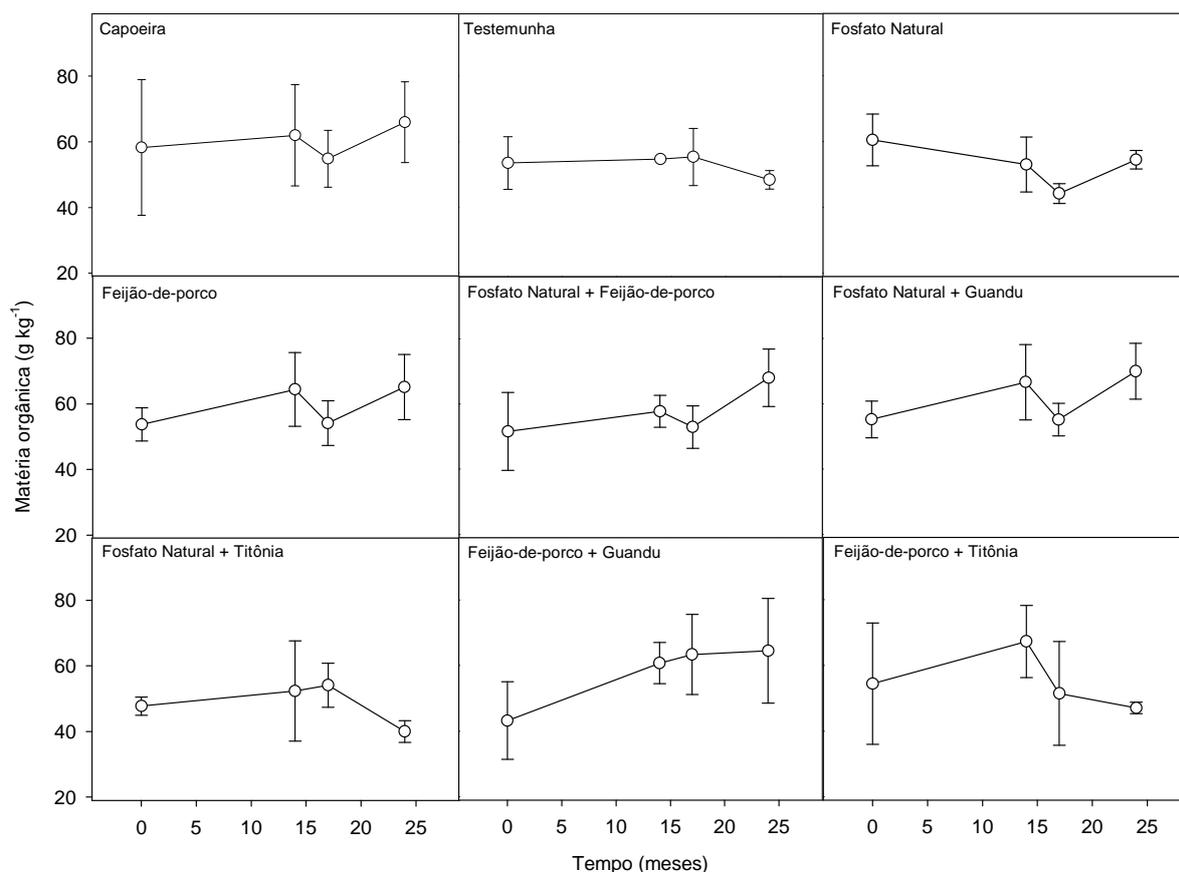


Figura 9 – Matéria orgânica do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

7.2.2 Fósforo total ($P(t)$)

Ao longo do estudo, o $P(t)$ só não variou significativamente, devido a tratamento, na terceira amostragem (Tabela 6).

O comportamento do $P(t)$, ao longo do estudo, foi bastante variável (Figura 10 e Tabela 6). No primeiro padrão de resposta, esse indicador não variou no caso dos tratamentos fosfato natural e feijão-de-porco. No segundo, ocorreu um decréscimo da primeira para a segunda amostragem, mantendo-se constante até a terceira, e dessa elevando-se até o final, no caso da capoeira. No terceiro, observa-se uma estabilidade da primeira para a segunda amostragem, seguindo-se: a) decréscimo da segunda para a terceira amostragem, mantendo-se constante até o final, no caso da testemunha; b) uma elevação da segunda para a última amostragem, no caso do fosfato natural com titônia; e c) continuação da estabilidade até a terceira amostragem, seguindo-se um acréscimo até o final, no caso do feijão-de-porco com

titônia. No quarto, ocorre uma elevação da primeira para a segunda amostragem, seguindo: a) um decréscimo da segunda para a terceira, daí mantendo-se estável até o final, caso do fosfato natural com guandu; e b) uma estabilidade da segunda para a terceira amostragem, seguindo uma elevação até o final, caso do feijão-de-porco com guandu. No último, acontece uma elevação do início até o final, caso do fosfato natural com feijão-de-porco.

Tabela 6 – Fósforo total (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo			
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)
	-----g kg ⁻¹ -----			
CAP	88,08 A a	58,89 BC b	64,12 A b	88,46 AB a
TEST	61,69 B ab	82,06 BC a	56,50 A b	69,04 B ab
FN	68,24 B a	61,28 BC a	58,88 A a	82,36 AB a
FP	67,38 B a	56,37 BC a	55,71 A a	78,23 AB a
FN+FP	63,98 B b	80,30 B ab	75,87 A ab	87,75 AB a
FN+G	75,26 B b	110,86 A a	74,53 A b	74,97 AB b
FN+T	68,08 B ab	50,66 C b	70,42 A ab	76,68 AB a
FP+G	48,03 B c	76,74 BC b	72,13 A b	98,42 A a
FP+T	77,68 A ab	71,36 BC ab	58,09 A b	94,12 AB a

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

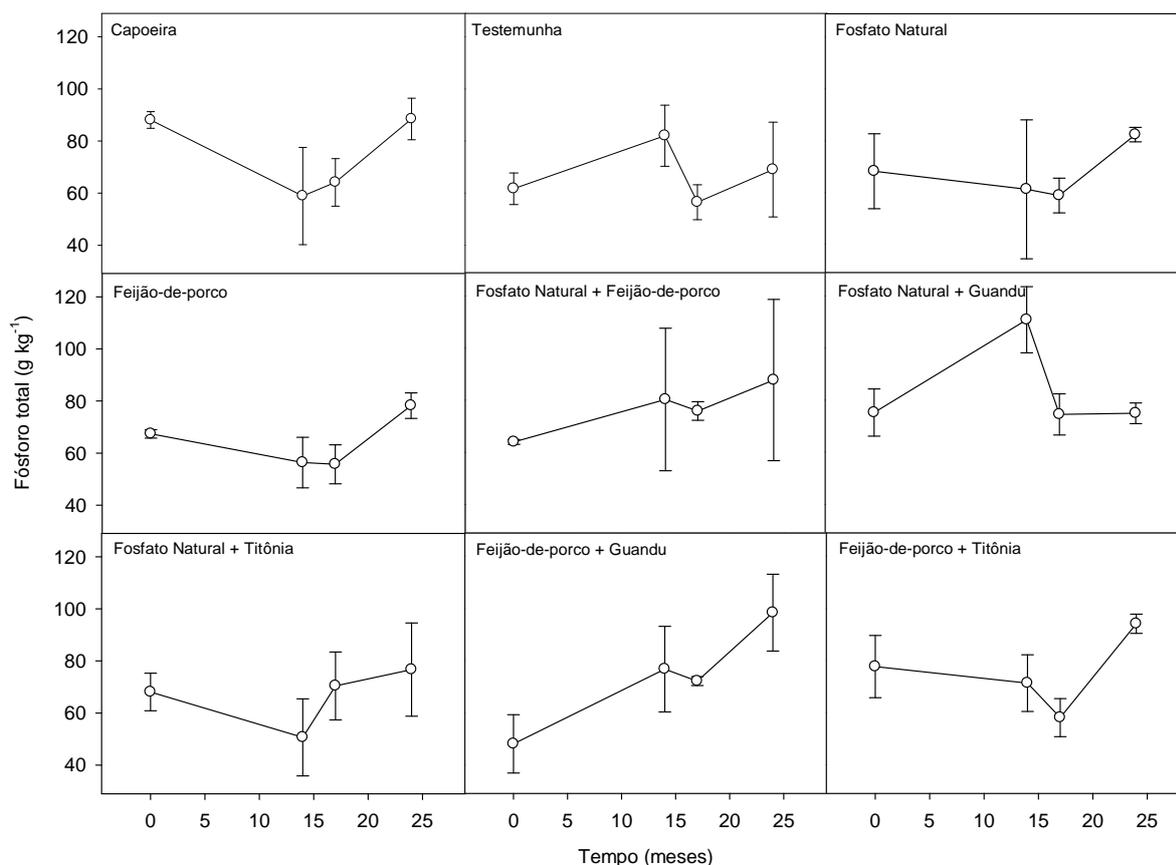


Figura 10 – Fósforo total do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

O comportamento do P(t) da capoeira, que apresentou um mínimo na segunda amostragem (setembro/2007), mês de menor precipitação, seguido de uma elevação até o final, pode se justificar pela retenção do fósforo no solo no início da época de seca e a liberação deste elemento no início da estação de chuvas.

Apenas o nível de P(t) do fosfato natural com feijão-de-porco e feijão-de-porco com guandu aumentou significativamente do início para o fim do estudo. Heinrichs et al. (2005) avaliaram quatro espécies de adubo verde, entre eles o guandu e o feijão-de-porco, e constaram que o último acumulou mais fósforo em sua biomassa e mais contribuiu na concentração de fósforo do solo.

7.2.3 Fósforo disponível (P(d))

Ao longo do período experimental, apenas na primeira amostragem o P(d) não diferiu significativamente (Tabela 7).

Tabela 7 – Fósforo disponível do solo (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo			
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)
	-----g kg ⁻¹ -----			
CAP	0,30 A a	0,30 BCD a	0,31 AB a	0,23 BC a
TEST	0,16 A a	0,18 D a	0,24 B a	0,19 C a
FN	0,21 A b	0,35 AB a	0,29 AB ab	0,32 BC ab
FP	0,18 A a	0,20 CD a	0,30 AB a	0,25 BC a
FN+FP	0,25 A a	0,33 BC a	0,32 AB a	0,34 AB a
FN+G	0,25 A b	0,47 A a	0,40 A a	0,47 A a
FN+T	0,23 A b	0,35 AB a	0,31 AB ab	0,29 BC ab
FP+G	0,18 A b	0,28 BCD ab	0,26 AB ab	0,36 AB a
FP+T	0,29 A a	0,25 BCD a	0,32 AB a	0,22 BC a

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao longo do estudo, a resposta desse indicador mostrou três tendências (Figura 11 e Tabela 7). A primeira foi caracterizada por uma elevação da primeira para a segunda amostragem (setembro/2007), mês de menor precipitação, permanecendo inalterada até o final, nos tratamentos fosfato natural - só, com guandu ou titônia. Já a segunda apresentou uma elevação gradativa da primeira para a última amostragem, no feijão-de-porco com guandu. Na terceira tendência o P(d) permaneceu inalterado ao longo do estudo, caso dos tratamentos restantes.

Todos os tratamentos com fosfato natural elevaram significativamente, em algum momento, os níveis de P(d). Segundo Moltocaró (2007), guandu com adubação própria para arroz eleva o teor de P(d) no solo. Em condições de preparo do solo por corte-e-trituração da

capoeira, tem sido comprovada a necessidade da aplicação do fosfato natural com o objetivo de prover P aos cultivos alimentares (KATO et al., 2000).

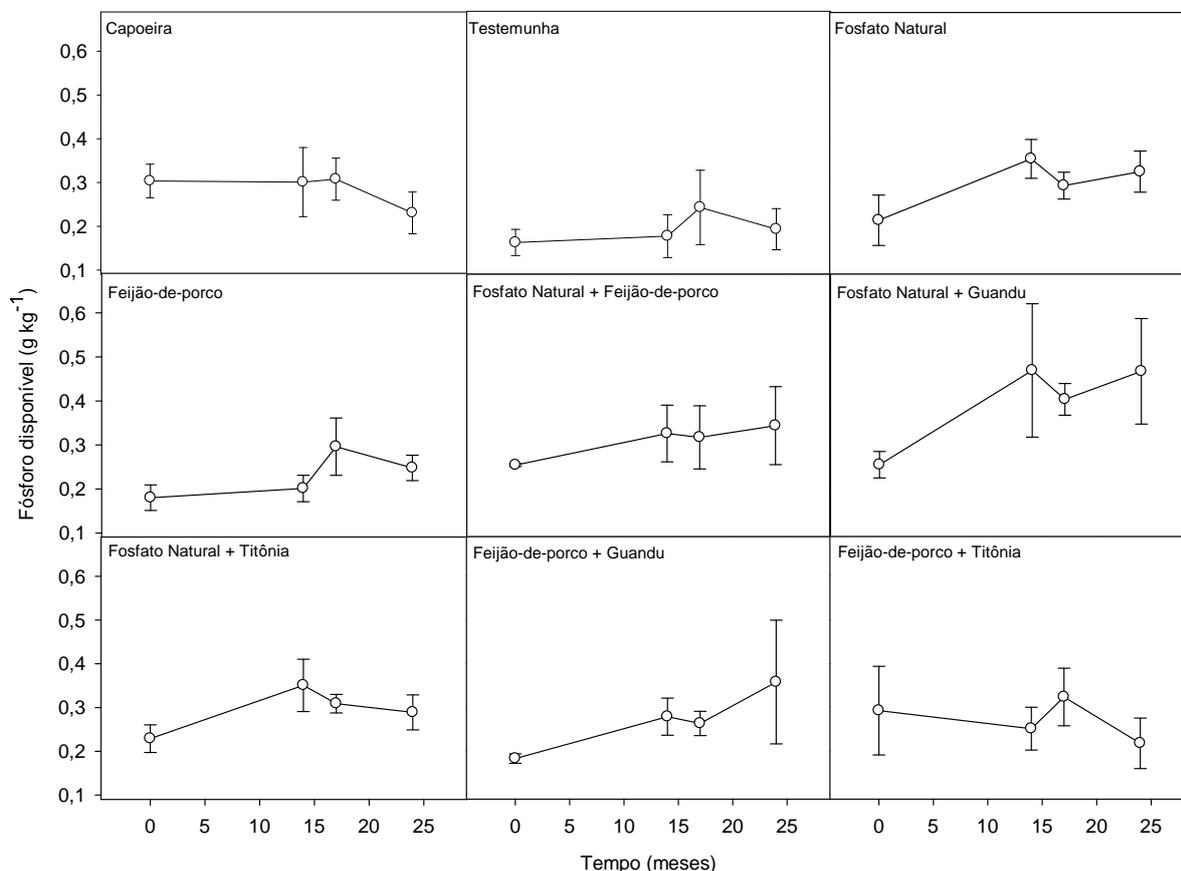


Figura 11 – Fósforo disponível do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Na comparação do início com o final do estudo e mesmo considerando a exportação de nutrientes via cultivos, apenas o fosfato natural com guandu e feijão-de-porco com guandu elevaram o nível de P(d) no solo, o que é muito importante tendo em vista a carência desse nutriente nos solos tropicais.

Em alguns estudos, a titônia tem mostrado maior capacidade de acumular P nos seus tecidos do que a maioria das plantas (CONG & MERCKX, 2005; IKERRA et al., 2006), no entanto, neste estudo, isso não pôde ser comprovado.

7.2.4 Fósforo orgânico (P(org))

Uma uniformidade das parcelas foi observada em P(org) na primeira amostragem (pré-tratamento), diferente do que ocorreu nas demais (Tabela 8).

Ao longo das amostragens, seis comportamentos caracterizaram a resposta deste indicador (Figura 12 e Tabela 8). No primeiro, observou-se uma elevação da primeira para a segunda amostragem, permanecendo constante até o fim, caso do fosfato natural com feijão-de-porco. No segundo, ocorreu uma elevação gradativa do início até o fim do estudo, caso da capoeira e feijão-de-porco com guandu. No terceiro, após uma estabilização da primeira para a terceira amostragem, ocorreu uma elevação desta para o fim do estudo, caso do feijão-de-porco. No quarto, ocorreu um máximo na segunda amostragem, caso do tratamento feijão-de-porco com titônia. No quinto comportamento, observou-se um máximo na segunda e um mínimo na terceira amostragem, no fosfato natural com guandu. No sexto, a resposta permaneceu estável ao longo do estudo, nos tratamentos restantes.

Tabela 8 – Fósforo orgânico do solo (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo			
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)
	-----g kg ⁻¹ -----			
CAP	83,20 A b	107,17 BCD ab	92,67 ABC ab	115,57 ABC a
TEST	67,35 A a	83,49 CD a	60,16 C a	67,04 E a
FN	73,60 A a	72,09 D a	87,84 ABC a	78,17 DE a
FP	85,52 A b	82,48 CD b	93,99 ABC b	129,14 AB a
FN+FP	74,00 A b	120,52 AB a	109,39 A a	108,53 ABCD a
FN+G	90,81 A bc	126,65 A a	73,88 BC c	109,08 ABCD ab
FN+T	69,81 A a	75,26 CD a	68,40 BC a	84,60 CDE a
FP+G	65,98 A c	87,76 CD bc	100,74 AB b	134,12 A a
FP+T	73,66 A b	121,96 AB a	88,07 ABC b	97,73 BCDE ab

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

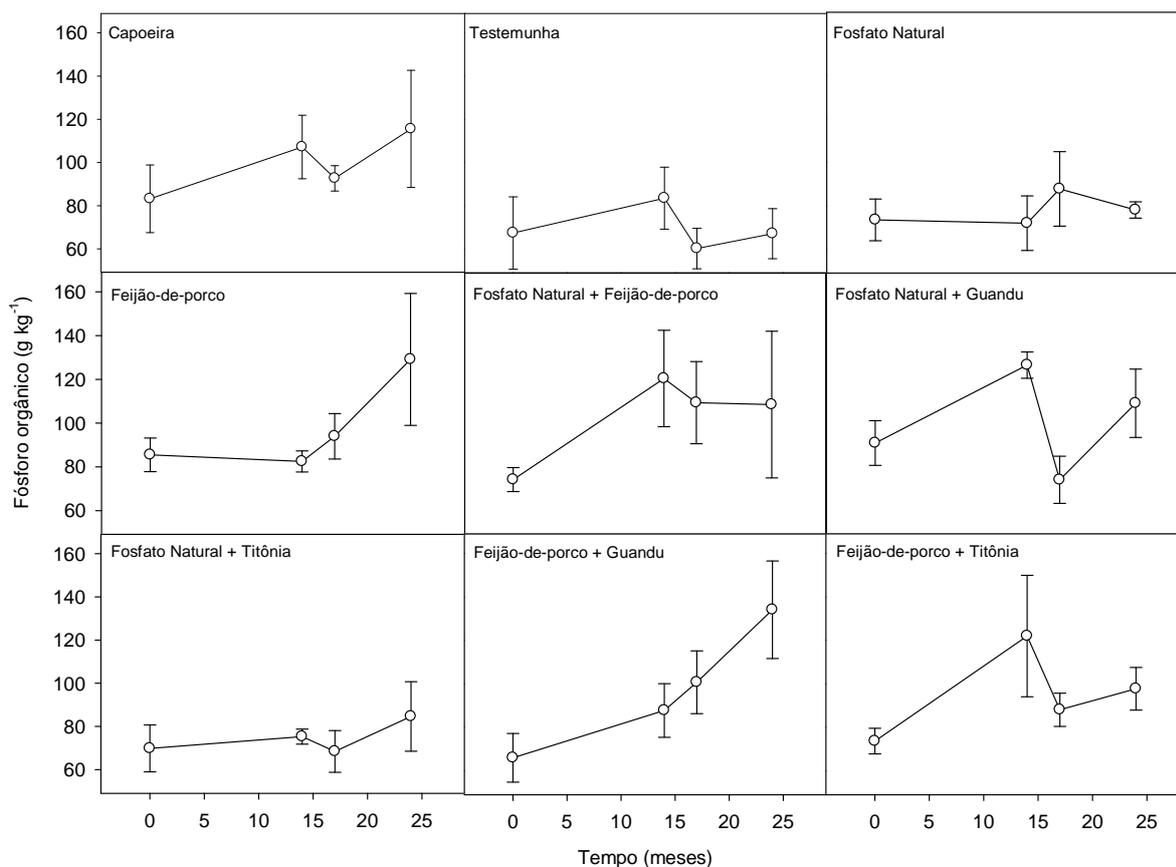


Figura 12 – Fósforo orgânico do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

No balanço final, apenas os valores de P(org) dos tratamentos capoeira, feijão-de-porco, fosfato natural com feijão-de-porco e feijão-de-porco com guandu aumentaram significativamente do início para o fim do estudo, indicando uma condição de melhora permanente desse indicador. A melhoria de P(org) na capoeira ao final do estudo pode ser resultado de uma condição microclimática particular e/ou do crescimento natural da vegetação nos dois anos do estudo.

7.2.5 Nitrogênio orgânico (N(org))

Analisando as médias de tratamento por amostragem, apenas na terceira (dezembro/2007) o N(org) não variou significativamente (Tabela 9).

A variação do N(org) na amostragem pré-experimental indica a falta de homogeneidade da área experimental com respeito a esse indicador.

Tabela 9 - Nitrogênio orgânico do solo (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo			
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)
	-----g kg ⁻¹ -----			
CAP	1,03 AB b	1,36 AB a	1,41 A a	1,27 ABC ab
TEST	0,98 AB b	1,12 B ab	1,30 A a	1,05 BC ab
FN	1,02 AB a	1,12 B a	1,18 A a	1,07 ABC a
FP	1,07 AB a	1,15 B a	1,21 A a	1,30 ABC a
FN+FP	0,92 B b	1,39 AB a	1,34 A a	1,35 ABC a
FN+G	1,20 AB a	1,44 AB a	1,23 A a	1,43 A a
FN+T	0,90 B a	1,11 B a	1,13 A a	1,10 ABC a
FP+G	1,01 AB b	1,26 AB ab	1,18 A ab	1,40 AB a
FP+T	1,30 A a	1,59 A a	1,16 A a	1,00 C b

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A resposta do N(org) ao longo do estudo variou em função dos tratamentos (Figura 13 e Tabela 9).

A partir da primeira amostragem, observou-se um aumento no teor de N(org) logo após a implantação do tratamento fosfato natural com feijão-de-porco. No entanto, o aumento nos teores de N(org) somente foi observado até a terceira amostragem na capoeira e na testemunha, e somente na quarta e última, no feijão-de-porco com guandu. Por outro lado, no tratamento feijão-de-porco com titônia, a trajetória foi inversa, diminuindo o N(org) na última amostragem, sugerindo que a titônia compete por recursos do solo com aquela leguminosa na função de adubação verde para os cultivos. Nos tratamentos restantes, os valores desse indicador não variaram significativamente ao longo do estudo.

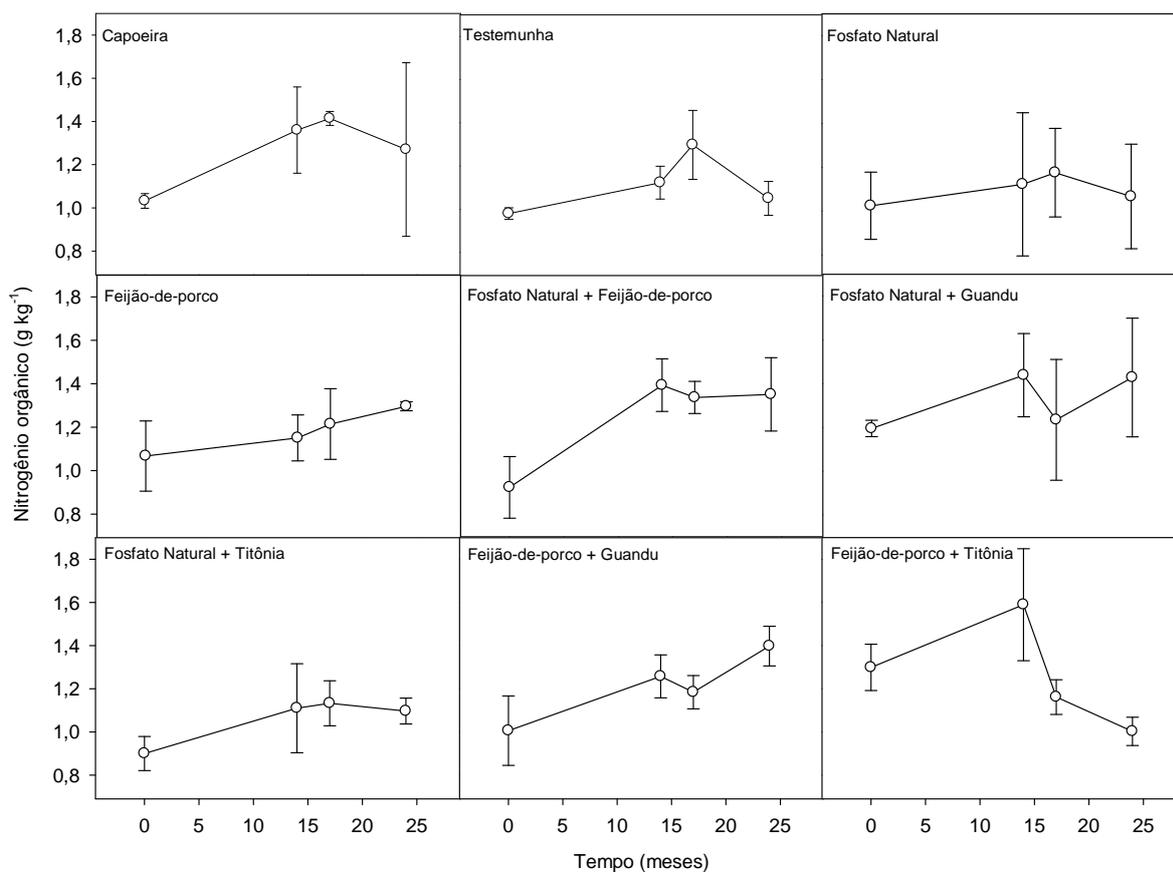


Figura 13 – Nitrogênio orgânico do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Como a concentração de N(org) aumentou significativamente apenas da primeira amostragem para a terceira, na capoeira e testemunha, o efeito do feijão-de-porco só pode ser considerado positivo no tratamento em que foi associado ao guandu, quando elevou o nível de N(org) até o final do estudo (Figura 13). Por outro lado, quando essa leguminosa foi associada à titônia, o efeito foi negativo, reduzindo esse indicador a um nível inferior à da condição inicial. Esses dados indicam também que o fosfato natural sozinho, nas condições desta pesquisa, não interfere no N(org) (Figura 13).

7.2.6 Nitrito

As médias da concentração de nitrato só variaram na amostragem inicial (pré-tratamento), indicando heterogeneidade das parcelas quanto a essa resposta (Tabela 10).

De modo geral, o comportamento padrão desse indicador, ao longo do estudo, configurou um mínimo bem definido na terceira amostragem, época de maior precipitação

(dezembro/2007) (Figura 14 e Tabela 10). Apenas nos tratamentos capoeira e fosfato natural com titônia a recuperação dos valores de nitrato, do referido mínimo na terceira amostragem, para a última, não foi significativa. O decréscimo de nitrato na amostragem do mês de maior precipitação pode ser atribuído à lixiviação de NO_3^- ou diminuição da imobilização do nitrogênio no solo (JACKSON et al., 2003).

Tabela 10 – Nitrato (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo			
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)
	-----g kg ⁻¹ -----			
CAP	4,88 AB a	3,53 A ab	2,69 A b	3,88 A ab
TEST	4,03 B a	4,82 A a	2,23 A b	5,23 A a
FN	5,44 AB a	4,80 A a	2,27 A b	4,25 A a
FP	5,63 AB a	4,54 A a	2,57 A b	4,62 A a
FN+ FP	4,40 B a	4,12 A a	1,73 A b	4,50 A a
FN+G	5,70 AB a	3,33 A bc	2,42 A c	4,59 A ab
FN+T	6,55 A a	5,11 A ab	2,67 A c	4,04 A bc
FP+G	4,62 B ab	3,43 A bc	2,19 A c	5,24 A a
FP+T	4,30 B a	4,17 A a	2,45 A b	5,24 A a

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

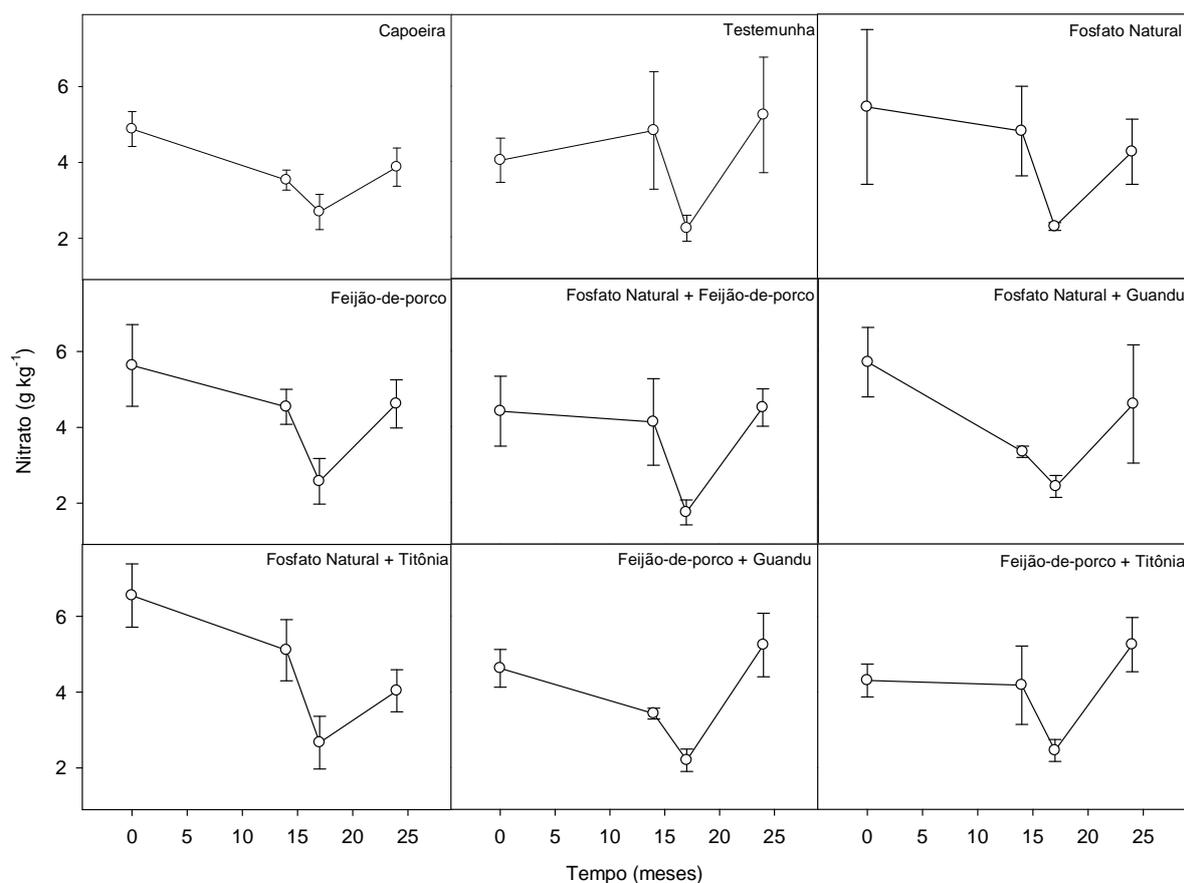


Figura 14 – Nitrato do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

7.2.7 Amônio

Ao longo das amostragens, os valores de amônio só variaram significativamente, por efeito de tratamento, na terceira amostragem (Tabela 11).

De modo geral, o padrão de resposta do amônio foi marcado por uma forte variação ao longo das amostragens (Figura 15 e Tabela 11). O caso mais marcante foi uma queda da primeira amostragem para a segunda, seguida de uma elevação desta para a terceira, e finalmente de uma queda desta para a última amostragem, proporcionadas pelo fósforo natural, sozinho ou com a titônia. Porém, o que mais caracterizou a resposta desse indicador foi um mínimo na segunda amostragem (setembro/2007), na época de menor precipitação, e uma recuperação na amostragem seguinte (dezembro/2007) ou na próxima (julho/2008), ambas sem limitação de chuva, com exceção do fósforo natural que não apresentou essa recuperação.

Tabela 11 – Amônio (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo			
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)
	-----g kg ⁻¹ -----			
CAP	6,80 A a	3,06 A b	5,03 D ab	6,01 A a
TEST	4,92 A ab	2,55 A b	6,93 ABCD a	4,65 A ab
FN	5,97 A b	3,46 A c	9,34 AB a	5,54 A bc
FP	5,82 A a	3,10 A b	6,41 BCD a	6,50 A a
FN+ FP	4,71 A b	2,33 A b	8,47 ABC a	4,74 A b
FN+G AB	6,11 A a	3,55 A b	5,69 CD ab	4,15 A ab
FN+T	6,01 A b	2,68 A c	9,57 A a	3,90 A c
FP+G	5,86 A b	4,89 A b	8,67 AB a	5,72 A b
FP+T	6,97 A a	3,04 A b	7,30 ABCD a	5,39 A ab

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

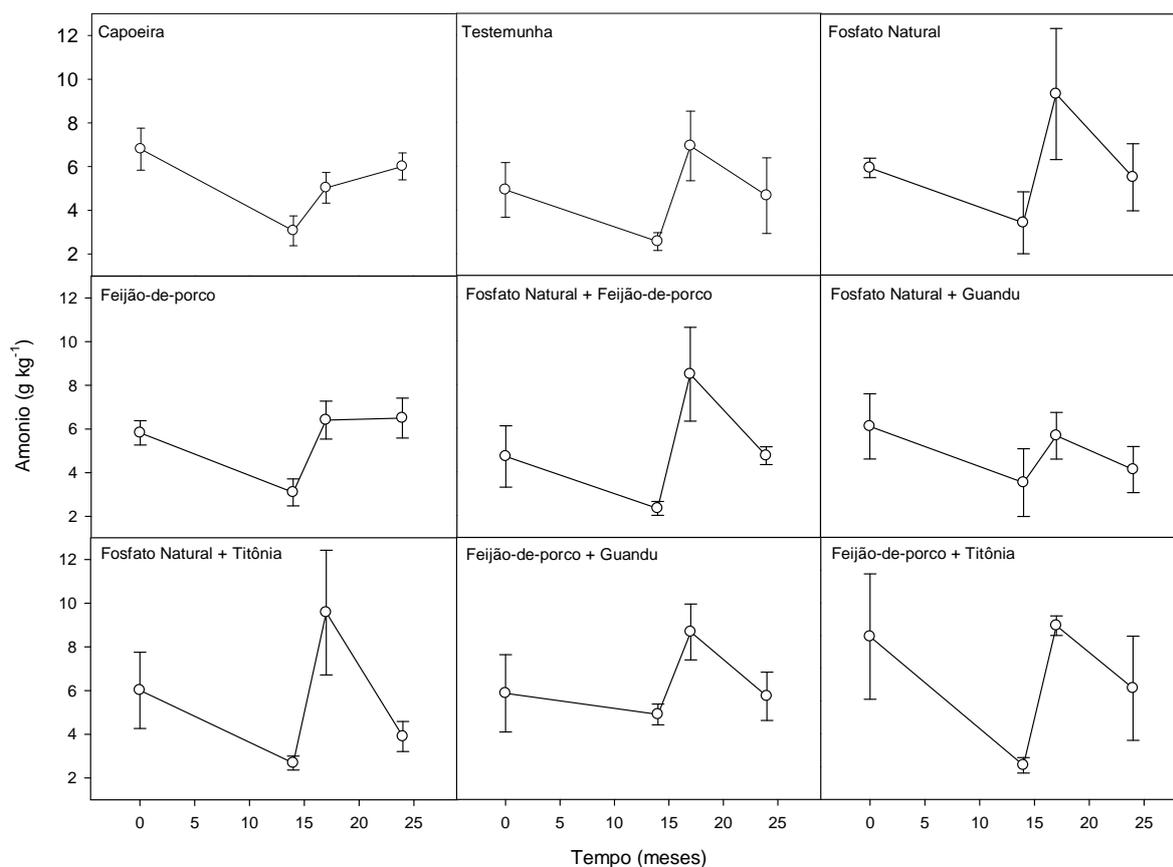


Figura 15 – Amônio do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tudo indica que a maior precipitação na amostragem de dezembro de 2007 favoreceu a amonificação (Figura 15), ao contrário do que ocorreu com a nitrificação, quando o nitrato foi reduzido (Figura 14), por inibição natural da conversão de amônio em nitrato. Carvalho (2005) mostrou que os principais fatores de regulação do nitrato e amônio no solo são o pH, a relação C/N e a perda de nitrato por lixiviação.

Em termos de balanço final desse indicador, verifica-se que em nenhum tratamento os valores verificados na última amostragem suplantaram à da amostragem de referência (inicial, em julho/2006).

7.2.8 Carbono orgânico (C(org))

Ao longo do estudo, o C(org) variou significativamente, devido a tratamento, apenas na segunda e quarta amostragens (Tabela 12).

Tabela 12 – Carbono orgânico (g kg⁻¹) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo			
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)
	-----g kg ⁻¹ -----			
CAP	14,24 A a	13,10 A a	12,75 A a	12,87 AB a
TEST	11,34 A ab	9,35 B b	9,84 A b	13,37 AB a
FN	13,73 A a	9,51 B b	9,71 A b	8,91 CD b
FP	12,67 A a	13,20 A a	12,01 A a	11,35 BC a
FN+FP	12,75 A a	9,58 B b	12,74 A a	15,40 A a
FN+G	12,99 A a	13,13 A a	12,60 A a	12,30 ABC a
FN+T	11,24 A a	8,18 B b	10,19 A ab	7,61 C b
FP+G	11,19 A a	13,86 A a	12,01 A a	13,46 AB a
FP+T	14,31 A a	10,48 AB b	10,90 A b	11,47 BC ab

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fósforo natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nos tratamentos capoeira, feijão-de-porco, só ou com guandu, e fósforo natural com guandu, o C(org) não mostrou variação significativa ao longo das amostragens (Figura 16). Já na testemunha, observou-se uma estabilização da primeira até a terceira amostragem, elevando-se até a quarta. Nos tratamentos fósforo natural, fósforo natural com titônia e feijão-de-porco com titônia, esse indicador decresceu significativamente da primeira para a segunda amostragem, seguindo-se de uma estabilização nas demais. Nos tratamentos fósforo natural com feijão-de-porco o C(org) decresceu da primeira para a segunda amostragem, aumentando até a última. Este comportamento pode ter sido motivado pela menor precipitação, com a provável redução da produção de biomassa vegetal que está associada ao C (org) do solo (USDA, 2009).

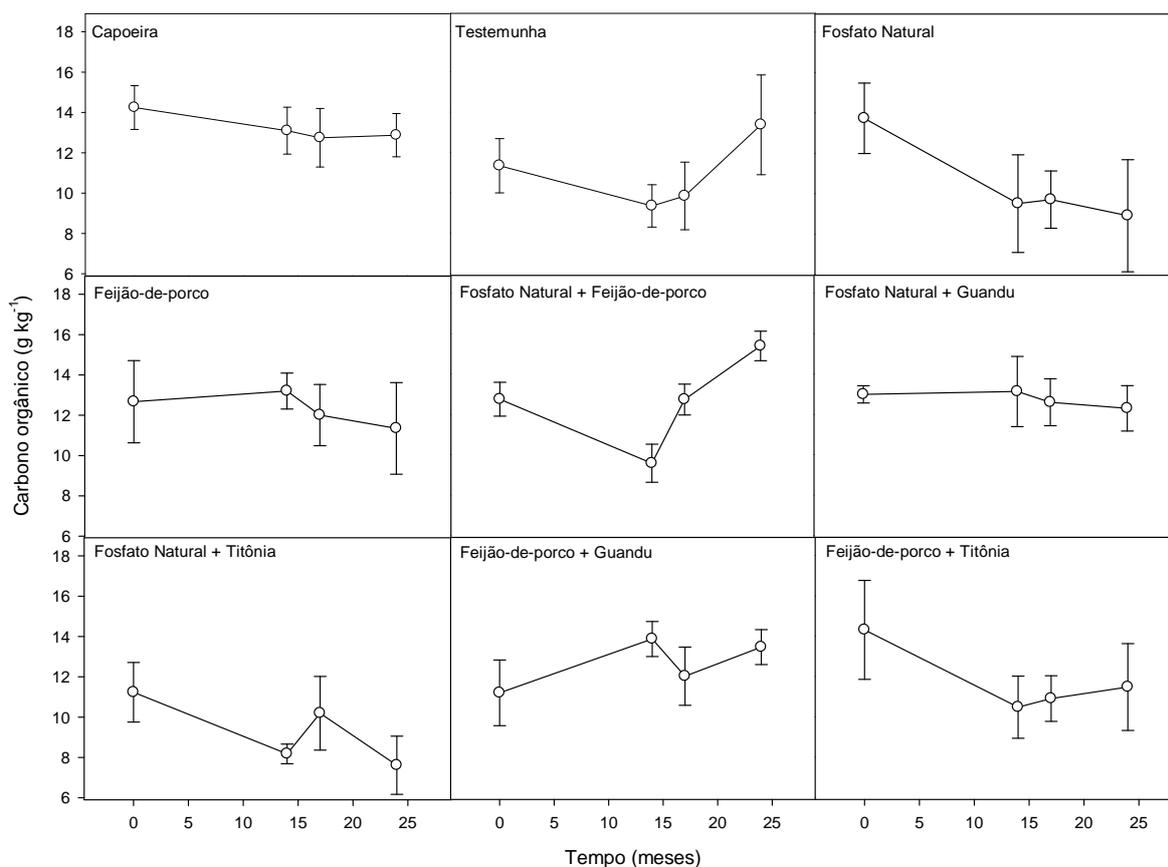


Figura 16 – Carbono orgânico do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Na capoeira, a falta de resposta nas amostragens de solo pode ser justificada pelo equilíbrio do C(org) que é alterado pelo preparo mecânico do solo para plantio (D'ANDRÉA et al., 2004).

Em geral, nenhum tratamento foi capaz de elevar o nível final de C(org) em relação à condição inicial (Tabela 12); pelo contrário, os tratamentos fosfato natural e fosfato natural com titônia proporcionaram um balanço negativo.

7.2.9 Potássio total (K(t))

As médias de K(t) variaram significativamente na primeira e terceira amostragens (Tabela 13).

Ao longo das amostragens, um dos padrões de resposta do K(t) constou de uma elevação significativa da primeira para a segunda amostragem (setembro/2007), época de menor precipitação, permanecendo constante até ao final do estudo, caso dos tratamentos

capoeira, testemunha, fosfato natural, fosfato natural com feijão-de-porco e feijão-de-porco com titônia (Figura 17 e Tabela 13). Isto reforça as vantagens do sistema de preparo do solo com corte-e-trituração da vegetação em promover a manutenção de K no solo, diferente do sistema de corte-e-queima que reduz a concentração desse elemento (KATO et al., 2004; SOMMER et al., 2004).

Tabela 13 – Potássio total (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo			
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)
	-----g kg ⁻¹ -----			
CAP	36,44 ABC b	68,00 A a	77,50 AB a	83,28 A a
TEST	47,80 AB b	73,05 A a	90,25 A a	75,04 A a
FN	29,15 ABC b	74,33 A a	80,01 AB a	89,01 A a
FP	55,72 A b	73,13 A ab	82,95 AB a	85,34 A a
FN+FP	28,83 ABC b	74,95 A a	82,91 AB a	88,14 A a
FN+G	38,12 ABC c	69,74 A b	66,61 AB b	97,14 A a
FN+T	16,60 C c	72,37 A b	69,34 AB b	95,60 A a
FP+G	20,14 C c	65,93 A ab	60,72 B b	84,33 A a
FP+T	26,69 BC b	77,64 A a	74,35 AB a	95,52 A a

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Outro padrão de resposta, além da elevação da primeira amostragem para a segunda, incluiu mais um acréscimo da terceira para a quarta – caso do fosfato natural com guandu ou titônia e feijão-de-porco com guandu. O último padrão foi uma elevação do K(t) da primeira para a terceira amostragem (dezembro/2007), época de elevada precipitação, permanecendo constante até a última, caso do feijão-de-porco. Considerando a seqüência mandioca–milho utilizada neste estudo, a tendência geral do K(t) de se elevar ao longo do período experimental pode ter beneficiado o milho, cultura bastante exigente em K (COELHO & FRANÇA, 1995).

Como, na condição da capoeira intacta, houve também a elevação do indicador $K(t)$ da primeira para a segunda amostragem (Figura 17), é razoável admitir que as condições microclimáticas e o dinamismo da sucessão vegetal tenham contribuído para esse efeito.

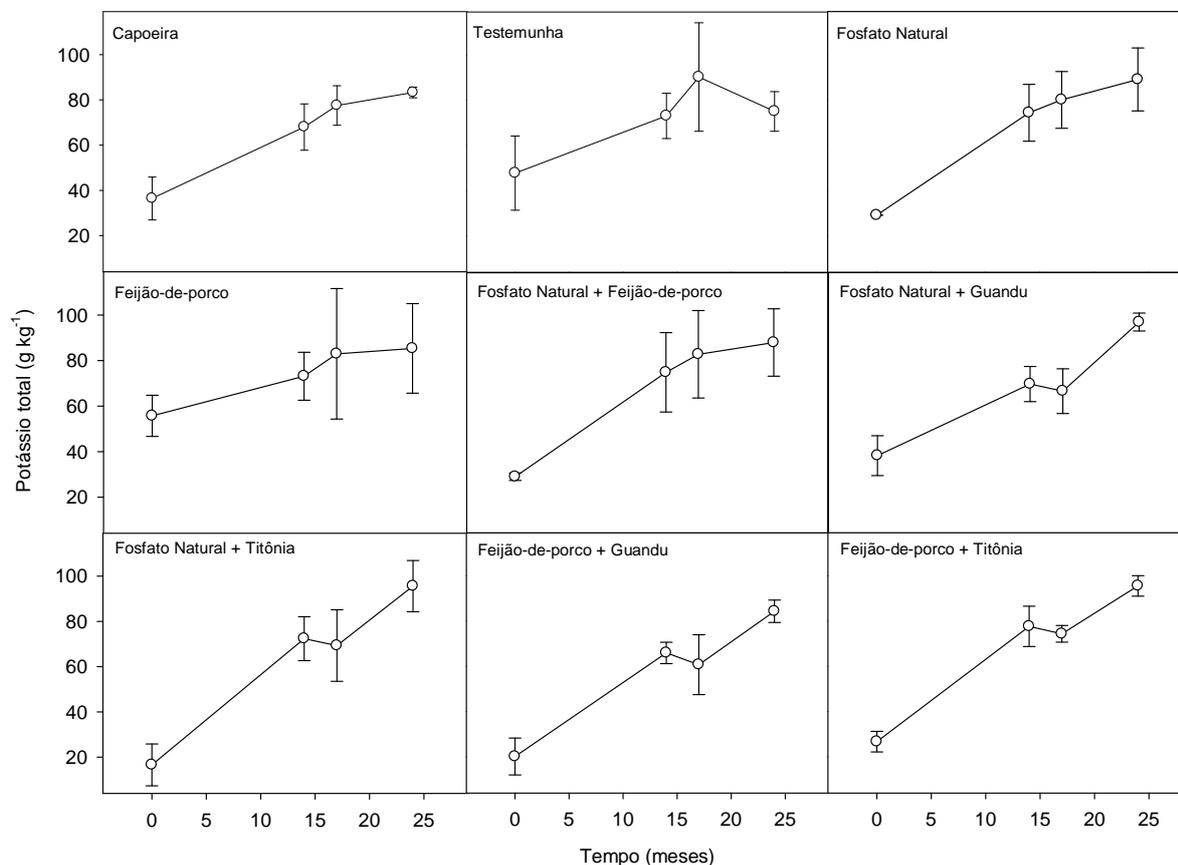


Figura 17– Potássio total do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

7.2.10 Sódio total ($Na(t)$)

Ao longo do estudo, o $Na(t)$ não variou significativamente, devido a tratamento, apenas na quarta amostragem (Tabela 14).

Vários comportamentos caracterizaram a resposta deste indicador, ao longo do estudo (Figura 18 e Tabela 14). Num deles simplesmente não houve resposta às amostragens – caso da capoeira, e fosfato natural com feijão-de-porco ou guandu. Noutro ocorre uma elevação da primeira amostragem para a segunda (setembro/2007, época de menor precipitação) e quarta – caso do feijão-de-porco; semelhante ao que exibe uma elevação somente após a terceira amostragem – caso do fosfato natural. O padrão de resposta dos tratamentos restantes foi

marcado por uma forte queda da primeira para a segunda amostragem, seguindo-se de: a) uma estabilização até o fim do estudo – caso do fosfato natural e feijão-de-porco, ambos com titônia, b) uma elevação menor da segunda para a terceira amostragem, permanecendo estável até o final – caso da testemunha, ou c) uma elevação menor da terceira para a quarta amostragem – caso do feijão-de-porco com guandu.

Tabela 14 – Sódio total (g kg^{-1}) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo			
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)
	-----g kg ⁻¹ -----			
CAP	141,17 C a	124,71 AB a	114,23 BC a	140,79 A a
TEST	236,37 B a	124,51 AB c	191,97 A ab	158,21 A bc
FN	89,86 C b	82,81 B b	79,39 C b	145,08 A a
FP	90,09 C b	138,86 AB a	129,62 BC ab	166,90 A a
FN+FP	109,14 C a	144,54 A a	145,13 AB a	148,40 A a
FN+G	121,55 C a	147,04 A a	163,70 AB a	165,99 A a
FN+T	292,82 B a	149,45 A b	164,83 AB b	173,42 A b
FP+G	291,03 B a	132,35 AB c	116,22 BC c	178,48 A b
FP+T	366,44 A a	148,78 A b	154,67 AB b	129,91 A b

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

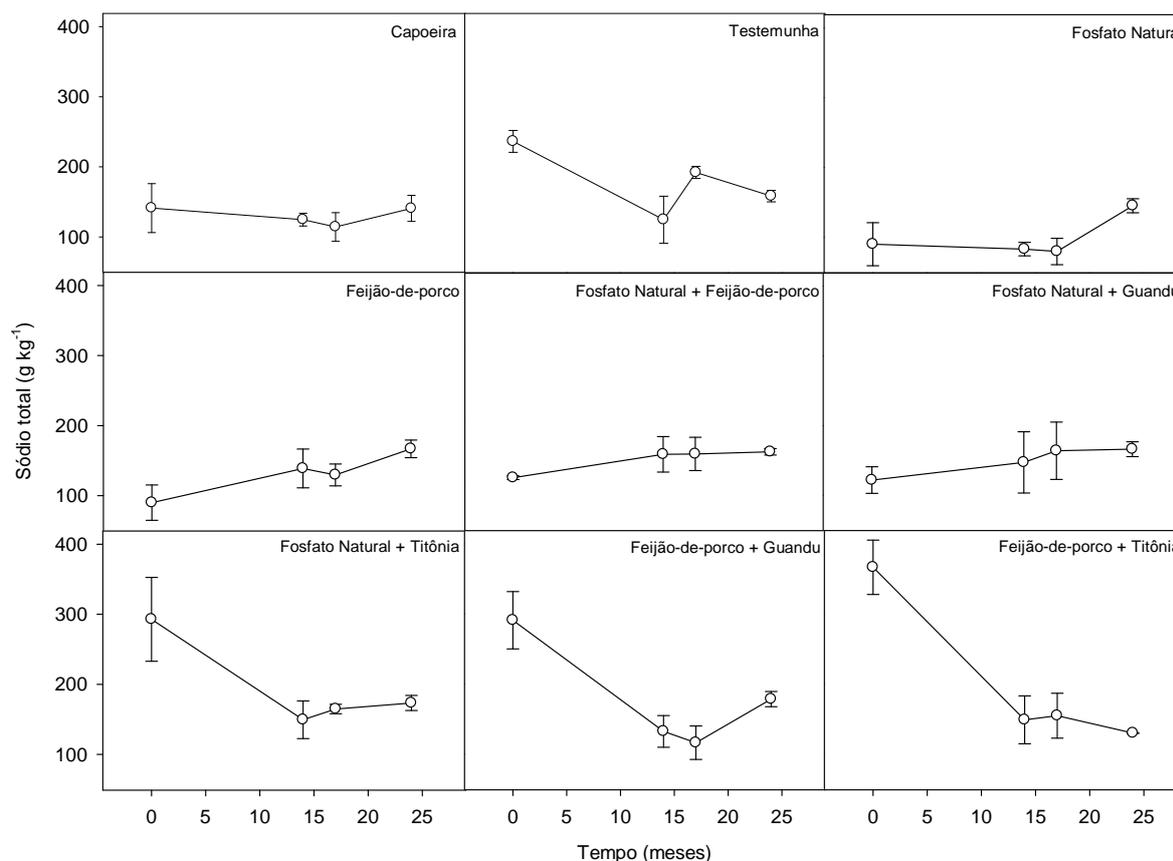


Figura 18 – Sódio total do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

A Figura 18 evidencia os resultados de Na(t) em que ocorreu um decréscimo significativo da primeira amostragem para a última nos tratamentos testemunha, fosfato natural com titônia e feijão-de-porco com guandu ou titônia. Por outro lado, houve um aumento significativo nos teores de Na(t) nos tratamentos fosfato natural e feijão-de-porco, e houve uma estabilidade na capoeira, fosfato natural com feijão-de-porco ou guandu.

O Na(t) é um indicador de fertilidade de solo cuja elevação é indício de problema na drenagem, compactação, absorção de água e crescimento radicular das plantas (CLANCY, 2010). Dessa forma, em solos propensos à salinização, buscar alternativas que reduzam o conteúdo de Na será sempre um objetivo prioritário para a pesquisa agrícola.

7.2.11 Condutividade elétrica do solo

Ao longo do estudo, a condutividade elétrica só variou, devido a tratamento, na segunda e quarta amostragens de solo (Tabela 15).

Tabela 15 – Valores médios de condutividade elétrica do solo (μS) por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo			
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)
	----- μS -----			
CAP	136,08 A a	90,78 B b	83,93 A bc	46,00 C c
TEST	100,30 A b	188,33 A a	71,93 A b	65,00 BC b
FN	118,83 A b	191,15 A a	61,13 A c	75,75 ABC c
FP	111,23 A b	194,33 A a	86,73 A b	102,00 AB b
FN+FP	123,28 A a	137,33 B a	67,18 A b	70,75 BC b
FN+G	143,88 A a	113,00 B ab	91,65 A b	99,25 AB b
FN+T	117,33 A ab	135,67 B a	68,90 A c	76,50 ABC bc
FP+G	119,63 A a	121,00 B a	70,50 A b	124,00 A a
FP+T	125,48 A a	120,00 B a	65,70 A b	70,25 BC b

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fósforo natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

À exceção do tratamento capoeira, os menores valores de condutividade elétrica ocorreram na amostragem com maior precipitação pluviométrica, confirmando a importância da água na regulação da condutividade do solo (MOLIN & CASTRO, 2006).

Quatro tipos de comportamento caracterizaram a resposta deste indicador, ao longo do estudo (Figura 19 e Tabela 15). No primeiro, ocorreu um constante declínio do indicador, da primeira para a quarta amostragem – caso da capoeira e do fósforo natural com guandu. No segundo, após uma estabilização entre a primeira e segunda amostragem, aconteceu um declínio desta para a terceira amostragem, na época de maior precipitação (dezembro/2008), e daí para frente segue-se: a) uma estabilização – caso do fósforo natural com feijão de porco

ou titônia, e feijão-de-porco com titônia, e b) uma elevação – caso do feijão-de-porco com guandu. No terceiro, após uma elevação da primeira para a segunda amostragem, na época de menor precipitação, seguiu um decréscimo até a terceira e, a partir desta, ocorreu uma estabilização – caso da testemunha, fosfato natural e feijão-de-porco.

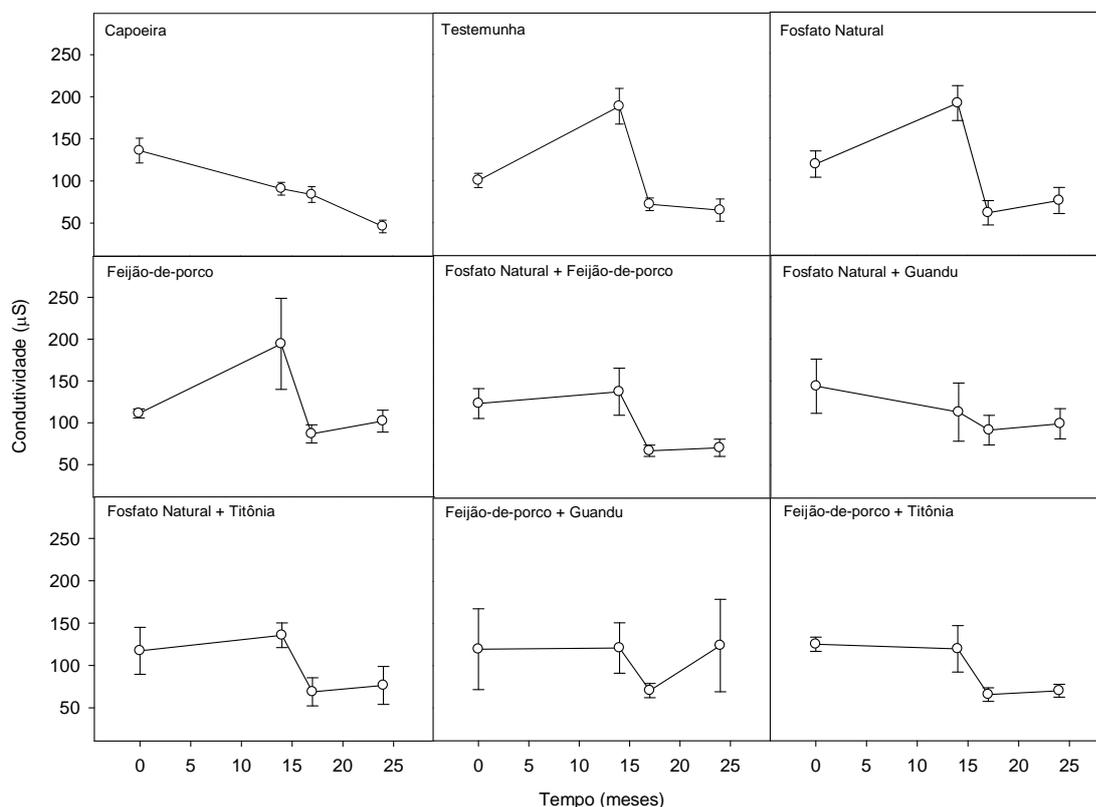


Figura 19 – Condutividade elétrica do solo na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

No balanço final, a condutividade elétrica decresceu, do início para a fim do estudo, nos tratamentos capoeira, fosfato natural – só, com feijão-de-porco ou guandu – e feijão-de-porco com titônia. Nos tratamentos restantes, esse indicador manteve-se inalterado.

Na Figura 19, observa-se nos tratamentos testemunha, fosfato natural e feijão-de-porco um pico da condutividade elétrica na amostragem com menor chuva (setembro de 2007, com 54,4 mm de chuva). No mês com maior pluviosidade, os valores de condutividade elétrica dos tratamentos testados foram menores, com exceção da capoeira, em que ocorreu um decréscimo contínuo ao longo do tempo, em função do papel de sua cobertura arbórea na manutenção da umidade do solo.

7.2.12 pH

As médias gerais de pH diferiram significativamente entre tratamentos e entre épocas de amostragem (Tabela 16). Ao longo do estudo, as médias de tratamento nas épocas de amostragens só variaram na terceira amostragem, época de maior precipitação pluviométrica.

A resposta deste indicador, ao longo do estudo, pode ser representada por três trajetórias (Figura 20 e Tabela 16). Na primeira, após uma estabilidade significativa da primeira para a segunda amostragem, ocorreu uma elevação significativa desta para a terceira, permanecendo estável até o final, no testemunha. Na segunda, a estabilidade inicial se prolongou até a terceira amostragem, significativamente, caindo daí até o final, no feijão-de-porco com guandu. Na última trajetória, a resposta foi constante ao longo do estudo, no caso dos tratamentos restantes.

No balanço final, o nível do pH não foi modificado, do início para o fim do estudo, por nenhum dos tratamentos testados. De fato, não se incluiu nenhuma reconhecida prática modificadora do balanço ácido-básico nos tratamentos.

Tabela 16 – Valores médios de pH do solo por tratamento e época de amostragem, na profundidade de 0 - 10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

Tratamentos ¹	Amostragens de solo				MÉDIA GERAL
	Julho / 2006 ² (0 meses)	Setembro / 2007 (14 meses)	Dezembro / 2007 (17 meses)	Julho / 2008 (24 meses)	
CAP	6,12 A a	6,01 A a	6,03 AB a	5,74 A a	5,97 a
TEST	5,88 A ab	5,44 A b	6,20 AB a	5,73 A ab	5,81 ab
FN	5,99 A a	5,68 A a	5,92 AB a	5,68 A a	5,82 ab
FP	5,72 A a	5,36 A a	5,53 B a	5,49 A a	5,53 b
FN+FP	5,88 A a	5,94 A a	6,31 A a	5,76 A a	5,97 a
FN+G	5,74 A a	6,06 A a	6,01 AB a	5,74 A a	5,89 ab
FN+T	5,97 A a	5,79 A a	5,69 AB a	5,61 A a	5,77 ab
FP+G	5,76 A ab	5,75 A ab	5,90 AB a	5,18 A b	5,64 ab
FP+T	5,96 A a	5,94 A a	6,00 AB a	5,54 A a	5,86 ab
MÉDIA GERAL	5,89 A	5,77 AB	5,95 A	5,61 B	

¹CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fosfato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia.

²Amostragem pré-experimental.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

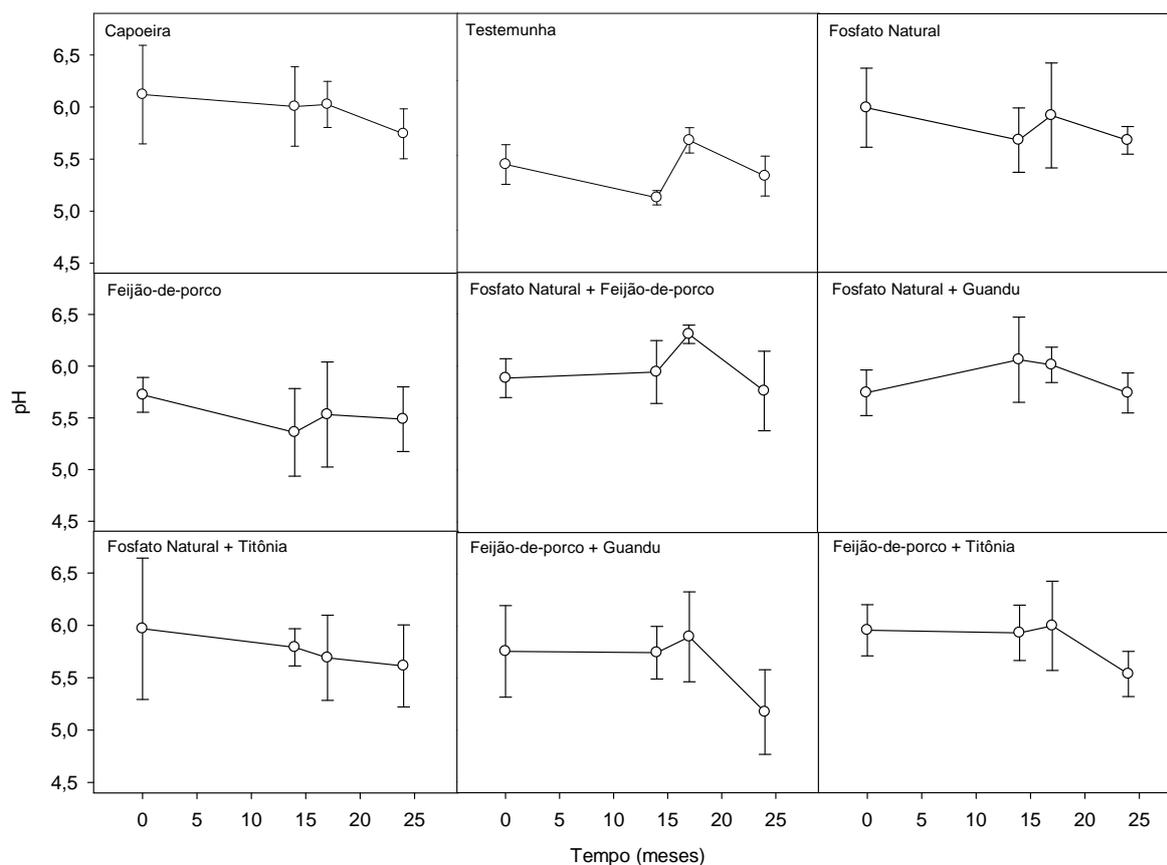


Figura 20 – pH do solo, na profundidade 0-10 cm, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará.

7.3 Análise de componentes principais dos indicadores do solo

A Análise de Componentes Principais (ACP), que comparou os indicadores biológicos e químicos do solo por tratamento e nas amostragens, foi responsável por apenas 38,04 % da variação total, sendo 22,15 % atribuída ao primeiro e 15,89 % ao segundo eixo (Figura 21).

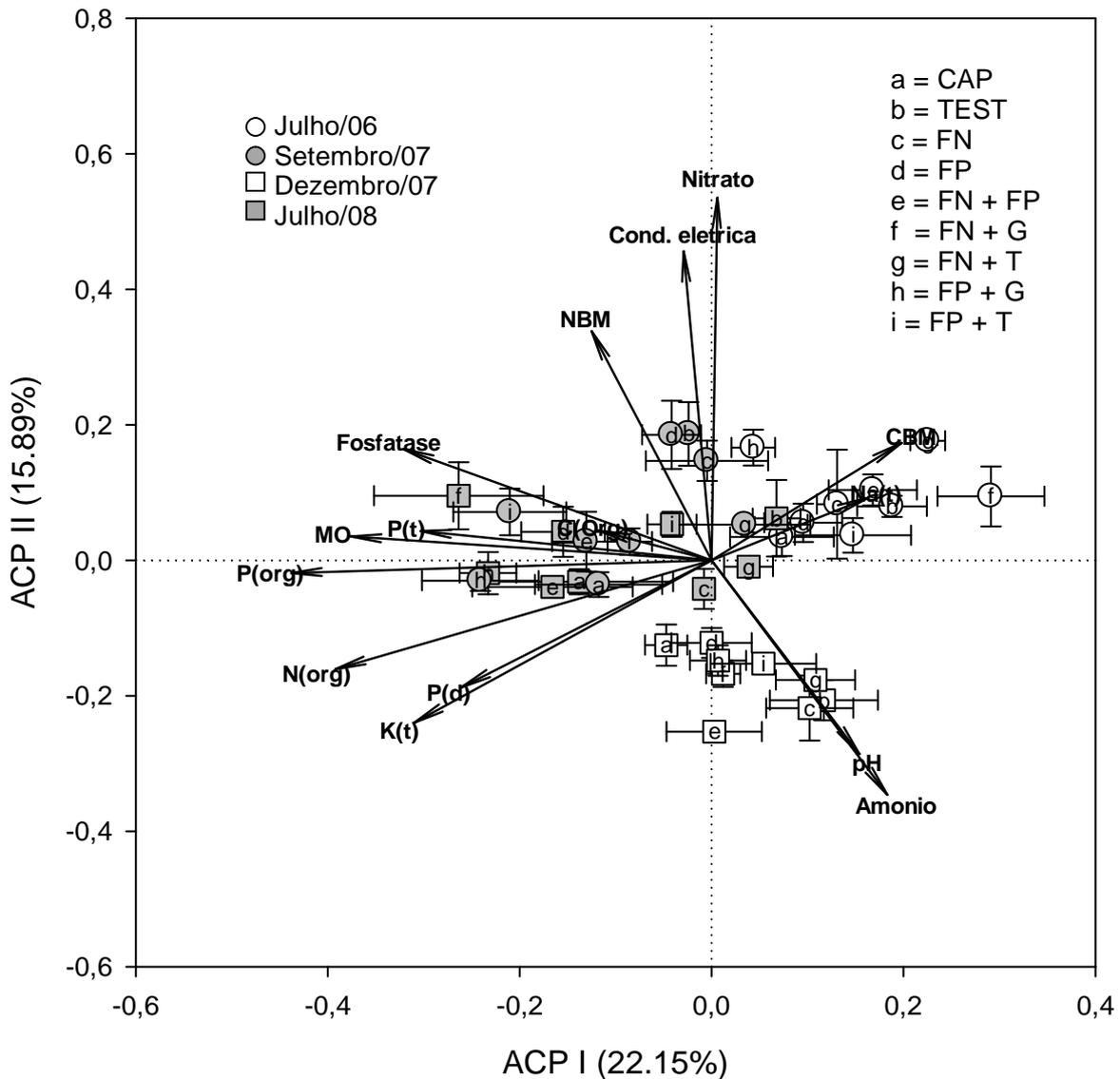


Figura 21 – Análise dos componentes principais dos indicadores e dispersão dos tratamentos por período de coleta de solo, comunidade São João, município de Marapanim - PA. (CAP = Capoeira; TEST = Testemunha; FN = Fostato natural; FP = Feijão-de-porco; G = Guandu; T = Titônia).

Ainda na Figura 21, observa-se nas respostas dos indicadores um grupamento por amostragens de solo, principalmente na terceira amostragem (dezembro/2007), já que na primeira não houve efeito de tratamento. Isso comprova que o comportamento dos tratamentos foi modificado pela estação do ano, principalmente na época chuvosa.

O primeiro eixo (ACP I) mostrou a maior influência positiva dos indicadores carbono da biomassa microbiana, amônio, sódio total e pH, já a maior influência negativa foi do fósforo orgânico, nitrogênio orgânico, matéria orgânica, fosfatase ácida, potássio total e fósforo total e disponível (Figura 21 e Tabela 17). Por outro lado, ao longo do segundo eixo (ACP II), os indicadores nitrato, condutividade elétrica e nitrogênio da biomassa microbiana foram os principais responsáveis pelas variações positivas, e o amônio e pH, pelas negativas (Figura 21).

Na primeira amostragem (pré-experimental), é possível verificar que os indicadores carbono da biomassa microbiana e sódio total foram mais sensíveis. Na segunda amostragem, com menor precipitação (setembro/2007), em que não houve uma clara aglutinação dos efeitos dos indicadores, os mais sensíveis aos tratamentos foram nitrato, condutividade elétrica, nitrogênio e carbono da biomassa microbiana, fosfatase ácida, matéria orgânica, fósforo total, disponível e orgânico, nitrogênio orgânico, carbono orgânico, potássio total e sódio total (Figura 21). Nesta amostragem, em que a precipitação foi menor, fica evidente o potencial de nutrientes como N, P e K, e da matéria orgânica que, em condição de baixo uso de insumos, dependem grandemente da ciclagem proporcionada pelo *mulch* e pela atividade biológica do solo (ALVARENGA et al., 1995; ESPINDOLA et al., 1997).

Na amostragem seguinte (dezembro/2007), com maior precipitação, os mais sensíveis foram apenas amônio e pH, constituindo-se os fatores discriminatórios dessa amostragem.

Na última amostragem (julho/2008), em que não se observa uma clara aglutinação dos efeitos dos indicadores, os mais sensíveis foram fosfatase ácida, matéria orgânica, fósforo total, disponível e orgânico, nitrogênio orgânico, carbono orgânico, carbono da biomassa microbiana, nitrogênio da biomassa microbiana, potássio total e sódio total.

Como se constatou, os indicadores sensíveis na primeira amostragem foram carbono da biomassa microbiana e sódio total; na segunda amostragem foram amônio e pH, isto é, justamente os que foram na terceira amostragem; e, na última amostragem foram carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, fosfatase ácida, matéria orgânica, fósforo total, orgânico e disponível, nitrogênio orgânico, carbono orgânico e potássio total. Dessa maneira, nenhum indicador foi suficientemente sensível em todas as quatro estações.

Considerando o eixo principal (ACP I), de maior peso, de modo geral, os indicadores mais sensíveis estatisticamente foram matéria orgânica, nitrogênio orgânico, fósforo total e orgânico, fosfatase ácida, e potássio total (Tabela 17).

Em estudos como o de Melloni et al. (2008), a matéria orgânica é considerada um dos indicadores mais sensíveis e críticos da qualidade do solo; e isso é função de sua participação

no funcionamento de ecossistemas (SIKORA & STOTT, 1996). Por isso, a matéria orgânica é extremamente sensível às ações antrópicas e ao manejo de solo (CARTER, 2002), e à precipitação (BURKE et al., 1989), fatores preponderantes na área de estudo.

Como componente importante da matéria orgânica do solo, o N(org) é também um indicador sensível ao efeito do manejo do solo, principalmente em processo de recuperação e exploração pelos cultivos. Nessa situação, o N(org) é grandemente dependente de práticas de manejo, como preparo e cobertura de solo, plantio direto e associação com plantas adubadoras de solo, consideradas fatores experimentais neste estudo.

Em solos de baixa fertilidade, como o do estudo, a disponibilidade de P depende grandemente das suas formas orgânicas que liberam paulatinamente esse elemento por ação da população microbiana, na medida em que o solo é restaurado (MARTINAZZO et al., 2007). Por seu importante papel nesse processo, a fosfatase ácida pode ser utilizada como indicador da carência de fósforo no solo (OLIVEIRA et al., 1999), uma vez que tem relação direta com a quantidade de fósforo orgânico e indireta com a disponibilidade de fósforo (CONTE et al., 2002).

O K, juntamente com o N e o P, é um elemento que determina grandemente a fertilidade do solo, de cujos teores dependem o desenvolvimento dos cultivos agrícolas (SOMMER et al., 2004). Por isso, o K(t) é um indicador-chave das mudanças decorrentes da recuperação do solo.

Tabela 17 – Autovalores em dois componentes principais dos indicadores do solo, comunidade São João, município de Marapanim, estado do Pará, 2010.

Indicadores do solo	ACP I	ACP II
Biológicos		
Carbono da biomassa microbiana	0,198	0,173
Nitrogênio da biomassa microbiana	-0,125	0,338
Fosfatase ácida	-0,321	0,164
Químicos		
Matéria orgânica	-0,376	0,035
Fósforo total	-0,303	0,043
Fósforo disponível	-0,261	-0,188
Fósforo orgânico	-0,438	-0,019
Nitrogênio orgânico	-0,392	-0,161
Nitrato	0,006	0,535
Amônio	0,183	-0,346
Carbono orgânico	-0,118	0,044
Potássio total	-0,310	-0,240
Sódio total	0,163	0,092
Condutividade elétrica	-0,029	0,456
pH	0,154	-0,286

Valores em negrito são significativos a 5% de probabilidade.

7.4 Resposta dos indicadores aos fatores de recuperação do solo

Esta análise é baseada na variação do comportamento dos indicadores da primeira amostragem (julho/2006) para a quarta e última (julho/2008) (Tabelas 3 a 16).

7.4.1 Corte-e-trituração

Para se analisar as respostas à mudança de cobertura do solo, representada pela substituição da cobertura vegetal, no caso de capoeira, por um *mulch* formado por seu corte-e-trituração e distribuição sobre o solo, comparou-se o comportamento dos indicadores nos tratamentos testemunha (corte-e-trituração) e capoeira (Tabela 18).

Tabela 18 - Comparação das tendências dos indicadores, do início para o fim do estudo: Efeito do fator corte-e-trituração (contraste entre tratamentos: testemunha (corte-e-trituração) *versus* capoeira).

Indicadores	Tratamentos contrastantes	Tendência significativa do início ao fim do estudo ¹		
		Aumento	Igualdade	Diminuição
Biológicos				
Carbono da biomassa microbiana	Test. (corte-e-trituração)	X		
	Capoeira	X		
Nitrogênio da biomassa microbiana	Test. (corte-e-trituração)			X
	Capoeira	X		
Fosfatase ácida	Test. (corte-e-trituração)	X		
	Capoeira	X		
Químicos				
Matéria orgânica	Test. (corte-e-trituração)	X		
	Capoeira	X		
Fósforo total	Test. (corte-e-trituração)	X		
	Capoeira	X		
Fósforo disponível	Test. (corte-e-trituração)	X		
	Capoeira	X		
Fósforo orgânico	Test. (corte-e-trituração)	X		
	Capoeira	X		
Nitrogênio orgânico	Test. (corte-e-trituração)	X		
	Capoeira	X		
Nitrato	Test. (corte-e-trituração)	X		
	Capoeira	X		
Amônio	Test. (corte-e-trituração)	X		
	Capoeira	X		
Carbono orgânico	Test. (corte-e-trituração)	X		
	Capoeira	X		
Potássio total	Test. (corte-e-trituração)	X		
	Capoeira	X		
Sódio total	Test. (corte-e-trituração)			X
	Capoeira	X		
Condutividade elétrica	Test. (corte-e-trituração)	X		
	Capoeira			X
pH	Test. (corte-e-trituração)	X		
	Capoeira	X		

¹ Início, na primeira amostragem (julho/2006) e fim, na quarta amostragem (julho/2008) (Tabelas 3 a 17).

Comparando-se os valores da primeira com os da última amostragem (Tabela 18), observa-se que apenas o indicador biológico nitrogênio da biomassa microbiana não teve o mesmo comportamento, com igualdade na capoeira e diminuição no corte-e-trituração. Desse modo, pode-se admitir que o corte-e-trituração desfavorece esse indicador, ao final do estudo.

Entre os indicadores químicos, os comportamentos discordantes foram: igualdade de fósforo orgânico na testemunha e aumento significativo na capoeira; diminuição do sódio total na testemunha e igualdade na capoeira; igualdade da condutividade elétrica na testemunha e diminuição na capoeira (Tabela 18). Esse resultado pode ser interpretado como uma desvantagem do corte-e-trituração em relação à capoeira com respeito ao fósforo orgânico e sódio total, e vantagem em relação à condutividade elétrica, ao longo deste estudo.

7.4.2 Fosfato natural

Para se analisar as repostas dos indicadores à aplicação do fosfato natural, como alternativa de recuperação de fertilidade do solo, comparou-se o tratamento fosfato natural com a testemunha (Tabela 19).

Comparando-se os valores dos indicadores biológicos da primeira com os da última amostragem, observa-se que o único comportamento discordante foi uma diminuição significativa no nitrogênio da biomassa microbiana na testemunha e igualdade no fosfato natural (Tabela 19). Assim, depreende-se que a adubação com fosfato natural favorece esse indicador em relação ao corte-e-trituração da capoeira somente.

As discordâncias nos comportamentos dos indicadores químicos se resumiram em: aumento do sódio total no fosfato natural e diminuição no testemunha; diminuição significativa do carbono orgânico no tratamento fosfato natural e igualdade no testemunha diminuição da condutividade elétrica no fosfato natural e igualdade no testemunha (Tabela 19). Esses resultados sugerem que o fosfato natural, ao longo do tempo, favoreceu o sódio total e desfavoreceu o teor de carbono orgânico e a condutividade elétrica.

Tabela 19 - Comparação das tendências dos indicadores, do início para o fim do estudo: Efeito do fator fosfato natural (contraste entre tratamentos: fosfato natural *versus* testemunha (corte-e-trituração)).

Indicadores	Tratamentos contrastantes	Tendência significativa do início ao fim do estudo ¹		
		Aumento	Igualdade	Diminuição
Biológicos				
Carbono da biomassa microbiana	Fosfato natural		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Nitrogênio da biomassa microbiana	Fosfato natural		X	
	Test. (corte-e-trituração)			X
Fosfatase ácida	Fosfato natural	X		
	Test. (corte-e-trituração)	X		
Químicos				
Matéria orgânica	Fosfato natural		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Fósforo total	Fosfato natural		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Fósforo disponível	Fosfato natural		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Fósforo orgânico	Fosfato natural		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Nitrogênio orgânico	Fosfato natural		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Nitrato	Fosfato natural		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Amônio	Fosfato natural		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Carbono orgânico	Fosfato natural			X
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Potássio total	Fosfato natural	X		
	Test. (corte-e-trituração)	X		
Sódio total	Fosfato natural	X		
	Test. (corte-e-trituração)			X
Condutividade elétrica	Fosfato natural			X
	Test. (corte-e-trituração)		X	
pH	Fosfato natural		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	

¹ Início, na primeira amostragem (julho/2006) e fim, na quarta amostragem (julho/2008) (Tabelas 3 a 17).

7.4.3 Adubação verde

Para se analisar a resposta dos indicadores à prática da adubação verde na recuperação da fertilidade do solo comparou-se o comportamento dos indicadores nos tratamentos feijão-de-porco com guandu e testemunha, e feijão-de-porco com titônia e testemunha (Tabela 20 e 21).

Relativo ao contraste feijão-de-porco com guandu *versus* testemunha, na comparação dos valores dos indicadores biológicos, o único comportamento discordante foi uma diminuição significativa do nitrogênio da biomassa microbiana no tratamento testemunha e igualdade no feijão-de-porco com guandu (Tabela 20). Isso pode sugerir que a adubação verde, representada por essa combinação de leguminosas, ao longo do tempo, favorece aquele indicador.

Com respeito aos indicadores químicos, do início para a última amostragem, a discordância foi no aumento de matéria orgânica, fósforo total, fósforo disponível, fósforo orgânico e nitrogênio orgânico no tratamento feijão-de-porco com guandu e igualdade deles no testemunha (Tabela 20). Pode-se depreender desses resultados que a adubação verde promovida pela combinação das leguminosas feijão-de-porco e guandu, ao longo do tempo, provocou importante melhoramento no solo, no que diz respeito à matéria orgânica, fósforo total, disponível e orgânico e nitrogênio orgânico.

Já no contraste feijão-de-porco com titônia *versus* testemunha, na comparação dos valores dos indicadores biológicos, do início para a última amostragem, só foi observado um comportamento discordante que foi a igualdade do nitrogênio da biomassa microbiana no tratamento feijão-de-porco com titônia e diminuição no testemunha (Tabela 21). Isso também confirma a vantagem da combinação de plantas adubadoras de solo na manutenção desse indicador, ao longo do tempo.

No caso dos indicadores químicos, as discordâncias foram: a redução significativa do nitrogênio orgânico e condutividade elétrica no feijão-de-porco com titônia e igualdade no tratamento testemunha, ao longo do tempo (Tabela 21). Esses resultados indicam que, com o tempo, a adubação verde proporcionada pela combinação das plantas feijão-de-porco e titônia desfavorecem o nitrogênio orgânico e a condutividade elétrica.

Tabela 20 - Comparação das tendências dos indicadores, do início para o fim do estudo: Efeito do fator adubação verde (contraste entre tratamentos: feijão-de-porco com guandu *versus* testemunha (corte-e-trituração)).

Indicadores	Tratamentos contrastantes	Tendência significativa do início ao fim do estudo ¹		
		Aumento	Igualdade	Diminuição
Biológicos				
Carbono da biomassa microbiana	Feijão-de-porco com guandu		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Nitrogênio da biomassa microbiana	Feijão-de-porco com guandu		X	
	Test. (corte-e-trituração)			X
Fosfatase ácida	Feijão-de-porco com guandu	X		
	Test. (corte-e-trituração)	X		
Químicos				
Matéria orgânica	Feijão-de-porco com guandu	X		
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Fósforo total	Feijão-de-porco com guandu	X		
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Fósforo disponível	Feijão-de-porco com guandu	X		
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Fósforo orgânico	Feijão-de-porco com guandu	X		
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Nitrogênio orgânico	Feijão-de-porco com guandu	X		
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Nitrato	Feijão-de-porco com guandu		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Amônio	Feijão-de-porco com guandu		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Carbono orgânico	Feijão-de-porco com guandu		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Potássio total	Feijão-de-porco com guandu	X		
	Test. (corte-e-trituração)	X		
Sódio total	Feijão-de-porco com guandu			X
	Test. (corte-e-trituração)			X
Condutividade elétrica	Feijão-de-porco com guandu		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
pH	Feijão-de-porco com guandu		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	

¹ Início, na primeira amostragem (julho/2006) e fim, na quarta amostragem (julho/2008) (Tabelas 3 a 17).

Tabela 21 - Comparação das tendências dos indicadores, do início para o fim do estudo: Efeito do fator adubação verde (contraste entre tratamentos: feijão-de-porco com titônia *versus* testemunha (corte-e-trituração)).

Indicadores	Tratamentos Contrastantes	Tendência significativa do início ao fim do estudo ¹		
		Aumento	Igualdade	Diminuição
Biológicos				
Carbono da biomassa microbiana	Feijão-de-porco com titônia		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Nitrogênio da biomassa microbiana	Feijão-de-porco com titônia		X	
	Test. (corte-e-trituração)			X
Fosfatase ácida	Feijão-de-porco com titônia	X		
	Test. (corte-e-trituração)	X		
Químicos				
Matéria orgânica	Feijão-de-porco com titônia		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Fósforo total	Feijão-de-porco com titônia		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Fósforo disponível	Feijão-de-porco com titônia		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Fósforo orgânico	Feijão-de-porco com titônia		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Nitrogênio orgânico	Feijão-de-porco com titônia			X
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Nitrato	Feijão-de-porco com titônia		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Amônio	Feijão-de-porco com titônia		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Carbono orgânico	Feijão-de-porco com titônia		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	
Potássio total	Feijão-de-porco com titônia	X		
	Test. (corte-e-trituração)	X		
Sódio total	Feijão-de-porco com titônia			X
	Test. (corte-e-trituração)			X
Condutividade elétrica	Feijão-de-porco com titônia			X
	Test. (corte-e-trituração)		X	
pH	Feijão-de-porco com titônia		X	
	Test. (corte-e-trituração)		X	

¹ Início, na primeira amostragem (julho/2006) e fim, na quarta amostragem (julho/2008) (Tabelas 3 a 17).

8 CONCLUSÕES

Entre os indicadores estudados, o carbono da biomassa microbiana, nitrogênio da biomassa microbiana, fósforo total, fósforo disponível, fósforo orgânico, nitrogênio orgânico, carbono orgânico, sódio total e condutividade elétrica foram mais precoces (menos de 14 meses) em detectar diferença entre tratamentos de recuperação de fertilidade de solo. Já o indicador matéria orgânica, como era de se esperar, foi o mais tardio (25 meses).

A Análise dos Componentes Principais mostrou que a maioria dos indicadores do solo testados foi fortemente influenciada pela variação de precipitação pluviométrica e que os indicadores mais sensíveis aos tratamentos foram matéria orgânica, nitrogênio orgânico, fósforo total e orgânico, fosfatase ácida e potássio total.

A tendência dos indicadores em função do fator corte-e-trituração foram desfavorecimento do nitrogênio da biomassa microbiana, fósforo orgânico e sódio total, e o favorecimento da condutividade elétrica; em função do fosfato natural foram o desfavorecimento do carbono orgânico e da condutividade elétrica e o favorecimento do nitrogênio da biomassa microbiana e sódio total; em função da adubação verde (feijão-de-porco com guandu) foi o favorecimento do nitrogênio da biomassa microbiana, matéria orgânica, fósforo total, fósforo disponível, fósforo orgânico e nitrogênio orgânico; e em função da adubação verde (feijão-de-porco com titônia) foram o desfavorecimento do nitrogênio orgânico e da condutividade elétrica, e o favorecimento do nitrogênio da biomassa microbiana.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-MARTINEZ, V. & TABATABAI, M.A. Enzyme activities in a limed agricultural soil. **Biol Fertil Soils**, 31: 85–91. 2000.

ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil Till. Res.**, 33:17-28, 1995.

ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Revista Agropecuária Brasileira**, 30(2):175-185, 1995.

ANGERS, D.A.; BISSONNETTE, N.; LÈGÈRE, A.; SAMSOM, N. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. **Canadian Journal of Soil Science**, 73:39-50, 1993.

AON, M.A.; COLANERI, A.C. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. **Appl. Soil Ecol.**, 18: 255–270. 2001.

BAENA, A.R.C.; FALESI I.C.; DUTRA, S. **Características físico-químicas do solo em diferentes agroecossistemas na região bragantina do nordeste paraense**. Belém: Embrapa-CPATU, 1998. 38p. (Embrapa-CPATU). (Boletim de Pesquisa, 185).

BAKER, K.F. The determination of organic carbon in soil using a probe-calorimeter. **Laboratory practice**, 15:82-83, 1976.

BARRIOS, E.; COBO, J.G. Plant growth, biomass production and nutrient accumulation by slash/mulch agroforestry systems in tropical hillsides of Colombia. **Agroforestry Systems**, 60:255-265, 2004.

BASTOS, T.X. & PACHECO, N.A. **Características de Igarapé-açu PA e suas implicações para as culturas anuais: feijão-caupi, milho, arroz e mandioca**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 30 p.

BAUSENWEIN U.; GATTINGER A.; LANGER U.; EMBACHER A.; HARTMANN H.P.; SOMMER M.; MUNCH J.C.; SCHLOTTER, M. Exploring soil microbial communities and

soil organic matter: variability and interactions in arable soils under minimum tillage practice. **Appl Soil Ecol.**, 40:67–77. 2008.

BOSSIO, D.A.; GIRVAN, M.S.; VERCHOT, L.; BULLIMORE, J.; BORELLI, T.; ALBRECHT, A.; SCOW, K.M.; BALL, A.S.; PRETTY, J.N.; OSBORN, A.M. Soil microbial community response to land use change in a agricultural landscape of Western Kenya. **Microbial Ecology**, 49:50-62, 2005.

BRANDÃO, S.L.; LIMA, S. do C. pH e condutividade elétrica um solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na chapada, em Uberlândia (MG). **Caminhos da Geografia**, vol. 3, n. 6, p 2002.

BURKE, I.C.; YONKER, C.M.; PARTON, W.J.; COLE, C.V.; FLACH, K.; SCHIMEL, D.S. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in US grassland soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 53:800-805, 1989.

CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J., VIDOR, C. Nitrogênio orgânico no solo, p 117 - 137. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, p.117-138, 1999.

CAMPOS, D.C. **Influência da mudança do uso da terra sobre a matéria orgânica no município de São Pedro-SP**. Dissertação de Mestrado. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1998. 83p.

CARTER, M.R. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. **Agron. J.** (94):38-47, 2002.

CARVALHO, F. de. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo 2005. 79p.

CERRRI, C.C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B.P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 9:1-4, 1985.

CHAER, G.M. **Modelo para determinação de índices de qualidade do solo baseados em indicadores físicos, químicos e microbiológicos.** Dissertação de Mestrado. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa. 100p. 2001.

CLANCY, K. **Sodium affected soils.** Enderby: Fusion Turf Nutrition. Turf Line News. Disponível em <http://www.fusionfert.com/itn/articles/sodium.pdf> (último acesso em 28/04/2010).

COELHO, A.M.C.; FRANÇA, G.E. de. **Nutrição e Adubação do Milho.** Embrapa Milho e Sorgo. 1995. Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/deficiencia/deficiencia.html> (último acesso em 10/05/2010).

COMTE, I.; SILVA, B.M.P. da; DAVIDSON, R.; LUCOTTE, M.; ROUSSEAU, G.X.; VASCONCELOS, S.S. **Agricultura familiar na Amazônia: a trituração da capoeira como alternativa à queima e seus efeitos sobre atributos físicos-químicos do solo.** LBA, Conferência Científica Internacional: Amazônia em Perspectiva, Ciência Integrada para um Futuro Sustentável, 2008.

CONG, P.T.; MERCKX, R. Improving P availability in two upland soil of Vietnam using *Tithonia diversifolia*. **H. Plant & Soil**, 269:11-23, 2005.

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

D'ANDRÉA, A.; SILVA, M.N.; CURTI, N. Estoque de carbono e nitrogênio, e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39(2):179-186, 2004.

DALAL, R.C.; EBERHARD, R.; GRANTHAM, T.; MAYER, D.G. Application of sustainability indicators, soil organic matter and electrical conductivity, to resource management in the Northern grains region. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 43(3):253-259, 2003.

DAVIDSON, E.A.; CARVALHO, C.J.R. de; FIGUEIRA, A.M.; ISHIDA, F.Y.; OMETTO, J.P.H.B.; NARDOTO, G.B.; SABÁ, R.T.; HAYASHI, S.N.; LEAL, E.C.; VIEIRA, I.C.;

MARTINELLI, L.A. Reclamation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment. **Nature** 447, 995-998. 2007.

DEPONTI, C.M.; CÓRDULA, E.; AZUMBUJA, J.L.B. de. Estratégia para construção de indicadores para avaliação da sustentabilidade e monitoramento de sistemas. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, 3(4):44-52, 2002.

DICK, R.P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F.; Stewart, B.A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: American Society of Agronomy. 1994. p. 107-124.

DICK, R.P.; BREACKWELL, D.P.; TURCO, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: Doran, J.W.; Jones, A.J. (eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1996. p. 247-271.

DICK, W.A.; TABATABAI, M.A. Significance and potential uses of soil enzymes. In: Metting, F.B. (ed.) **Soil Microbial Ecology**. New York: Marcel Dekker, 1992. p. 95-127.

DICK, W.A.; CHENG, L.; WANG, P. Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. **Soil Biol. Biochem.**, 32:1915- 1919, 2000.

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**. Madison, SSSA, p. 1-20. 1994. (Special, 35).

DORAN, J.W. **Soil quality and sustainability**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. Rio de Janeiro, 1997. Rio de Janeiro: Comissão do “V Inventor. Gênese, Morphology and Classification of Soils. 1997.p.

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, 56:2-54. 1996.

ELLIOTT, E.T. Rationale for developing bioindicators of soil health. In: Pankhurst, C.; Doube, B.M.; Gupta, V.V.S.R. (eds.). **Biological indicators of soil health**. New York: CAB International, p.49-78. 1997.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / CNPS, CNPTIA. 1º ed – Brasília, 1999. 370p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Silva, F.C. da (Ed. Técnico). 2ª ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas de Solos, 1997. 212p. (Documentos, 1).

EIVAZI, F.; TABATABAI, M.A. Phosphatase in soils. **Biology and Biochemistry**, 9:167-172, 1977.

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. **Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 20p. 1997. (Documentos, 42).

FAZ FÁCIL. **Biológica do solo**. 2009. Disponível em <http://www.fazfacil.com.br/jardim/solos.html> (último acesso em 29/04/2010).

FRIGHETTO, R.T.S.; SCHNEIDER, R.P. Problemas encontrados na avaliação de microorganismos do solo. In: Frighetto, R.T.S., Valarini, P.J. (Coords.). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.41-44. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).

GAMA-RODRIGUES, E.F. da; BARROS, N.F.; de; GAMA-RODRIGUES, A.C. da. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29(6):893-901. 2005.

GANUNGA, R.; YEROKUN, O.; FUMWENDA, J.D.T. *Tithonia diversifolia*: an organic source of nitrogen and phosphorus for maize in Malawi. In: Waddington, S.R. et al (eds.). **Soil fertility research for maize-based farming systems in Malawi and Zimbabwe**. 191-194, 1998. Soil Fert. Net. And CIMMYT-Zimbabwe, Harare, Zimbabwe.

GRISI, B.M. Biomassa e atividade de microorganismos do solo: revisão metodológica. **Revista Nordestina de Biologia**, 10(1): 1-22, 1995.

GUPTA, V.V.S.R.; GERMINA, J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. **Soil Biology and Biochemistry**, 20:777-786, 1998.

HALBERG, N. Indicators of resource use and environmental impact for use in a decision aid for Danish livestock farmers. **Agriculture Ecosystems and Environment**, 76:17–30. 1999.

HARPER, J.E. Nitrogen metabolims. In: Boote, K.J.; Bennett, J.M.; Sinclair, T.R. et al. (eds.) **Physiology and determination of crop yield**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994. p. 285-302.

HEINRICHS, R.; VITTI, G.C.; MOREIRA, A.; FIGUEIREDO, P.A.M. de; FANCELLI, A.L.; CORAZZA, E.J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:71-79, 2005.

IKERRA, S.I.; SEMU, E.; MREMA, J. Combining *Tithonia diversifolia* and minjingu phosphate rock for improvement of P availability and maize grain yields on chromic acrisol in Morogoro, Tanzania. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 76(2-3):249-260. 2006.

JACKSON, L.E.; CALDERON, F.J.; STEENWERTH, K.L.; SCOW, K.M.; ROLSTON, D.E. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. **Geoderma**, 114:305-317, 2003.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. Paul, E.A.; Ladd, J.N. (eds.). **Soil Biochemistry**, 5. Marcel Dekker, New York, p.415-471, 1981.

KARLEN, D.L.; ANDREWS, S.S.; DORAN, J.W. Soil quality: current concepts and applications. **Adv. Agron.**, 74:1-40, 2001.

KATO, M.S.A.; KATO, O.R.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. **Phosphorus availability in a mulch system in Eastern Amazonia**. In: German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems – Achievements and Prospects of Cooperative Research. Hamburg, 2000. CD-ROOM.

KATO, O.R.; KATO, M. do S.A.; JESUS, C.C. de; RENDEIRO, A.C. **Época de preparo de área e plantio de milho no sistema de corte-e-trituração no município de Igarapé-Açu, Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental. (Comunicado Técnico, 64). 2002. 3p.

KATO, O.R.; KATO, M.S.A.; SECCO, N.B. **Intensificando o cultivo em sistemas agroflorestais sucessionais.** In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 5. 2004. p.111-113. (Documentos, 98).

KATO, O.R.; KATO, M.S.A.; SÁ, T.D. de A.; FIGUEIREDO, R. **Plantio direto na capoeira.** Ciência e Ambiente, 29:99-111, 2004

KENNEDY, A.C.; PAPENDICK, R.I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal Soil Water Conservation**, 50:243-248, 1995.

KENNEDY, A.C.; SMITH, K.L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. **Plant and Soil**, 170:75-86. 1995.

KRULL, E.S.; SKJEMSTAD, J.O; BALDOCK, J.A. **Functions of soil organic matter and the effect on soil properties.** 2004. Disponível em <http://www.serve.com/treepower/soils/organicmatter.html> (último acesso em 25/07/2010).

LEAL, E.C.; VIEIRA, I.C.G.; KATO, M. do S.A. Banco de sementes em sistemas de produção de agricultura com queima e sem queima no município de Marapanim, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, 1(1):19-29, 2006.

LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo.** São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.

LOPES, O.M.N. **Feijão-de-porco no solo cultivado com pimenta-do-reino.** Belém: Embrapa – CPATU. 1998. (Embrapa – CPATU. Circular Técnica, 74). 4p.

LOPES, A.S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo.** São Paulo: ANDA, 2004.

LOPES, E.L.N.L.; SOUSA, B.B. de; SILVA JÚNIOR, C.A. da; RUIVO, M. de L.P. **Avaliação da biomassa microbiana e nutriente do solo na melhoria tecnológica do uso da terra em Igarapé-Açu – Pará - Brasil.** In: Iniciativa Amazônica. Workshop Somando Forças na Iniciativa Amazônica: Consórcio Internacional para a Conservação e Uso Sustentável dos Recursos Naturais na Amazônia, 2007. Acesso em

http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadeSolo/pdf/resumos/Poster_ElesandraL.pdf (último acesso: 22/10/2009).

LUNDQUIST, E.; SCOW, K.; JACKONS, L.; UESUGI, S.; JOHNSON, C. Rapid response of soil microbial communities from conventional low input and organic farming systems to a wet/dry cycle. **Soil Biology Biochemistry**, 31:1661-1675, 1999.

MAGDOFF, F. **Building soils for better crops: organic matter management**. Lincoln: University of Negraska Press, 1992. 433p.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de planta. São Paulo, **Agronômica Ceres**. 251p. 1980.

MARCOLAN, A.L.; LOCATELLI, M.; FERNANDES, S.R. **Densidade e resistência à penetração de um Latossolo pelo corte e trituração da capoeira, substiuindo a derruba e queima, no preparo da área para plantio direto**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33. 2009. Disponível em http://www.cpafrro.embrapa.br/solos_densidade.pdf (último acesso em 26/04/2010).

MARTINAZZO, R.; RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:563-570, 2007.

MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N.; VIEIRA, F.B.M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:2461-2470, 2008.

MENDONÇA, E. de S.; MATOS, E. da S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107p.

MIELNICZUK, J. **Potássio no solo**. Instituto da Potassa – Fosfato (EUA) e Instituto Internacional da Potassa (Suíça). Boletim Técnico, 2. 1978. 80p.

MITCHELL, J.; GASKELL, M.; SMITH, R.; FOUICHE, C.; KOIKE, S.T. **Soil management and soil quality for organic crops**. The Organic Vegetable Production in California Series. 2000. 5p

MOLIN, J.P.; CASTRO, C.N. de. **Agricultura de precisão: condutividade elétrica**. 2006 4p. Disponível em <http://www.ler.esalq.usp.br/download/Artigos%20Tecnicos/AT%202006.03.pdf> (último acesso em 20/05/2010).

MOLTOCARO, R.C.R. **Aproveitamento do fosfato natural pelo arroz em condições de casa-de-vegetação**. Dissertação de Mestrado. Campinas: Instituto Agrônomo. 65p. 2007.

MORAES, L.F.D. de; CAMPELO, E.F.C.; CORREIA, M.E.F.; PEREIRA, M.G. Biomassa microbiana em áreas em processo de recuperação na Reserva Biológica de Poço das Antas, RJ. **Revista Caatinga**, 20(1):54-63, 2007.

NAKAGI, V. de S. **Caracterização da atividade da fosfatase ácida de *Penicillium implicatum***. Dissertação de Mestrado. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP. 2007. 38p.

OLIVEIRA, I.P. de O.; THUNG, M.D.; SOUZA, C.M.R. de; SANTOS, R.M. dos. Atividade da fosfatase ácida no feijoeiro e sua correlação com parâmetros de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 29(2): 43-49, 1999.

OLSEN, S.R; COLE, C.V.; WATANABE, F.S.; DEAN, L.A. **Estimation of available phosphorus in soils extraction with sodium bicarbonate**. Washington: USDA, 1954. 19p. (Circular, 939).

PARRY, M.M.; KATO, M. do S.A.; CARVALHO, J.G. de; VIELHAUER, K. Estado nutricional e produção do milho cultivado em diferentes épocas sob cobertura morta e duas adubações. **Revista de Ciências Agrárias**. Belém, n. 47, p. 113-135. 2007.

PEREZ, K.S.S.; RAMOS, M.L.G.; MCMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 40(2):137-144, 2005.

PES, L.Z.; AMADO, T.J.C.; LEMAINSKI, C.L.; BELLÉ, G.L.; PIZZUTI, L.; DELLAMÉA, R.B.C.; SCHENATO, R.B. Acumulação de carbono orgânico sob diferentes sistemas de manejo e sua relação com a CTC. **In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2006. Disponível em http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/CBCS_RECIFE/MANEJO%20E%20CONSERVA%20c7

[%c3O%20DO%20SOLO%20E%20DA%20%clGUA/pdf/Luciano%20Zucuni%20Pes.pdf](#)

(último acesso em 27/04/2010).

PFENNING, L.; EDUARDO, B.P.; CERRI, C.C. Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 16:31-37, 1992.

PORTES, T.A. Ecofisiologia. In: Zimmermann, M.J.O.; Rocha, M.; Yamada, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Potafós, Piracicaba, SP. 598p. 1988.

RAIJ, B.V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato. Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

RANGEL-VASCONCELOS, L.G.T.; KATO, O.R.; BRANCHER, T.; NASCIMENTO, E.P. Estoque de carbono e diversidade florística de vegetação de pousio em áreas submetidas aos sistemas de corte-e-queima e corte-e-trituração em Marapanim, Nordeste Paraense. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 9(2):2558-2561. 2009.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; BAYER, C. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ci. Rural**, 34:1279-1287, 2004.

ROSA, J.R.; LANNA, A.C.; FERRAZ, D.M.M.; GODOY, S.G. de; RABELO, V.C.; MOURÃO, V.C.; PALMA, F.R.; GUARDIOLA, M.F.; RAMOS, M.L.G.; HEINEMANN, A.B.; MOREIRA, J.A.A.; DIDONET, A.D. Nitrogênio da biomassa microbiana no solo sob cultivo orgânico do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 8. 2005, Goiânia. **Anais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. p.1030-1033. (Documentos, 182).

ROTH, G.W.; BEEGLE, D.B. & BOHN, P.J. Field evaluation of a presidress soil nitrate test and quick test for corn in Pennsylvania. **J. Produc. Agric.**, 5:476-481, 1992.

SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J.; RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. **The Role of Phosphorus in Agriculture**. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, EUA. p.263-310. 1980.

SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. New York, Wiley, 1976. 619p.

SANCHEZ, P.A.; PLAM, C.A.; SZOTT, L.T.; CUEVAS, E.; LAL, R. Organic input management on tropical agroecosystems. In: Coleman, D.C.; Oades, J.M. Uehara, G. (eds.) **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**, NifTAL Project, University of Hawaii, Honolulu, HI, p.125-152. 1989.

SCHWARTZ, S.; KAFKAFI, U. Mg, Ca, and K status of silage corn and wheat at periodic stages of growth in the fields. **Agronomic Journal**, 70:227-231. 1978.

SEIFFERT, N.F.; THIAGO, L.R.L. **Legumineira: cultura forrageira para produção de proteína**. Circular Técnica, 13. Campo Grande: Embrapa Gado de Leite. 1983. Disponível em <http://www.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/ct/ct13/02guandu.html> (último acesso em 10/12/2006).

SIKORA, L.J. ; STOTT, D.E. Soil organic carbon and nitrogen. In: Doran, J.W.; JONES, A.J. (eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.157-168.

SILVA, A.C.; TORRADO, P.V.; ABREU JUNIOR, J. de S. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **Revista Um. Alfenas**, 5:21-26. 1999.

SILVA, G.R. DA; SILVA JÚNIOR, M.L. DA; MELO, V.S. de. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um Latossolo Amarelo do Estado do Pará. **Acta Amazônica**, 36(2): 151-158. 2006.

SILVEIRA, A. de O. **Atividades enzimáticas como indicadores biológicos da qualidade de solos agrícolas do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 2007. 94p.

SILVEIRA, R.B.; MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, 12(1): 48-55, 2006.

SIMS, J.T.; VASILAS, B.L.; GARTLEY, K.L.; MILIKEN, B.; GREEN, V. Evaluation of soil and plant nitrogen tests for maize on manured soils of the Atlantic coastal plain. **Agron. J.**, 87:213-222, 1995.

SIX, J.; OGLE, S.M.; BREIDT, F.J.; CONANT, R.T.; MOSIER, A.R.; PAUSTIAN, K. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. **Global Change Biology**, 10:155-160, 2004.

SOCO. **Perda de matéria orgânica**. Agricultura Sustentável e Conservação dos Solos (SOCO). Ficha informativa nº 3: Perda de matéria orgânica. 2009. Disponível em <http://soco.jrc.ec.europa.eu> (último acesso 27/04/2010).

SOMMER, R.; VELK, P.L.G.; SÁ, T.D. de A.; COELHO, R.F.R.; FOLSTER, H. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon – evidence for sub-soil nutrient accumulation. **Nutrient Cycle in Agroecosystems**, 68:257-271, 2004.

SOUZA, Z.M. de; BEUTLER, A.N.; PRADO, R. de M.; BENTO, M.J.C.B. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Científica**, 34(1):31-38, 2006.

SPADOTTO, C.A.; GOMES, M.A.F.; LUCHINI, L.C.; ANDRÉA, M.M. de. **Monitoramento do risco ambiental de agrotóxico: princípios e recomendações**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 29p. 2004. (Documentos, 42). Disponível em http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_42.pdf (último acesso em 06/06/2009).

SPARLING, G.P.; SCHIPPER, L.A. Soil quality at a national scale in New Zealand. **Journal of Environmental Quality**, 31(6):1848-1858. 2002.

SPEIR, T.W.; ROSS, D.J. Soil phosphatase and sulphatase. In: Burns R.G. (Ed.), **Soil Enzymes**. p.197-250, Academic Press, London, UK, 1978. 380p,

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, 114(3/4):143-144, 2003.

STAUFFER, M.D.; SULEWSKI, G. Fósforo: essencial para a vida. In: Yamada, T.; Adballa, S.R.S. Simpósio sobre fósforo na agricultura Brasileira. São Pedro. Anais. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Postafos. p. 1-11. 2004.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil and Plant Science**, v. 49, p. 1-24, 1999.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P.J. (eds.) **Methods of soil analysis: microbial and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. Part 2, p.778-835. (Special Publication, 5).

TARAFDARD, J.C.; ROY, A.B.; MANDALAK, G. Enzyme status of some jute-growing soils of West Bengal. **Australian Journal of Soil**, 2:181-84. 1981.

THEODORO, V.C. de A.; ALVARENGA, M.I.N.; GUIMARÃES, R.J.; MOURÃO JÚNIOR, M. Carbono da biomassa microbiana e micorriza em solo sob mata nativa e agroecossistemas cafeeiros. **Acta Scientiarum: Agronomy**, 25(1):147-153, 2003.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: Alvarez, V. H; Schaefer, C. E. G. R; Barros, N. F.; Mello, J. W. V.; Costa, L. M. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2. p. 195-276. 2002.

TRINDADE, E.F. da S. ; RODRIGUES, T.E. ; CARVALHO, E.J.M. Matéria orgânica e atributos físicos de um Argilossolo Amarelo Distrófico no Nordeste Paraense. **Amazônia : Ci. & Desenv.**, 5(9):187-198. 2009.

USDA. **Soil quality indicators: total organic carbon**. USDA Natural Resources Conservation Service. 2p. 2009. Disponível em http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/toc_sq_biological_indicator_sheet.pdf (último acesso 06/07/2010).

USHIO, M.R.; WAGAI, R.; BALSER, T.C.; KITAYAMA, K. Variations in the soil microbial community composition of tropical montane forest ecosystem: Does tree species matter? **Soil Biol. Biochem.**, 40(10):2699-2702. 2008.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, 19:703-707, 1987.

VASCONCELLOS, C.A.; CAMPOLINA, D.C.A.; SANTOS, F.G.; EXEL PITTA, G.V.; MARRIEL, I.E. Resposta da soja e da biomassa de carbono do solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:69-77, 1999.

VASCONCELOS, S. **Análise de Componentes Principais (PCA)**. 17p. 2007. Disponível em <http://www.ic.uff.br/~aconci/PCA-ACP.pdf> (último acesso em 26/05/2010).

WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soils. **Biological Reviews**, v.67, p.321-358, 1992.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, 84(1):28-40, 2005.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo é um sistema aberto e extremamente complexo, e entendê-lo tem requerido bastante esforço de pesquisa. Os estudos com indicadores do *status* do solo ainda estão nos seus primórdios, principalmente em solos de sistemas agrícolas tropicais. Aparentemente se procura selecionar ou desenvolver indicadores que sejam de determinação simples e barata, e que sejam capazes de reagir ou responder às mais diversas mudanças pelo que passam os solos, sejam elas de ordem natural (devido ao clima e outros fenômenos físicos) ou de manejo (de cobertura e uso da terra, e melhoramento, manejo e recuperação de solos, por exemplo). E isso, muitas vezes, é um objetivo difícil de alcançar, o que leva à tentação de se desenvolver índices complexos que envolvem a combinação de vários indicadores, afastando-se da preocupação básica de tornar o processo - de entender o solo como um todo - simples e de fácil utilização.

O desafio se torna ainda maior quando se considera que as referidas mudanças geralmente não ocorrem sozinhas e muitas vezes interagem entre si. Por outro lado, a análise de alguns indicadores, principalmente os biológicos, ainda precisa ser aprimorada, de modo que os resultados obtidos reflitam, com mais precisão, os fenômenos que se pretende entender.

Dessa maneira, um programa de pesquisa com indicadores, primeiramente, deve procurar entender as bases dos atributos dos solos e sua reação às mudanças possíveis, em ambientes mais controlados ou em desenhos experimentais apropriados que envolvam poucos fatores. Partir logo para se estudar o comportamento de indicadores, no mundo real e em situações complexas, e com limitados conhecimentos básicos, pode diminuir as chances de avanços nessa área.

Neste estudo, tentou-se avaliar o comportamento de alguns indicadores biológicos e químicos sob condições de diferentes alternativas de recuperação da fertilidade de solo, que envolveram concomitantemente vários fatores cujo efeito sobre a maioria dos indicadores ainda não está plenamente estabelecido. Isso dificultou de alguma forma, a interpretação e análise das informações obtidas.

ANEXOS

ANEXO 1

DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO DISPONÍVEL

(Adaptação do método de Olsen et al. (1954))

1. REAGENTES

1.1. Reagente de extração (bicarbonato de sódio 0,5 N)

- a. Dissolver 42,0 g de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) em 1 L de H_2O destilada
- b. Ajustar o pH para 8,5 com hidróxido de sódio (NaOH) a 50 % ou 0,5 N de ácido clorídrico (HCl)
- c. Estocar a solução em um recipiente de polietileno; checar o pH sempre que utilizar a solução e ajustar se for preciso

1.2. Mistura de reagente

- a. Molibdato de amônio: 12 g / 250 mL de H_2O destilada
- b. Tartarato de potássio e antimônio: 0,2908 g em 500 mL de ácido sulfúrico 5N (ácido sulfúrico 5N: 148 mL de H_2SO_4 conc. em 500 mL de H_2O destilada)
- c. Misturar as duas soluções em um balão volumétrico de 2 L e aferir o volume com H_2O destilada. Estocar o reagente em um recipiente escuro e manter resfriado.

1.3. Reagente de cor

- a. Ácido ascórbico: 5,28g / 1 L da mistura de reagente
- Preparar logo antes de usar; utilizar em menos de 24 horas.

1.4. Solução padrão estoque (100 mg P L^{-1})

- a. Colocar 0,5 g de KH_2PO_4 (PM=136,09) em uma placa de petri de vidro
- b. Secar em estufa a $110 \text{ }^\circ\text{C}$ por no mínimo duas horas
- c. Deixar esfriar em dessecador com sílica azul e vácuo
- d. Encher um balão volumétrico de 1000 mL com aproximadamente 800 mL de H_2O destilada $<1 \mu\text{S} / \text{cm}$
- e. Pesar exatamente 0,4394 g de fosfato de potássio monobásico
- f. Transferir cuidadosamente para um balão com funil e piceta
- g. Completar o volume para 1000 mL
- h. Fechar o balão e agitar por inversão até dissolver completamente o sal
- i. Transferir para uma garrafa plástica, identificar com fita adesiva e congelar até o uso

1.5. Solução padrão de trabalho para fósforo

a. Pipetar 1, 2, 5, 10, 20 e 30 mL de 100 mg P L^{-1} da solução padrão (ver 1.4) em um balão volumétrico de 100 mL e aferir o volume com o reagente de extração (ver 1.1) para resultar 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, e 3.0 mg P mL^{-1} de solução de trabalho, respectivamente.

2. PROCEDIMENTO

2.1. Extração

- a. Pesar 0,5 g (ou 2,5 g) de solo para tubo de centrífuga com tampa rosca
- b. Adicionar 10 mL (ou 50 mL) de solução extratora (ver 1.1)
- c. Agitar por 30 minutos em agitador horizontal
- d. Filtrar imediatamente ou deixar em repouso por 16 horas
- e. Centrifugar a 5000 rpm por 5 minutos

2.2. Desenvolver a coloração

- a. Pipetar 5 mL do extrato (ver 2.1) em tubos de plástico
 - b. Adicionar 5 mL do reagente de cor (ver 1.3)
 - c. Adicionar 15 mL de H_2O estilada e deixar descansar por 15 min. para medir a intensidade da cor (%T) a 880 nm
- Caso a cor estiver muito forte, reduzir a alíquota de 5 mL para um volume menor e adicionar suficiente reagente de extração para elevar a alíquota ao volume de 5 mL. A coloração é estável para 24 horas.

3. CALIBRAÇÃO E PADRONIZAÇÃO

3.1. Desenvolver a coloração para padrão de fósforo

- a. Pipetar uma alíquota de 1 mL da solução padrão diluído (ver 1.5) em um balão volumétrico de 25 mL. Constituir o *branco* pipetando 1 mL do reagente de extração
 - b. Adicionar 5 mL do reagente de cor (ver 1.3) e agitar
 - c. Aferir o volume com H_2O destilada para 25 mL e agitar cuidadosamente
- Após 15 min de descanso, ler a transmitância a 880 nm

3.2. Curva de calibração

Em um gráfico de semi-log, plotar a porcentagem de transmitância (% T) na escala logarítmica versus solução mg P L^{-1} na escala linear. Construir uma tabela da curva de calibração mostrando a relação entre a % T e a concentração de P. Verificar dois pontos na curva de calibração para cada análise de P.

4. CÁLCULO

Os resultados são gerados como kg P ha^{-1} para 20 cm de profundidade do solo: $\text{kg P ha}^{-1} \text{ no solo} = \text{mg L}^{-1} \text{ na solução final} \times 250$. Esses cálculos referem-se às alíquotas de 5 mL de extração e devem ser ajustados para outras alíquotas. Para expressar os resultados na base solo-massa, utilizar a fórmula $\text{mg P kg}^{-1} \text{ no solo} = \text{mg P L}^{-1} \text{ na solução} \times 20$.

ANEXO 2

Quadro 1 - Análise de variância dos dados de produção de biomassa aérea seca de guandu entre fatores associados. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Fatores associados	1	2.462.670,77	2.462.670,77	12,58	0,012
Resíduo	6	1.175.000,45	195.833,41		
Total	7	3.637.671,22			

Quadro 2 – Análise de variância dos dados de produção de biomassa aérea seca de titônia, entre fatores associados. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Fatores associados	1	738,86	738,86	0,00697	0,936
Resíduo	6	636.141,71	106023,62		
Total	7	636.880,57			

Quadro3 – Análise de variância dos dados de produção de biomassa aérea seca entre plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado fosfato natural. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Plantas adubadoras	?1	1.756.652,34	1.756.652,34	9,823	0,020
Resíduo	6	1.072.972,53	178.828,76		
Total	7	2.829.624,87			

Quadro 4 – Análise de variância dos dados de produção de biomassa aérea seca entre plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado feijão-de-porco. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Plantas adubadoras	1	73.486,71	73.486,71	0,597	0,469
Resíduo	6	738.169,63	123.028,27		
Total	7	811.656,33			

Quadro 5 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio na folha de guandu entre fatores associados. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Fatores associados	1	17,99	17,99	3,92	0,095
Resíduo	6	27,56	4,59		
Total	7	45,55			

Quadro 6 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio na folha de titônia entre fatores associados. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Fatores associados	1	11,02	11,02	1,69	0,242
Resíduo	6	39,23	6,54		
Total	7	50,25			

Quadro 7 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio nas folhas entre as plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado fosfato natural. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Plantas adubadoras	1	4,95	4,95	2,24	0,185
Resíduo	6	13,26	2,21		
Total	7	18,20			

Quadro 8 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio nas folhas entre as plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado feijão-de-porco. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Plantas adubadoras	1	9,899	9,899	1,110	0,333
Resíduo	6	53,528	8,921		
Total	7	63,427			

Quadro 9 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio no lenho do guandu, entre fatores associados. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Fatores associados	1	0,07	0,07	0,12	0,744
Resíduo	6	3,53	0,59		
Total	7	3,60			

Quadro 10 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio no lenho de titônia, entre fatores associados. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Fatores associados	1	0,32	0,32	0,08	0,788
Resíduo	6	24,45	4,08		
Total	7	24,77			

Quadro 11 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio no lenho entre as plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado fosfato natural. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Plantas adubadoras	1	0,07	0,071	0,02	0,882
Resíduo	6	17,68	2,95		
Total	7	17,75			

Quadro 12 – Análise de variância dos dados de teor de nitrogênio no lenho entre as plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado feijão-de-porco. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Plantas adubadoras	1	11.193,31	11.193,31	0,299	0,604
Resíduo	6	224.575,37	37.429,23		
Total	7	235.768,68			

Quadro 13 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo na folha de guandu, entre fatores associados. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Fatores associados	1	685.796,29	685.796,29	8,45	0,027
Resíduo	6	487.161,42	81.193,57		
Total	7	1.172.957,71			

Quadro 14 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo na folha de titônia, entre fatores associados. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Fatores associados	1	5.814.025,18	5.814.025,18	10,30	0,018
Resíduo	6	3.387.596,64	564.599,44		
Total	7	9.201.621,82			

Quadro 15 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo nas folhas entre plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado fosfato natural. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Plantas adubadoras	1	9.308.102,57	9.308.102,57	47,534	0,001
Resíduo	6	1.174.917,35	195.819,56		
Total	7	10.483.019,92			

Quadro 16 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo nas folhas entre plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado feijão-de-porco. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Plantas adubadoras	1	2.154.488,28	2.154.488,28	4,79	0,071
Resíduo	6	2.699.840,72	449.973,45		
Total	7	4.854.329,00			

Quadro 17 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo no lenho do guandu, entre fatores associados. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Fatores associados	1	191.275,44	191.275,44	2,85	0,142
Resíduo	6	403.052,42	67.175,40		
Total	7	594.327,86			

Quadro 18 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo no lenho de titônia, entre fatores associados. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Fatores associados	1	294.497,03	294.497,03	11,46	0,015
Resíduo	6	154.208,00	25.701,33		
Total	7	448.705,03			

Quadro 19 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo no lenho entre plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado fosfato natural. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Plantas adubadoras	1	0,22	0,22	0,00000404	0,998
Resíduo	6	332.685,06	55.447,51		
Total	7	332.685,28			

Quadro 20 – Análise de variância dos dados de teor de fósforo no lenho entre plantas adubadoras, guandu e titônia, com fator associado feijão-de-porco. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Plantas adubadoras	1	11.193,31	11.193,31	0,299	0,604
Resíduo	6	224.575,37	37.429,23		
Total	7	235.768,68			

Quadro 21 – Análise de variância dos dados de altura de plantas de mandioca. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	7	1.276,00	182,29	0,363	0,915
Resíduo	24	12.044,31	501,85		
Total	31	13.320,31			

Quadro 22 – Análise de variância dos dados de estande de plantas de mandioca. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	7	3.294,00	470,57	2,353	0,056
Resíduo	24	4.800,00	200,00		
Total	31	8.094,00			

Quadro 23 – Análise de variância dos dados de produção de lenho de mandioca, na base úmida e seca. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Base úmida					
Tratamentos	7	34,97	4,996	4,918	<0,001
Resíduo	24	24,38	1,016		
Total	31	59,35			
Base seca					
Tratamentos	7	3,65	0,522	5,389	<0,001
Resíduo	24	2,33	0,0969		
Total	31	5,98			

Quadro 24 – Análise de variância dos dados de produção de raiz de mandioca, na base úmida e seca. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Base úmida					
Tratamentos	7	265,61	37,94	10,26	<0,001
Resíduo	24	88,75	3,69		
Total	31	354,36			
Base seca					
Tratamentos	7	38,66	5,52	8,21	<0,001
Resíduo	24	16,15	0,63		
Total	31	54,81			

Quadro 25 – Análise de variância dos dados de altura das plantas de milho. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	7	2.960,52	422,93	1,28	0,304
Resíduo	24	7.958,41	331,60		
Total	31	10.918,92			

Quadro 26 – Análise de variância dos dados de produção de lenho de milho, na base úmida e seca. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Base úmida					
Tratamentos	7	189.742.572.358	27.106.081.765	15.965	<0,001
Resíduo	24	40.747.042.417	1.697.793.434		
Total	31	230.489.614.774			
Base seca					
Tratamentos	7	104.666.748.140	14.952.392.591	7.083	<0,001
Resíduo	24	50.665.220.592	2.111.050.858		
Total	31	155.331.968.732			

Quadro 27 – Análise de variância dos dados de produção de sabugo de milho, na base úmida e seca. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Base úmida					
Tratamentos	7	7.284.500.905	1.040.642.986	28.177	<0,001
Resíduo	24	886.373.920	36.932.247		
Total	31	8.170.874.824			
Base seca					
Tratamentos	7	6.225.308.912	889.329.845	29.545	<0,001
Resíduo	24	722.414.909	30.100.621		
Total	31	6.947.723.821			

Quadro 28 – Análise de variância dos dados de produção de grão de milho, na base úmida e seca. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Base úmida					
Tratamentos	7	99.836.902.390	14.262.414.627	26.899	<0,001
Resíduo	24	12.725.498.185	530.229.091		
Total	31	112.562.400.575			
Base seca					
Tratamentos	7	90.265.393.257	12.895.056.180	27.104	<0,001
Resíduo	24	11.418.224.228	475.759.343		
Total	31	101.683.617.486			

Quadro 29 – Análise de variância dos dados de fertilidade do solo ao final do experimento. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
pH					
Tratamentos	8	1,135	0,142	1,611	0,168
Resíduo	27	2,379	0,0881		
Total	35	3,514			
Matéria orgânica					
Tratamentos	8	3788,004	473,501	6,219	<0,001
Resíduo	27	2055,816	76,141		
Total	35	5843,820			
Fósforo disponível					
Tratamentos	8	0,240	0,0300	4,918	<0,001
Resíduo	27	0,165	0,00611		
Total	35	0,405			
Potássio total					
Tratamentos	8	1638,519	204,815	1,719	0,139
Resíduo	27	3217,609	119,171		
Total	35	4856,127			
Sódio total					
Tratamentos	8	8480,577	1060,072	9,175	<0,001
Resíduo	27	3119,675	115,544		
Total	35	11600,252			

Quadro 30 – Análise de variância dos dados do carbono da biomassa microbiana do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	20.318,175	2.539,772	2,483	0,016
Amostragens	3	110.363,957	36.787,986	35,961	0,001
Tratamentos x amostragens	24	42.484,297	1.770,179	1,730	0,03
Resíduo	108	110.483,045	1.022,991		
Total	143	283.649,474			

Quadro 31 – Análise de variância dos dados do nitrogênio da biomassa microbiana do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	6.695,46	836,929	2,294	0,026
Amostragens	3	27.414,348	9.138,116	25,048	0,001
Tratamentos x amostragens	24	53.067,618	2.211,151	6,061	0,001
Resíduo	108	39.401,408	364,828		
Total	143	126.578,809			

Quadro 32 – Análise de variância dos dados de fosfatase ácida do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	372.121,615	46.515,202	8,555	<0,0000
Amostragens	3	2.072.882,008	690.960,669	127,080	<0,0000
Tratamentos x amostragens	24	197.614,101	8.233,921	1,514	0,0781
Resíduo	108	587.216,828	5.437,193		
Total	143	3.229.834,552			

Quadro 33 – Análise de variância dos dados de matéria orgânica do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	2.271,387	283,923	2,816	0,0071
Amostragens	3	1.147,000	382,333	3,792	0,0125
Tratamentos x amostragens	24	4.214,686	175,612	1,742	0,0289
Resíduo	108	10.888,988	100,824		
Total	143	18.522,061			

Quadro 34 – Análise de variância dos dados de fósforo total do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	5.070,201	633,775	3,829	0,0005
Amostragens	3	6.695,826	2.231,942	13,483	<0,0000
Tratamentos x amostragens	24	14.766,213	615,259	3,717	<0,0000
Resíduo	108	17.878,252	165,539		
Total	143	44.410,492			

Quadro 35 – Análise de variância dos dados de fósforo disponível do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	0,410	0,051	12,518	<0,0000
Amostragens	3	0,139	0,046	11,287	<0,0000
Tratamentos x amostragens	24	0,228	0,010	2,325	0,0017
Resíduo	108	0,442	0,004		
Total	143	1,218			

Quadro 36 – Análise de variância dos dados de fósforo orgânico do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	20.958,317	2.619,790	11,015	<0,0000
Amostragens	3	15.351,091	5.117,030	21,514	<0,0000
Tratamentos x amostragens	24	20.943,841	872,660	3,669	<0,0000
Resíduo	108	25.687,676	237,849		
Total	143	82.940,925			

Quadro 37 – Análise de variância dos dados de nitrogênio orgânico do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	1,035	0,129	4,689	0,0001
Amostragens	3	1,153	0,384	13,933	<0,0000
Tratamentos x amostragens	24	1,561	0,065	2,358	0,0015
Resíduo	108	2,980	0,028		
Total	143	6,729			

Quadro 38 – Análise de variância dos dados de nitrato do solo Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	10,440	1,305	1,847	0,0760
Amostragens	3	152,307	50,769	71,869	<0,0000
Tratamentos x amostragens	24	36,659	1,527	2,162	0,0039
Resíduo	108	76,292	0,706		
Total	143	275,698			

Quadro 39 – Análise de variância dos dados de amônio do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	34,472	4,309	2,450	0,0178
Amostragens	3	344,619	114,873	65,322	<0,0000
Tratamentos x amostragens	24	109,514	4,563	2,595	0,0004
Resíduo	108	189,924	1,759		
Total	143	678,529			

Quadro 40 – Análise de variância dos dados de carbono orgânico do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	105,974	13,247	5,910	<0,001
Amostragens	3	78,248	26,083	11,637	<0,001
Tratamentos x amostragens	24	191,825	7,993	3,566	<0,001
Resíduo	108	242,076	2,241		
Total	143	618,123			

Quadro 41 – Análise de variância dos dados de potássio total do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	2.838,531	354,816	2,392	0,0205
Amostragens	3	60.936,722	20.312,241	136,942	<0,0000
Tratamentos x amostragens	24	7.086,140	295,256	1,991	0,0090
Resíduo	108	16.019,380	148,328		
Total	143	86.880,773			

Quadro 42 – Análise de variância dos dados de sódio total do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	150.160,517	18.770,065	28,845	<0,0000
Amostragens	3	78.715,187	26.238,396	40,322	<0,0000
Tratamentos x amostragens	24	259.367,573	10.806,982	16,608	<0,0000
Resíduo	108	70.277,480	650,717		
Total	143	558.520,758			

Quadro 43 – Análise de variância dos dados de condutividade elétrica do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	13.681,961	1.710,245	3,297	0,0021
Amostragens	3	118.350,985	39.450,328	76,042	<0,0000
Tratamentos x amostragens	24	59.576,214	2.482,342	4,785	<0,0000
Resíduo	108	56.029,735	518,794		
Total	143	247.638,895			

Quadro 44 – Análise de variância dos dados de pH do solo. Marapanim-PA.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	P
Tratamentos	8	2,753	0,344	3,041	0,0040
Amostragens	3	2,520	0,840	7,422	0,0001
Tratamentos x amostragens	24	2,681	0,112	0,987	0,4890
Resíduo	108	12,224	0,113		
Total	143	20,178			