



UFSM

Dissertação de Mestrado

**TECNOLOGIA MECANIZADA EM PREPARO DE ÁREA SEM
QUEIMA NO NORDESTE PARAENSE**

Clóvis Moisés Priebe Bervald

PPGEA

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**TECNOLOGIA MECANIZADA EM PREPARO DE ÁREA SEM
QUEIMA NO NORDESTE PARAENSE**

por

Clóvis Moisés Priebe Berval

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

PPGEA

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**TECNOLOGIA MECANIZADA EM PREPARO DE ÁREA SEM
QUEIMA NO NORDESTE PARAENSE**

elaborada por
Clóvis Moisés Priebe Bervald

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

**José Miguel Reichert, PhD.
(Presidente/Orientador)**

Oswaldo Ryohei Kato, Dr. (EMBRAPA)

Mauro Valdir Schumacher, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 17 de fevereiro de 2005

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, senhora Brunilda Priebe Bervalde e senhor Guido Bervalde, responsáveis pela minha estruturação e formação moral, fundamental ao ser humano.

AGRADECIMENTOS

Até meados de abril de 2001, apenas havia ouvido falar de Amazônia, mas nunca havia me perguntado como seria realmente esse complexo sistema, que ocupa quase 2/3 do território do nosso país.

Agradeço às pessoas que participaram da construção do conhecimento parcial, mas de fundamental importância, adquirido nesses últimos anos.

Lembro-me do princípio, quando fui convidado pelo professor e acima de tudo amigo Alfredo Mendes D'Ávila, através de uma solicitação do Dr. Sergio Martins, a participar da Avaliação e Aperfeiçoamento do "Tritucap Protótipo I" na Amazônia Oriental, quando ainda estagiário, graduando da Faculdade de Engenharia Agrícola da UFPEL.

Meus agradecimentos sinceros aos amigos, acima de tudo, pesquisadores da Embrapa Amazonia Oriental, Tatiana de Sá e Maria do Socorro Kato, pelo incentivo e também pelas brincadeiras, conhecidas de todos que nasceram no RS. Em especial ao Dr. Osvaldo Kato, amigo, quem sempre me incentivou a seguir o aperfeiçoamento na área de pesquisa.

Agradeço em especial ao amigo, Dr. Andreas Block (Herr Block), do Instituto de Engenharia Agrícola da Universidade de Göttingen, com quem adquiri os conhecimentos fundamentais para prosseguir no trabalho em mecanização alternativa na Amazônia Oriental.

Ao Dr. Konrad Vielhauer e Manfred Denich (Zentrum Entwicklung Forschung), que acreditaram na minha capacidade, no breve treinamento concedido pelo Instituto de Engenharia Agrícola da GWVG e pela Empresa AHWI GmbH, na Alemanha. Com certeza, foi de suma importância na construção do conhecimento como pesquisador e profissional.

A AHWI do Brasil, em nome da Dr. Bethina Stemann e Alouis Philip, pelo suporte financeiro e por propiciar a acolhida na empresa Matriz na Alemanha.

Ao Laboratorista, Raimundo Cláudio Mendes de Souza (Mendes), com quem pude dar os primeiros passos em física do solo. Aos demais colegas do Projeto Tipitamba, Marcelo, Ednaldo, Carol, Luiz Gonzaga Nazaré Oliveira de Aviz (Gonzaga), Edílson Barreto da Silva (Malá) pelo convívio sempre harmonioso. Ao Técnico mecânico, Paulo Edson Cardoso Negrão.

Ao professor José Miguel Reichert, pela orientação, incentivo, sobretudo por acreditar no desenvolvimento do trabalho e ao professor Dalvan Reinert pelos esclarecimentos nas análises efetuadas. Ao professor Mauro Valdir Schumacher e José Fernando Schlosser pela co-orientação e auxílio em momentos duvidosos da pesquisa.

A André Anibal Brandt e Dinorvan Rozin, amigos e colegas do Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFSM, e as pessoas de convívio dos Laboratórios de Física dos Solos e Ecologia Florestal do CCR-UFSM, e a todas as pessoas do convívio no projeto SHIFT na Amazonia Oriental.

Finalizando ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudos, sem a qual não seria possível realizar o trabalho, e à Universidade Federal de Santa Maria por me acolher durante esse período importante para minha vida.

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO GERAL	1
2.0	PROBLEMA	2
2.1	HIPÓTESES	2
2.2	OBJETIVOS	3
2.2.1	OBJETIVO GERAL.....	3
2.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3.0	REVISÃO DE LITERATURA GERAL	4
3.1	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA AMAZÔNIA ORIENTAL.....	4
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA MESOREGIÃO NORDESTE PARAENSE E ZONA BRAGANTINA	4
3.3	IMPORTÂNCIA DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA (CAPOEIRA) PARA AGRICULTURA FAMILIAR.....	6
3.4	MÉTODO TRADICIONAL DE PREPARO AGRÍCOLA DE CULTIVO E POUSSO UTILIZADO NA AGRICULTURA DA AMAZONIA ORIENTAL.....	8
3.5	A QUEIMADA E IMPLICAÇÕES NA DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES	9
3.6	MÉTODOS ALTERNATIVOS DE PREPARO DE ÁREA	12
3.7	UTILIZAÇÃO DE MAQUINÁRIO ALTERNATIVO PARA TRITURAÇÃO DA CAPOEIRA (TRITUCAP).....	14
3.8	SOLO DA AMAZÔNIA ORIENTAL BRASILEIRA E ZONA BRAGANTINA E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS	16
4.0	CAPÍTULO I	18
	PREPARO MECANIZADO ALTERNATIVO SOB FORMA DE PLANTIO DIRETO NA CAPOEIRA NA DECOMPOSIÇÃO DO MATERIAL VEGETAL EM LATOSSOLO AMARELO NO NORDESTE PARAENSE	18
4.1	RESUMO.....	18
4.2	INTRODUÇÃO	20
4.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.4.1	CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL UTILIZADO	33
4.4.2	CLASSES QUALITATIVAS DE MATERIAL TRITURADO.....	35
4.4.3	DECRÉSCIMO DA QUANTIDADE DE MATERIAL AO LONGO DO TEMPO	37
4.4.4	NUTRIENTES ACUMULADOS NO MATERIAL VEGETAL TRITURADO	40

4.4.5	QUANTIDADES DE NUTRIENTES ACUMULADOS NO MATERIAL VEGETAL TRITURADO.....	42
4.4.6	PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO.....	50
4.4.7	PRODUTIVIDADE DE MANDIOCA.....	54
4.5	CONCLUSÕES.....	55
5.0	CAPÍTULO II.....	56
	EFEITO DOS SISTEMAS DE PREPARO TRADICIONAL, TRADICIONAL MECANIZADO E MECANIZADO ALTERNATIVO NA FORMA DE PLANTIO DIRETO NA CAPOEIRA NOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DE DUAS ÁREAS AGRÍCOLAS DE UM LATOSSOLO AMARELO NO NORDESTE PARAENSE.....	56
5.1	RESUMO.....	56
5.2	INTRODUÇÃO.....	57
5.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	59
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
5.4.1	ÁREA DO ESTUDO 1.....	63
5.4.1.1	TEXTURA DO SOLO.....	63
5.4.1.2	DENSIDADE E POROSIDADE DO SOLO.....	64
5.4.1.3	CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO E DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE POROS.....	66
5.4.2	ÁREA DO ESTUDO 2.....	70
5.4.2.1	TEXTURA DO SOLO.....	70
5.4.2.2	ANÁLISE DE AGREGADOS A SECO.....	72
5.4.2.3	PRESSÃO DE CONTATO EXERCIDO PELAS MÁQUINAS, PRESSÃO DE PRÉ CONSOLIDAÇÃO E ÍNCIDE DE COMPRESSÃO.....	73
5.4.2.4	DENSIDADE E POROSIDADE DO SOLO.....	74
5.4.2.5	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO.....	77
5.4.2.6	CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO.....	80
5.5	CONCLUSÕES.....	83
6.0	CONCLUSÃO GERAL.....	84
7.0	RECOMENDAÇÕES.....	85
8.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
9.0	ANEXOS.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores estimados para os parâmetros k_a , A e $(100-A)$ do modelo matemático de Wieder adotado para caracterização da decomposição do material oriundo de dois sistemas de trituração, utilizado em cobertura morta em lavoura de mandioca.....	37
Tabela 2 – Quantidade de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e relação carbono-nitrogênio para a biomassa de capoeira.....	40
Tabela 3 – Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na biomassa de capoeira.....	41
Tabela 4 – Produtividade, altura, e biomassa acima do solo para área cultivada com mandioca utilizando dois sistemas alternativos de preparo.	54
Tabela 5 – Densidade e porosidades do solo submetido a dois processos de trituração, cultivado com mandioca, ao sexto mês de cultivo, e capoeira de 4 anos de idade.	65
Tabela 6 – Diâmetro médio geométrico (DMG), de um latossolo amarelo textura média, submetido a 3 métodos de preparo, e vegetação secundária original.....	72
Tabela 7 – Pressão de contato exercida pelos conjuntos mecanizados do estudo...	73
Tabela 8 – Pressão de pré-consolidação (σ_p) e índice de compressão (C_c), para um latossolo amarelo textura média, submetido a 3 métodos de preparo, e vegetação secundária original, em duas épocas.....	74
Tabela 9 – Microporosidade, macroporosidade porosidade total e densidade, de um latossolo amarelo textura média, submetido a 3 métodos de preparo, e vegetação secundária original.	76
Tabela 10 – Parâmetros referentes a equação de Van Genuchten (1980), para os sistemas de preparo mecanizados sob forma de plantio direto, cultivado com mandioca, ao sexto mês de cultivo, e capoeira de 4 anos de idade.	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município de Igarapé-Açu, na região na Zona Bragantina (Diekmann, 1997).....	6
Figura 2 – Fatores que determinam a vitalidade da vegetação (Adaptado de Denich, 1998).....	7
Figura 3 – Modelo do decréscimo do estoque de nutrientes (Adaptado de Juo & Manu, 1996).....	10
Figura 4 – Modelo de decréscimo da produtividade da áreas (Vielhauer, 1998).....	11
Figura 5 – Tritucap- Protótipo de triturador de capoeira, com respectivas especificações. (a) conjunto trator e triturador, (b) mecanismos trituradores, (c) mecanismos em detalhe e (d) martelos.	15
Figura 6 – Distribuição média de chuvas para 10 anos (1994-2003).....	24
Figura 7 – Tritucap- Protótipo II de triturador de capoeira, com respectivas especificações. (a) trator+(Tritucap II), (b) mecanismos trituradores.	25
Figura 8 – FM 600 – Frezador de mata Universal FM 600 (Passo 1 e Passo 2). (a) trator+(Frezador horizontal), (b) operação de corte da vegetação, (c) retrituração (passo 2).	26
Figura 9 – Seqüência de classificação do material triturado pelo frezador horizontal e pelo triturador duplo vertical.	27
Figura 10 – Aspecto do material triturado pelo sistema horizontal e sistema vertical de rotor duplo.	29
Figura 11 – Aspecto do material triturado pelos sistemas trituradores a partir da vegetação secundária.	33
Figura 12 – Tamanho médio de material triturado em percentagem, utilizando rotor vertical duplo (Tritucap II) e rotor horizontal (FM 600).....	34
Figura 13– Volume médio dos fragmentos de material triturado, utilizando sistema horizontal (1600 rpm no rotor) e rotor vertical duplo (1000 rpm junto às facas helicoidais).	35
Figura 14 – Volume médio do material triturado pelo sistema triturador horizontal...36	
Figura 15 – Comportamento do material ao longo do tempo (curvas de regressão) de material triturado por dois sistemas trituradores expostos a decomposição em lavoura de mandioca.	39

Figura 16 – Quantidades de nitrogênio (a , b), fósforo (c, d) e potássio (e, f), remanescentes durante o processo de decomposição de material triturado no cultivo da mandioca.....	45
Figura 17 – Quantidades de cálcio (a, b), magnésio (c, d) e relação C/N (e, f), remanescentes durante o processo de decomposição do material triturado no cultivo da mandioca.....	46
Figura 18 – Teores de nitrogênio (a), fósforo (b) e potássio (c), cálcio (d), magnésio (e) perdidos durante o processo de decomposição de material triturado no cultivo da mandioca e relação C/N (f).....	49
Figura 19 – Nutrientes do solo, analisados em duas etapas: trituração (abril 2003) e décimo mês de cultivo (fevereiro de 2004), matéria orgânica (a, b), fósforo (b, c), potássio (e, f).....	52
Figura 20 – Nutrientes do solo, analisados em duas etapas: trituração (abril 2003) e décimo mês de cultivo (fevereiro de 2004), cálcio (a, b) e magnésio (c, d) e saturação por bases (e, f).....	53
Figura 21 – Análise granulométrica para os quatro métodos de preparo de área.....	63
Figura 22 – Curvas de retenção de água no solo para os diferentes tratamentos nas profundidades de (a) 0-0,05; (b) 0,05-0,1; (c) 0,1-0,2; (d) 0,2-0,3 e (e) 0,3-0,5 m em lavoura de mandioca no sexto mês de cultivo.....	68
Figura 23 – Distribuição do tamanho de poros para área de estudo 1, dois sistemas alternativos de preparo e capoeira original, para as profundidades de (a) 0-0,05 m; (b) 0,05-0,1 m; (c) 0,1-0,2 m; (d) 0,2-0,3 m e (e) 0,3-0,5 m, em lavoura de mandioca no sexto mês de cultivo. Letras diferentes para cada classe de poros indicam diferença entre os tratamentos pelo teste de DMS a 5 % de probabilidade.....	69
Figura 24 – Análise granulométrica para os quatro métodos de preparo de área.....	71
Figura 25 – Valores de resistência a penetração em função da umidade do solo para duas profundidades. (a) e (b) relação 1:1 da resistência à penetração observada versus a estimada com modelo não linear.....	78
Figura 26 – Resistência à penetração para três métodos de preparo e vegetação secundária em três épocas (a) resistência a penetração para época 1, (b) umidade do solo para época 1, (c) resistência a penetração para época 2, (d) umidade do solo para época 2, (e) resistência a penetração para época 3 e (e) umidade do solo para época 3.....	79

Figura 27 – Curvas de retenção de água no solo para os diferentes tratamentos nas profundidades de (a) 0-0,1 m, (b) 0,1-0,2 m, (c) 0,2-0,3 m, (d) 0,3-0,4 m e (e) 0,4-0,5 m 2 semanas após preparo. As barras verticais indicam o valor de DMS a 5% de significância.....	80
Figura 28 – Volume médio dos fragmentos de material triturado, utilizando rotor vertical duplo (Tritucap II). Qualidade de trituração.....	96
Figura 29 – Volume médio dos fragmentos de material triturado, utilizando sistema horizontal (1000 rpm no rotor). Qualidade de trituração.....	96

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Volume médio do material triturado, classificado em 4 classes quantitativas e 5 classes qualitativas, obtido através de dois sistemas trituradores.	96
Anexo 2 – Detalhe da área de mandioca (a), preparada pelos dois sistemas alternativos de trituração (Estudo 1) e respectivos sacos de decomposição (Bags), sob o mulch resultante da trituração (b, c).	97
Anexo 3 – Mensuração da espessura de deposição do material pós-trituração (a). Detalhe do preparo das amostras em laboratório: Moagem (b) e determinação de carbono (c).	98
Anexo 4 – Características químicas do solo, analisados em duas etapas: trituração (abril 2003) e décimo mês de cultivo (fevereiro de 2004), $pH_{(H_2O)}$ (a, b) e saturação por alumínio (c, d).	99
Anexo 5 – Detalhe do preparo de área do Estudo 2. Capoeira triturada e capoeira original de 10 anos de idade ao fundo (a); queima, destoca e posterior gradagem pesada (b) e trator com grade pesada com discos de 28" (c).	100
Anexo 6 – Detalhe da coleta de amostras nos tratamentos e determinação da resistência à penetração a campo (a, e) (Estudo 2). Aparelho de peneiramento a seco para determinação do DMG (b), determinação da densidade de partícula (c), Extratores de Richards para amostras preservadas submetidas a baixas pressões e amostras desestruturadas à pressão de 1500 kPa (Laboratório de Física do solo. Embrapa Amazônia Oriental) (d).	101
Anexo 7 – Perfil de solo do Estudo 2, localizado no município de Igarapé Açu, região Bragantina, Nordeste do estado do Pará.	102
Anexo 8 – Descrição morfológica do perfil do solo do Estudo 2, localizado no município de Igarapé Açu, região Bragantina, Nordeste do estado do Pará.	103
Anexo 9 – Parâmetros de ajuste da curva de retenção de água para área cultivada com mandioca (Estudo 1).	104
Anexo 10 – Parâmetros referentes a equação de van Genuchten (1980) de ajuste da curva de retenção de água para a área manejada utilizando-se três sistemas de preparo de área e capoeira de 10 anos de idade (Estudo 2).	105
Anexo 11 – Capacidade hídrica do solo, para a área manejada utilizando-se três sistemas de preparo de área e capoeira de 10 anos de idade (Estudo 2).	106

Anexo 12 – Erro padrão para escolha da equação de melhor ajuste, para os dados observados, no decorrer do período de 10 meses, em material triturado de capoeira.

..... 1

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
C/N	Relação carbono nitrogênio
CPATU	Centro de Pesquisa Agroflorestal do Trópico Úmido
CQ	Corte e queima
CQDG	Corte, queima, destoca e gradagem
CT	Corte e trituração
DMG	Diâmetro médio geométrico
FM 600	Frezador universal de mata, modelo com cilindro horizontal de 600 mm de diâmetro. (sistema horizontal)
FREZADOR UNIVERSAL, SH ou TH	Triturador Horizontal, sistema horizontal, triturador horizontal.
ka	Taxa constante de decomposição
kg	Quilograma.
kPa	Quilopascal.
kW	Quilowatt.
M.O	Matéria orgânica
Mg	Tonelada
Mg/L	ppm
MPa	Megapascal
RP	Resistência à penetração
SHIFT	Studies of Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics
TRITUCAP I	Triturador de capoeira protótipo 1.
TRITUCAP II SV ou TV	Triturador de capoeira protótipo 2, sistema vertical duplo, triturador vertical.
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

TECNOLOGIA MECANIZADA EM PREPARO DE ÁREA SEM QUEIMA NO NORDESTE PARAENSE

Autor: Clóvis Moisés Priebe Berval

Orientador: José Miguel Reichert

Santa Maria, 17 de fevereiro de 2005

A tecnologia denominada de plantio direto na capoeira utiliza-se da vegetação secundária que cresce espontaneamente das raízes e tocos remanescentes do processo tradicional de preparo de corte e queima dessa vegetação na região de estudo.

Dividiu-se o trabalho em dois estudos: um primeiro de avaliação do material triturado por dois sistemas de trituração da biomassa e um segundo, no qual foram avaliados: um sistema alternativo de trituração (CT) (sistema horizontal), sistema tradicional de corte e queima (CQ), sistema de corte queima destoca e gradagem (CQDG) e vegetação secundária remanescente em pousio para avaliação dos parâmetros físico-hídricos durante o processo de preparo.

No primeiro estudo foi avaliada a decomposição e liberação de nutrientes pelos dois processos trituradores. O material triturado foi classificado em quatro classes de tamanho em mm, ($T1=1<T<7$, $T2=7<T<25$, $T3=25<T<35$ e $T4=T>35$) e seis classes qualitativas sendo elas: com casca, parcialmente triturado, parcialmente desfiado, completamente desfiado, compacto e sem forma. Foi efetuada a análise de disponibilidade de nutrientes nas áreas preparadas por esses sistemas.

Observou-se maior liberação de nutrientes para os materiais de tamanho T1 e T2 durante os 10 meses iniciais, com quantidades máximas de nitrogênio de 25,26 kg ha⁻¹, 1,11 kg ha⁻¹ de fósforo, 1,8 kg ha⁻¹ de potássio, 39,3 kg ha⁻¹ de cálcio e 4,16 kg ha⁻¹ de magnésio, todos para o tamanho T2 utilizando no preparo o sistema vertical de trituração. Qualitativamente, a maior liberação de nutrientes foi observada para os materiais com resquíio de casca, com liberação máxima de 9,57 kg ha⁻¹ de N, 0,3

kg ha⁻¹ de P para material sem forma, com alto grau de desfibrilamento. Para esse material também foi observada a menor relação C/N 33,43 ao final do décimo mês. Valores máximos de liberação para K foram de 2,09 kg ha⁻¹, para Ca 12,38 kg ha⁻¹ e para Mg 1,44 kg ha⁻¹, obtidas no material com casca. O teor de MO aumentou para ambos os sistemas após 1 ano, assim como a disponibilidade de potássio para a camada de 0,05-0,1 m. O teor de fósforo apenas aumentou no preparo com o sistema vertical de trituração e a saturação de bases diminuiu na utilização do sistema horizontal de preparo

No segundo estudo avaliaram-se os parâmetros físicos do solo densidade, porosidade e curva de retenção de água do solo para área com sistemas alternativos com trituração da biomassa, e avaliaram-se as mesmas propriedades, além de outros parâmetros: pressão de preconsoidação, resistência à penetração (RP) e diâmetro médio geométrico de agregados a seco (DMG) para outra área. Para os parâmetros físicos do solo na área 1, a menor densidade do solo foi para o tratamento capoeira e a maior para o sistema de preparo com triturador vertical, caracterizando uma camada mais adensada entre os 0,2 e 0,3, m. A água disponível variou de 0,11 cm³ cm⁻³ para o sistema horizontal na camada superficial a 0,128 cm³ cm⁻³ na camada de 0,2-0,3 m. Na área 2 observaram-se diferenças no DMG, para o tratamento CQDG, na profundidade de 0,1-0,2 m. A pressão máxima para esse solo não foi excedida para a camada de 0-0,1 m, mas foi excedida para a camada de 0,1-0,2 m, variando os valores de 52,57 a 86,10 kPa. A densidade do solo foi maior para a capoeira dentre todos os tratamentos, e menor para CQDG, aumentando no decorrer do período analisado e não diferindo do tratamento capoeira após 45 dias do preparo. A mesma tendência foi observada para a microporosidade nesse período, mas na macroporosidade e porosidade total foram observadas variações. Essa variação ocorreu na profundidade de 0-0,1 m, na qual CQDG se diferiu da capoeira. A maior RP verificada dentro do período de análise foi para capoeira e CT, atingindo um valor de 2,08 MPa na profundidade de 0,2 m.

A maior disponibilidade de água foi para CQDG e CT (0,20 cm³ cm⁻³) e a menor para capoeira (0,09 cm³ cm⁻³) na camada superficial de 0-0,1 m e de 0,19 cm³ cm⁻³ (CQDG e CT) e 0,11 cm³ cm⁻³ para capoeira.

ABSTRACT

Master Science Dissertation
Graduate Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brasil

MECHANIZED TECHNOLOGY FOR LAND PREPARATION WITHOUT BURNING IN NORTHEAST OF PARÁ

Author: Clóvis Moisés Priebe Bervaldo
Advisor: José Miguel Reichert
Santa Maria, February 17, 2005.

The no tillage on fallow vegetation technology uses of the secondary vegetation that expontaneously grows from existing roots and stumps from the traditional process of slash and burn preparation of that vegetation in the study region.

This work was divided into two studies: the first evaluated of triturated material from two systems or trituration of biomass and one the second in which were evaluated: one alternative system of trituration (CT) (horizontal system), traditional system of slash and burn (CQ), slash burn remove and tillage (CQDG) and secondary vegetation after fallow, to evaluate physico-hydric parameters during the land preparation.

In the first study the decomposition and the release of nutrients by two triturators process was evaluated. The triturated material was classified in four categories of size in mm, ($T1=1<T<7$, $T2=7<T<25$, $T3=25<T<35$ e $T4=T>35$) and six qualitative categories, namely with bark, partially triturated, partially unweaved, completely unweaved, compacted and without form. Nutrient availability was determined in the prepared areas by these systems. The greatest release of nutrients was observed for materials T1 and T2 during the first ten months, with a maximum release of $70,25 \text{ kg ha}^{-1}$ of nitrogen, $1,11 \text{ kg ha}^{-1}$ of phosphorus, $1,8 \text{ kg ha}^{-1}$ of potassium, $39,3 \text{ kg ha}^{-1}$ of calcium, and $4,16 \text{ kg ha}^{-1}$ of magnesium, for the size T2 obtained by the vertical system of trituration. Qualitatively, the most greatest nutrient release was observed for materials with bark residue with maximum release of $9,57 \text{ kg ha}^{-1}$ of N, $0,3 \text{ kg ha}^{-1}$ of P for material without form with high degree of. For this material was also observed the small least C/N relation 33,43 at the end of tenth month. Maximum values of release of K was of $2,09 \text{ kg ha}^{-1}$, for Ca $12,38 \text{ kg ha}^{-1}$, and for Mg $1,44 \text{ kg ha}^{-1}$, observed for material with bark. Soil organic matter

increased for both systems after one year, as did the availability of potassium at the layer of 0,05-0,1m. Phosphorus content increased only for the vertical system of trituration, while base saturation decreased for horizontal system of preparation.

In the second study, physical properties of soil density, porosity and water retention curve were evaluated for study 1, (alternative systems with biomass trituration), whereas the same properties, along with others properties: preconsolidation pressure, resistance to penetration (RP) and medium geometric diameter of dry aggregates (DMG) were evaluated for study 2. In the area of study 1, the lowest soil density was observed for the treatment fallow, and the greatest for the system of preparation with vertical triturator, with a more compact layer between 0,2-0,3 m. The available water varied from of 0,11 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ for the horizontal system at surface layer to 0,128 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ for the layer of 0,2-0,3 m. In study 2 differences were observed for DMG for the treatment CQDG, at 0,1-0,2 m depth. The pre consolidation pressure was not exceeded in the field at the layer of 0-0,1 m, nevertheless was exceeded at the layer of 0,1-0,2 m the values varying from 52,57 to 86,10 kPa. The soil density was greatest for fallow for all of the treatments, and lowest for CQDG, increasing during the period of analysis, but not differing to fallow treatment after 45 days of preparation. The same tendency was observed for the microporosity in that period; nevertheless for macroporosity and total porosity there were observed variations. This variation occurred at 0-0,1 m depth, at which CQDG differed from fallow.

The greatest RP observed within the period of analysis was for fallow and CT, reaching a value of 2,08 MPa at the 0,2 m depth.

Water availability, was highest for CQDG and CT (0,20 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) and lowest for fallow (0,09 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) at the soil surface. (0-0,1 m). At 0,1-0,2 m depth, it was 0,19 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ for CQDG and CT, and 0,11 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ for fallow.

1.0 INTRODUÇÃO GERAL

O sistema de preparo de área baseado no corte e queima da vegetação secundária é o sistema de área utilizado na agricultura familiar da Amazônia Oriental brasileira, em especial nas pequenas propriedades da região Bragantina, Nordeste Paraense, a qual representa a mais antiga fronteira agrícola da Amazônia Brasileira.

Desde os anos 30, quando os primeiros migrantes advindos da região Nordeste do Brasil, foram povoadas as margens da antiga estrada de ferro, em lotes de terras de 20 a 30 hectares.

A forma de preparo de área trazida pelos migrantes nordestinos constitui-se até os dias atuais na única forma de preparo de área utilizada pelos agricultores locais. Na estação seca do ano, a vegetação é derrubada manualmente através da utilização de terçados¹, esperando-se cerca de duas a três semanas para que possa ser efetuado a queimada, com posterior plantio sobre as cinzas residuais.

Em função da insustentabilidade desse sistema por uma série de fatores, dentre os quais destacam-se as perdas para a atmosfera de nutrientes essenciais, assim como a lixiviação causada por ocasião do solo pós-queima, alternativas foram propostas com intuito de substituir o sistema tradicional de preparo.

O modelo conservacionista de preparo de área desenvolvido assemelha-se ao sistema de plantio direto utilizado em outras regiões brasileiras, diferindo-se desse pelo fato de ser utilizado como mulch, vegetação secundária triturada, a qual é lenhosa e composta de espécies arbóreas, arbustivas e gramíneas.

O sistema de preparo utilizando-se da capoeira na forma de mulch foi utilizado pela primeira vez em 1994, utilizando-se de um triturador estacionário de marca nacional, posteriormente esse sistema tornou-se mecanizado, pelo desenvolvimento de um sistema de trituração possível de acoplamento em trator de rodas, o qual vem sendo melhorado ao longo dos anos. No ano de 2001, um modelo de triturador com conformação diferenciada do primeiro modelo, produzido industrialmente foi testado, sendo utilizado e difundido durante os anos.

A caracterização do material final advindo dos dois modelos trituradores, os benefícios causados pela utilização desse material vegetal sob cobertura morta na forma de disponibilidade de nutrientes, e os impactos do tráfego de sistemas

¹ Terçado: Facão de tamanho avantajado utilizado para derrubada da vegetação secundária.

mecanizados de trituração sobre o solo carecem ainda de informações complementares, para que recomendações possam ser fornecidas aos produtores com o intuito de utilizar o sistema de plantio direto na capoeira na Amazônia Oriental brasileira.

2.0 PROBLEMA

A queimada é o método de preparo de área mais difundido na Amazônia Oriental brasileira. Novas alternativas devem ser testadas no sentido de modificar tal prática.

2.1 HIPÓTESES

Máquinas trituradoras com mecanismos diferentes proporcionam materiais qualitativamente diferenciados, resultando em distintas classes de fragmentação e de taxas de decomposição do material triturado.

Ocorrem modificações das propriedades físico-hídricas do solo por ocasião do tráfego no preparo.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a utilização de máquinas como alternativa ao sistema de derruba e queima, praticado a mais de um século no nordeste do Pará.

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a qualidade do material final triturado, com o TRITUCAP e o FREZADOR FLORESTAL FM 600.

Avaliar o processo de decomposição do material triturado, comparando as duas máquinas, para obter a curva de liberação de nutrientes, Carbono (C), Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e cálcio (Ca).

Avaliar o efeito do uso das máquinas nas propriedades físicas do solo.

3.0 REVISÃO DE LITERATURA GERAL

3.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA AMAZÔNIA ORIENTAL

A Amazônia legal ocupa uma área de 5 milhões de km², originalmente coberta em 80% desse território (4 milhões de km²) por floresta tropical (Arima & Veríssimo, 2002). Essa área corresponde a 59% do território brasileiro.

A descrição do comportamento climático, conforme Valois (2003), é o elemento de maior variabilidade na região amazônica, registrando-se totais anuais de chuva entre 1000 e 3700 mm, com duas épocas distintas, uma mais chuvosa e outra menos chuvosa. A época mais chuvosa ocorre na maior parte da região, começando entre dezembro e janeiro e prolongando-se por 5 a 6 meses. A época menos chuvosa, “estação seca”, provoca o aparecimento de deficiências hídricas acentuadas. Quanto à temperatura, as médias anuais para a região situam-se entre 22°C e 28°C, com as máximas médias entre 29°C e 34°C e as mínimas entre 16°C e 24°C.

A Amazônia Oriental brasileira tem como característica marcante a mudança da vegetação original (floresta primária) decorrente do processo antrópico, apoiado pelo governo. Esse apoio levou a ocupação de imensas áreas dessa região, primeiramente pelo avanço na extração da madeira por grandes empresas (Souza Filho, 2003).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA MESOREGIÃO NORDESTE PARAENSE E ZONA BRAGANTINA

A mesoregião Nordeste Paraense possui uma área de 86 mil km² (IBGE, 1994). A região denominada como região Bragantina, é considerada a pioneira no processo de ocupação da Amazônia Oriental brasileira. Representa uma área total de 9.315 Km² (Souza Filho, 2003), composta por 36 municípios e detém 22% da população do estado do Pará (Carvalho et al., 1999).

O nome região Bragantina deve-se à antiga estrada de ferro, construída entre os anos de 1883 e 1908 para garantir o transporte de alimentos para a capital, conforme relatado por Souza Filho (2003). Esse autor explica que o crescimento dessa região deu-se principalmente no início do século passado, ao longo dessa ferrovia de 228 km, que ligava a Capital do estado Belém à cidade de Bragança. As

áreas ao longo da ferrovia foram divididas em lotes de 25 ha, com formato retangular, de 250 m de frente por 1000 m.

O autor ainda comenta que os lotes formados ao longo dos postos intermediários de paragem da ferrovia formaram-se com apoio do estado, sendo ocupados na grande maioria por migrantes da região nordeste do país. Os padrões dos modelos de lotes persistem na agricultura familiar da região Bragantina até o presente momento, juntamente com modelo vigente de agricultura baseado na fertilidade natural do solo.

O último Censo Agropecuário (1995-1996) levantou, no estado do Pará, aproximadamente 200 mil estabelecimentos rurais em 22 milhões de hectares. Um fato que chama a atenção é a distribuição da área, onde 45,3% dos produtores possuem menos de 10 ha e 49,9% possuem entre 10 e 100 ha.

O levantamento revelou ainda que, no Nordeste Paraense, região à qual pertence a Zona Bragantina, 28,1 % das terras estavam em descanso, mostrando o esgotamento da agricultura baseada na fertilidade natural do solo.

Esse esgotamento da fertilidade é ainda mais agravado pelo aumento da densidade demográfica. O último Censo Demográfico realizado pelo IBGE (2000), quantificou uma população para a região Bragantina de aproximadamente 473 mil habitantes, o que representa uma densidade de 50 habitantes por quilômetro quadrado, constituindo-se na maior população da Amazônia Brasileira.

A localização da zona Bragantina, com distinção para o município de Igarapé-Açu, no qual foram realizados os estudos deste trabalho, encontra-se entre as coordenadas 0° 45' e 1° 39' S, e 46° 16' e 48° 15'W (Diekmann, 1997) (Figura 1).

O clima da região Bragantina, conforme **Diniz (1991)**, da mesma forma como toda a Amazônia Oriental, é dividido em duas estações bem definidas, denominadas de estação seca e estação das chuvas. A estação seca constitui quatro meses, estendendo-se de agosto a dezembro. Com uma condição climática bem definida, toda a região caracteriza-se por precipitações variando entre 2000 e 3000 mm e temperatura média anual variando entre 25 °C e 26 °C.

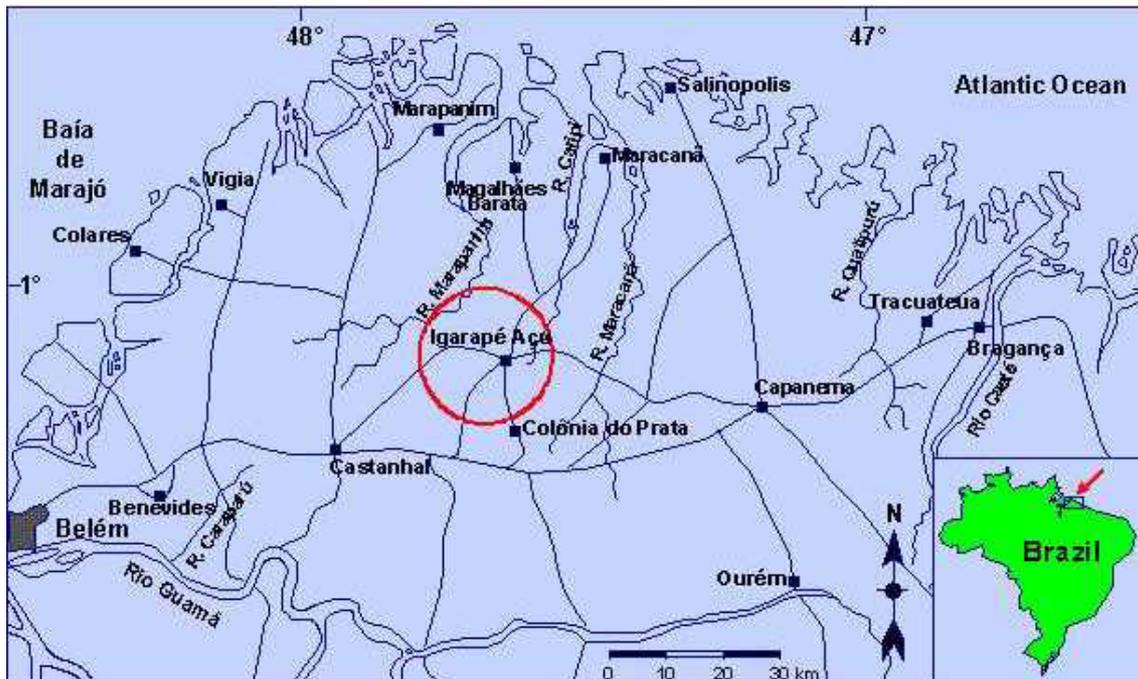


Figura 1 – Localização do município de Igarapé-Açu, na região na Zona Bragantina (Diekmann, 1997).

3.3 IMPORTÂNCIA DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA (CAPOEIRA) PARA AGRICULTURA FAMILIAR

A caracterização da vegetação predominante na região Bragantina foi descrita por Falesi et al. (1967). Segundo esses pesquisadores, corresponderia a uma transição entre litoral, região Amazônica, e Brasil Central, recoberta basicamente por capoeiras (vegetação secundária).

Conforme descrito por Falesi (1968), capoeira é a vegetação que se sucede após a derrubada da floresta primária e queimada, no caso em que a maior parte das plantas novas e sementes são destruídas pelo fogo, o que por consequência muda as condições do solo. O número de espécies vai reduzindo paulatinamente ao longo das sucessivas queimadas.

A área Oriental da Amazônia Brasileira vem, ao longo de décadas, substituindo a floresta tropical úmida por vegetação secundária. Essa vegetação, denominada de capoeira, tem um papel relevante na manutenção da produtividade agrícola do sistema tradicional de corte e queima pelo suplemento de nutrientes para a fase agrícola. No Nordeste Paraense, 90% da vegetação original foi convertida em capoeira (Ferreira, 2001).

O termo vegetação secundária, conforme Sanchez (1999), tem várias designações, jachere na África e barbecho, purma, ou capoeira na América Latina.

No contexto Amazônico, capoeiras podem ser definidas como áreas de crescimento espontâneo da vegetação secundária proveniente do processo de substituição dos ecossistemas florestais naturais por agroecossistemas. (Pereira, 2001).

Em particular, no Nordeste Paraense, onde a colonização foi efetuada há mais de 130 anos, a vegetação secundária foi derrubada, queimada e cultivada por sucessivas vezes, em períodos de um a três anos, o que provocou o empobrecimento das áreas cultiváveis.

Segundo Kanashiro & Denich (1998), o município de Igarapé-Açu tem uma área aproximada de 786 km², na qual a intensidade da atividade antrópica levou ao empobrecimento florestal remanescente (capoeira), por processos de utilização diversos, os quais podem ser melhor analisados através esquema da Figura 2, a qual indica as possibilidades de manipulação (Denich et al., 1998) ou manejo da capoeira e respectivas tendências.

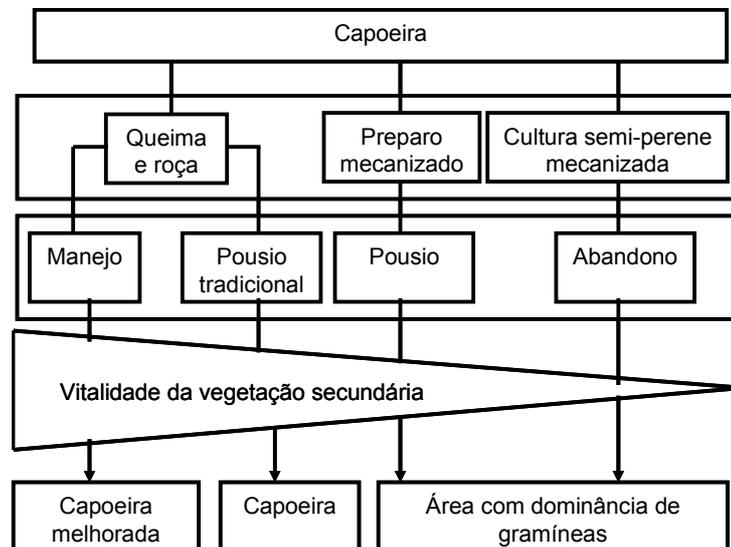


Figura 2 – Fatores que determinam a vitalidade da vegetação (Adaptado de Denich, 1998).

O autor conclui ainda que a capoeira manejada sob o sistema tradicional corte-queima com respectivo pousio tradicional possui uma capacidade regenerativa bem maior do que um sistema completamente mecanizado, por conseqüência da eliminação completa dos tocos.

O processo de preparo mecanizado, usando aração e gradagem, diminui sensivelmente a rebrota da vegetação secundária, já que as raízes remanescentes, responsáveis pela rebrota, são completamente eliminadas (Pereira, 2001). O processo de rebrota da vegetação é ainda mais reduzido em se tratando de culturas perenes, o que, conforme demonstrado pelo esquema da Figura 2, leva ao empobrecimento da área, já que o predomínio de gramíneas é indicativo de área degradada.

Segundo Denich et al. (1995), a regeneração da vegetação arbustiva de pousio é basicamente vegetativa, sendo atribuída à rebrota de rizomas e raízes, sendo essa a razão para a sobrevivência do sistema radicular, o que deixa de acontecer em caso de preparo mecanizado.

Embora o processo tradicional de corte-queima não seja adequado pela perda de nutrientes por ocasião da queimada, ainda é considerado o menos agressivo ao sistema agrícola de manejo da capoeira quando contraposto a sistemas de revolvimento do solo.

Conforme estudo de Kanashiro & Denich (1998), a utilização de máquinas pesadas, a derruba mecânica, as práticas de aração e a gradagem não são recomendadas em sistemas que dependem da biomassa formada no período de pousio como fonte de matéria orgânica.

A vegetação secundária segundo estudo de Diekmann (1997), funciona como uma bomba quando em pousio succionando os elementos químicos em profundidade para a superfície.

3.4 MÉTODO TRADICIONAL DE PREPARO AGRÍCOLA DE CULTIVO E POUSIO UTILIZADO NA AGRICULTURA DA AMAZONIA ORIENTAL

A agricultura tradicional de corte e queima vem se tornando, com o passar dos anos, num tipo de agricultura insustentável, agravado por fatores como o aumento da população de agricultores sem aumento de área, com conseqüente diminuição do tempo de pousio necessário à ciclagem dos nutrientes (Bundy et al., 1993). Essa vegetação é indispensável para a persistência do sistema tradicional de corte queima no trópico úmido (Sanchez, 1999), por isso é comum encontrar-se no trópico sub úmido e semi-árido capoeira degradada.

Conforme descrito por Conto et al. (1999), áreas de pousio são consideradas aquelas aptas para o cultivo, mas que não foram utilizadas naquele ano em curso. A prática do pousio é utilizada para recuperar a fertilidade natural do solo e reduzir a infestação de invasoras, variando de acordo com o tipo de uso do solo e a cultura a ser implantada.

A principal razão da existência da capoeira em pousio é a recuperação do solo, a qual é utilizada no processo de corte e queima. Porém, devido aos sucessivos processos de corte e queima, os períodos de pousio estão aumentando, enquanto que a produtividade vai diminuindo (Smith, 1999).

Em regiões de agricultura familiar, na qual não existe pressão demográfica como na região Bragantina, as áreas utilizadas são abandonadas após o cultivo, partindo-se para novas áreas. Na Amazônia Oriental é o que acontece na agricultura familiar do médio Amazonas, próximo ao pólo de Santarém, conforme Sorriensen (2000).

A eficiência com que a vegetação secundária restaura os nutrientes e controla as ervas daninhas é levada em conta pelos agricultores na determinação dos períodos de pousio, conforme Smith et al. (2000), o que significa que a regeneração, o controle de ervas daninhas e a acumulação de nutrientes levam mais tempo em áreas degradadas.

Sistemas de manejo do solo que adotam revolvimento intensivo agem de uma forma nociva (Corrêa, 2002), pois afetam o teor de matéria orgânica, um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados. Um bom estado de agregação e estabilidade, conseqüentemente, uma boa estrutura, é condição primordial para garantir a produção agrícola.

3.5 A QUEIMADA E IMPLICAÇÕES NA DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES

Conforme Juo & Manu (1996), a estabilidade do sistema de corte-queima é uma função do estoque total de nutrientes armazenada na parte aérea do ecossistema. No processo de queima o ganho líquido para o solo é menor do que o total armazenado. Uma parte é perdida via volatilização para a atmosfera, enquanto que os demais nutrientes são disponibilizados durante o primeiro ciclo de cultivo.

A quantidade de nutrientes disponibilizada pelas cinzas depende da quantidade total de nutrientes armazenada na biomassa aérea; no entanto, o ganho de nutrientes para o solo não tem função direta com a quantidade de nutrientes na parte aérea, mas sim com a capacidade do solo de reter e disponibilizar os nutrientes para as plantas, assim como com as espécies vegetais presentes na área (Szott et al., 1999). Os ganhos de nutrientes são dependentes da quantidade de bases desse solo.

No sistema de corte e queima, uma parte dos nutrientes é perdida pela queima, e outra parte significativa perde-se pela erosão e escorrimento superficial, enquanto que uma pequena parcela é retirada pelas plantas no ciclo de cultivo. Esse sistema leva à degradação, visto que essas perdas não podem ser recuperadas durante o curto período de pousio da vegetação secundária. Esse processo pode ser visualizado na Figura 3 (Juo, 1996), onde: QT (estoque total de nutrientes), QS (estoque de nutrientes no solo) e QB (estoque de nutrientes na biomassa).

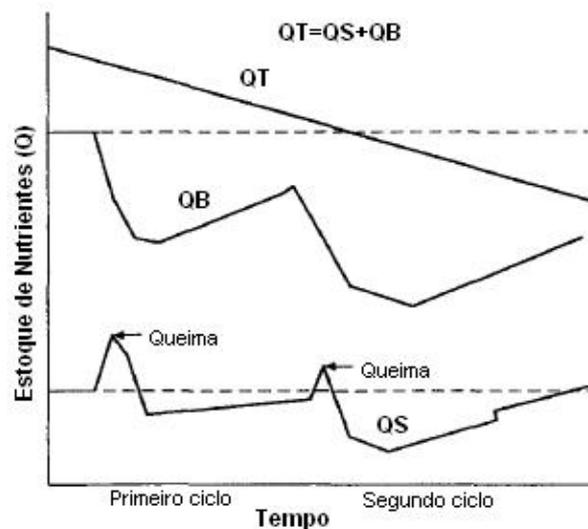


Figura 3 – Modelo do decréscimo do estoque de nutrientes (Adaptado de Juo & Manu, 1996)

A queima da vegetação tem um papel importante no preparo de área para o cultivo, pois o fogo é necessário para prover o solo com nutrientes através das cinzas, aumentando o pH e assim diminuindo a concentração de alumínio tóxico, e aumentando a quantidade de fósforo assimilável no solo (Juo & Manu, 1996; Denich, 1998). Essa reação se deve pela alta liberação na queima de óxidos e carbonatos (Müller et al., 2004), mas vale ressaltar que esse efeito permanece por um curto intervalo de tempo, já que as intensas chuvas provocaram o decréscimo do pH (Juo, 1996).

Porém, no processo de queima da vegetação, Martins et al. (1991), afirma que ocorre uma grande diminuição da matéria orgânica do solo o que leva ao abandono da área após dois anos de cultivo. Segundo Lopes et al. (1999), o declínio rápido da matéria orgânica diminui a CTC, já que os solos da região são formados em grande parte de argila 1:1 de baixa atividade ($4,5 \text{ cmolc kg}^{-1}$), resultando numa baixa capacidade de retenção de nutrientes essenciais, restando a opção de abandono. O fósforo é o nutriente mais limitante para a maioria das culturas pela baixa disponibilidade para as plantas (Valois, 2003).

Vielhauer et al. (1998), em estudo na região Bragantina, afirmaram que o ganho em biomassa, responsável pelo armazenamento de nutrientes é lento durante o período de pousio, mas após a queima os nutrientes são imediatamente disponibilizados, ocorrendo um rápido decréscimo, levando em seguida ao abandono. Sucessivos ciclos com conseqüente diminuição do tempo de pousio levam a degradação das áreas de agricultura familiar, conforme demonstrado na Figura 4.

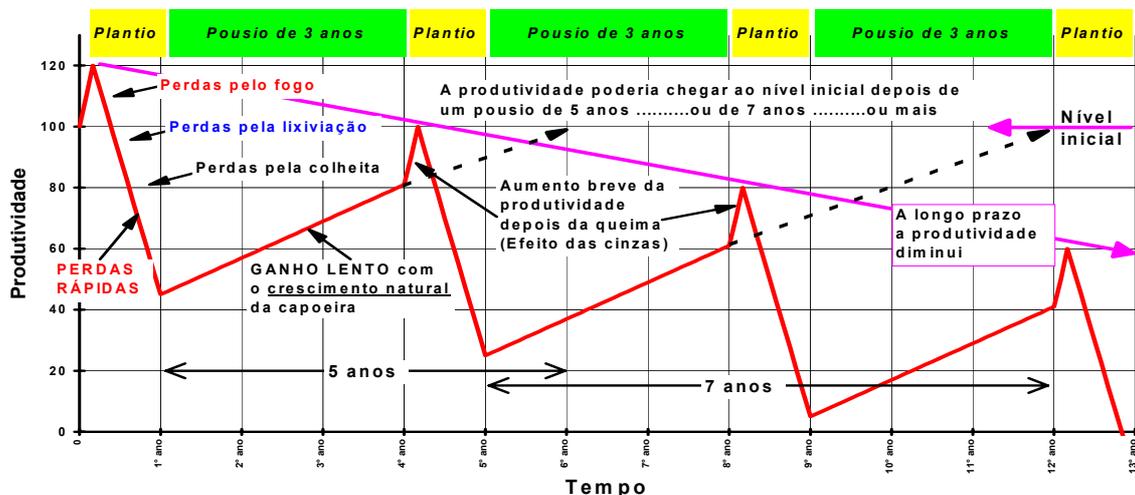


Figura 4 – Modelo de decréscimo da produtividade da áreas (Vielhauer, 1998).

Conforme descrito nas pesquisas de Denich (1991), Juo & Manu (1996), Machense et al. (1996), Hölscher et al. (1997) e Wiesenmüller (2004), é necessário um período mínimo de 7 a 10 anos de pousio para que seja efetuada a reposição completa dos nutrientes, levando em conta a baixa disponibilidade de nutrientes dos solos da região e da dinâmica de regeneração da vegetação secundária.

3.6 MÉTODOS ALTERNATIVOS DE PREPARO DE ÁREA

Estratégias para a recuperação de áreas degradadas e a preservação de áreas de agricultura itinerante, segundo Bandy (1993), vêm sendo pensadas há anos por organizações não governamentais internacionais e dos países praticantes desse tipo de agricultura. O autor afirmou que a saída seria a adoção de estratégias em três sentidos: desenvolvimento de tecnologias alternativas a pequenos agricultores, conexões políticas socioeconômicas de desestímulo ao desmatamento e promoção de alternativas sustentáveis aos sistemas não sustentáveis da agricultura de derruba e queima.

A utilização de coberturas protetoras do solo no sistema nômade², sob forma de mulch, atuando como base para outras culturas, geraram respostas melhores inclusive que as obtidas com aplicação de esterco em regiões tropicais (Sanchez, 1981).

Em especial para a região Bragantina, métodos alternativos vêm sendo estudados há vários anos, visando o aporte de material orgânico, sobre o solo para o incremento da fertilidade (Kato et al. 1999a; Lopes et al. 1999).

Num estudo de determinação de perdas de solo, água e nutrientes, em latossolo amarelo, textura argilosa no Nordeste Paraense Lopes (1999) concluiu que em solo sob ação de clima tropical na Amazônia, onde o período de incidência de chuvas durante a fase de produção é intenso, torna-se indispensável a utilização de práticas de manejo concervacionista adequadas. A utilização de culturas no modelo plantio direto é essencial tanto em sistemas de agricultura familiar como empresarial, para o controle da erosão hídrica. Dados obtidos pelo autor mostraram que, em áreas descobertas, as perdas de matéria orgânica foram de 1800 kg ha⁻¹, enquanto que em área totalmente coberta a perda foi de apenas 1,6 kg ha⁻¹ de matéria orgânica.

Tecnologias de utilização de mulch contribuem para o aumento do teor de matéria orgânica no solo, reduzindo a liberação de carbono para a atmosfera, em virtude da ação dos decompositores (Denich et al., 1998). O autor, em estudo comparativo entre culturas perenes e culturas que incluem período de pousio, concluiu que os estoques de carbono são equiparados à floresta primária.

² Sistema nômade: Nome dado ao sistema de derruba e queima da vegetação e ciclos de pousio em outras regiões tropicais.

A tecnologia de preparo utilizando mulch contribuiu para a melhoria da sustentabilidade do sistema de uso da terra do Nordeste Paraense, mantendo a produtividade ao longo do tempo (Kato et al., 1999a), além de proporcionar a flexibilidade do calendário agrícola de preparo e plantio de áreas, limitado em função da queima apenas à estação seca do ano.

Deve-se, no entanto, dar uma maior atenção a alguns detalhes relacionados à decomposição. Conforme Santos et al. (1999), em estudo alternativo sem utilização do fogo, o método de adição de resíduos ao solo afeta a taxa de decomposição e o desenvolvimento de reservas de matéria orgânica, as quais quando deixadas na superfície sofrem um rápido secamento, tendendo a decompor mais lentamente do que os resíduos incorporados, resultando em função disso em baixa decomposição na superfície, portanto baixa taxa de mineralização. O autor afirma ainda que a disponibilidade de nutrientes é influenciada pelas práticas de manejo, porém, ao utilizar-se a vegetação como cobertura morta, a disponibilidade é menor no início, aumentando com o tempo por um determinado período, o que se deve à liberação através da intensa atividade microbiana no solo.

No nordeste Paraense, desde o ano de 1994, foram desenvolvidos estudos utilizando-se de vegetação secundária triturada para produção de culturas produzidas regionalmente, visando a substituição do sistema de corte e queima pelo corte e trituração da biomassa.

Um histórico da utilização da mecanização para trituração de vegetação secundária foi compilado de Kato et al. (1999b). Os autores relatam que a primeira tentativa de utilização de capoeira na forma de cobertura morta deu-se através da utilização de uma ensiladora de forragem estacionária, tendo como acionamento a tomada de potencia de um trator de rodas. Denich (2004) cita que isso não foi possível pela alta demanda de mão de obra para corte, para o carregamento do material até o triturador e para o posterior espalhamento. Em condições de agricultura isso era inaplicável.

A alternativa encontrada foi o desenvolvimento de um triturador móvel, o qual foi desenvolvido pelo Instituto de Engenharia Agrícola da Universidade de Göttingen (Alemanha) de forma a atender os requisitos ecológicos essenciais à rebrota da vegetação. Os requisitos de projeto foram os seguintes: a) realizar o corte da vegetação ao nível do solo, sem danificar o sistema radicular de forma a garantir a rebrota durante o pousio, b) triturar o material em movimento, cortando-o, triturando-

o e espalhando-o homogeneamente sobre o solo, c) ser de construção simples, porém robusto, d) ser possível seu acoplamento a um trator de rodas convencional (Kato et al., 1999b).

3.7 UTILIZAÇÃO DE MAQUINÁRIO ALTERNATIVO PARA TRITURAÇÃO DA CAPOEIRA (TRITUCAP)

A síntese do equipamento desenvolvido é descrita de forma resumida, com base no estudo de Block (1999), responsável pelos testes.

O equipamento segue os princípios conservacionistas para rebrota da vegetação conforme descrito no item anterior. O funcionamento da máquina pode ser melhor entendido acompanhando a Figura 5, através da enumeração dos seus componentes. O equipamento Tritucap consiste de um chassi base sobre o qual foram projetados dois rotores, de forma a rotacionar do centro para as extremidades. Na base dos rotores, duas serras circulares com diâmetro de 1000 mm cada, incrementadas com dentes de wídea cortam a vegetação em sua base, logo acima da superfície do solo. Após o corte, os arbustos são direcionados verticalmente sobre a serra, através de mecanismos puxadores (3 e 4) para junto do chassi da máquina, onde recebem o ataque de martelos inferiores (5 e 6), presos ao corpo do rotor e por facas helicoidais soldadas no entorno deste (1 e 2).

Para o direcionamento da capoeira a ser triturada três barras limitadoras (7 e 8) de 1600 mm de altura auxiliam a divisão e direcionamento da vegetação de forma a permanecer na vertical para completa fragmentação.

A trituração ocorre de forma intensa na parte inferior do rotor, pela maior proximidade das facas helicoidais ao chassi, devido ao formato tronco cônico do rotor, com 700 mm na parte inferior e 600 mm na parte superior. A distribuição homogênea do material sobre a área, em forma de cobertura morta, ocorre através de duas janelas posteriores.

Acionada por um trator de 70 kW, a máquina necessita de 1000 rpm na tomada de potência, dianteira ou traseira. A velocidade máxima de cada rotor é de 880 rpm e a velocidade periférica máxima dos dentes é de 46 m s^{-1} . A largura efetiva da máquina é de 1950 mm, cada rotor pesando 400 kg, com peso total da máquina de 1300 kg.

Relacionado a capacidade e qualidade do material triturado, Block et al. (2000) relata que a máquina triturou vegetação de até 10 cm de diâmetro e o rendimento foi de 10 toneladas de material por hora. Quanto à qualidade desse material, 50% teve volume inferior a 4 cm³, sendo o cobrimento do solo na distribuição de 90%.



Figura 5 – Tritucap- Protótipo de triturador de capoeira, com respectivas especificações. (a) conjunto trator e triturador, (b) mecanismos trituradores, (c) mecanismos em detalhe e (d) martelos.

3.8 SOLO DA AMAZÔNIA ORIENTAL BRASILEIRA E ZONA BRAGANTINA E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS

Em termos de solos, há uma dominância de solos distróficos, com cerca de 90% do total, a maioria deles com boas propriedades físicas e quimicamente de baixa fertilidade (Baena & Dutra, 1979; Valois, 2003), e 90% dos solos são ácidos (Schneider et al., 2000).

Os solos dominantes na Amazônia Oriental, segundo o levantamento exploratório do Projeto Radam Brasil (1973), pertencem ao grande grupo latossolo amarelo, textura média, sendo ainda observadas, em menor proporção, associação desses com solos de fases pedregosas (solos concrecionários lateríticos). Devido ao uso intensivo nas atividades agropecuárias, esses solos foram submetidos ao processo de erosão laminar de forma acelerada, provocando a remoção das partículas mais finas e, conseqüentemente, a formação de um horizonte A superficial bastante arenoso, muitas vezes dando uma relação textural abrupta entre os horizontes A e B (A/B).

O clima quente e úmido que predomina na Amazônia favorece o processo de intemperismo e lixiviação dos elementos alcalinos e alcalinos terrosos, sendo essa ação tanto mais intensa quanto mais grossa for a textura do subsolo geológico, o que facilita a drenagem da água por percolação (Salati et al., 1983).

No Nordeste Paraense, conforme Silva & Carvalho (1991), os solos em sua grande maioria são encontrados em área de terra firme, sendo classificados como latossolos amarelos ou vermelhos (Oxisols) e podzólicos amarelos e vermelhos (Ultisols).

Referindo-se à zona Bragantina, Sanchez (1981) afirma que a formação de solo predominante na região é o latossolo amarelo com cerca de 78,5% da área. Conforme o autor, os solos da região caracterizam-se pela boa profundidade e aeração, possuindo composição granulométrica predominantemente de areia grossa e fina, com teor de argila variando de 8% a 23% no horizonte A e 15 a 37% no horizonte B, incluindo-se por isso na classificação textura arenosa média.

A caracterização física e química de diversos latossolos para a zona Bragantina foi compilada de diversos autores por Denich (1991). Particularmente, as propriedades químicas encontrados pelo referido autor em cinco áreas de capoeira decorrentes de agricultura tradicional, no ramal do Prata, município de Igarapé Açu,

são baixos a muito baixos (carência), seja para a reação do solo, matéria orgânica, macronutrientes (exceto o ferro e cálcio), micronutrientes, e capacidade de troca. Porém, a saturação de alumínio vai de média a elevada.

Segundo Silva et al. (1986), os solos de Igarapé-Açu, apresentam baixa capacidade de retenção de água (baixa porcentagem de mesoporos ao longo do perfil) e boa aeração (maiores porcentagens de macroporos), sendo, portanto, bastante susceptíveis ao secamento dos verânicos da região. Os autores observaram também que a densidade aparente é menor nas áreas de capoeiras que na roça, nos horizontes superficiais.

Após a queima da vegetação secundária, ocorre um decréscimo dos argilominerais e decréscimo da floculação, provocando após um ano de cultivo, aumento da densidade do solo abaixo das camadas superficiais (Martins et al., 1991). Os autores afirmaram também que a estabilidade do horizonte A do solo é afetado pelo processo de remoção da vegetação superficial do solo, pela exposição do solo à radiação solar e pelo impacto da gota de chuva. Os teores de argila aumentaram na camada de 0,2 – 0,3 m, porém com variações condicionados à variabilidade de drenagem.

A densidade do solo aumenta durante o processo de cultivo do solo; no entanto, o abandono da área proporciona uma reorganização das partículas através da penetração das raízes, aumentando a porosidade do solo, tornando-o parecido com o estado original.

4.0 CAPÍTULO I

PREPARO MECANIZADO ALTERNATIVO SOB FORMA DE PLANTIO DIRETO NA CAPOEIRA NA DECOMPOSIÇÃO DO MATERIAL VEGETAL EM LATOSSOLO AMARELO NO NORDESTE PARAENSE

4.1 RESUMO

O preparo mecanizado utilizando-se de capoeira triturada na forma de plantio direto é uma tecnologia recente que visa substituir a queima da vegetação, que vem sendo testada junto aos agricultores há alguns anos. O sistema de preparo utiliza-se de duas máquinas trituradoras, uma de rotor vertical, necessitando de uma passada para o preparo, e uma de rotor horizontal que necessita duas passadas para o preparo. A utilização desses dois sistemas trituradores gera materiais triturados diferenciados, os quais irão comportar-se de diferentes formas quanto à decomposição. O objetivo do estudo foi à avaliação da qualidade do material triturado oriundo dos dois sistemas de trituração, avaliar seu comportamento durante a decomposição, quanto à liberação de nutrientes para o solo. Foram determinados os elementos químicos N, P, K, Ca, Mg e C, durante o processo de decomposição em três épocas distintas (0, 3 e 10 meses), e quantificações químicas de rotina de solo no momento do preparo e após 1 ano.

O material triturado foi classificado em 4 classes de tamanho: T1=1<T<7 mm, T2=7<T<25 mm, T3=25<T<35 mm, T4=T>35 mm, e 6 classes qualitativas, com casca, parcialmente triturado, parcialmente desfiado, completamente desfiado, compacto e material sem forma. Liberações maiores de nutrientes foram encontrados para os materiais com maior grau de fragmentação e maior desfibrilamento ocasionado pelos mecanismos dos sistemas trituradores, contudo o tempo de decomposição necessário para deterioração completa do material lenhoso deverá ser no mínimo o dobro do tempo desse estudo.

As maiores quantidades de nutrientes foram liberadas pelos materiais de menor tamanho, T1 e T2 triturados pelo sistema vertical, com liberações de 25,26 kg ha⁻¹ de N, 1,11 de P, 1,8 de K, 39,3 Ca e 4,16 de Mg. A maior relação C/N variou entre 111,80 T4 (> 35mm de comprimento) para sistema horizontal e 77,28; sistema vertical no momento da trituração, enquanto a menor relação C/N foi de 24,35 para T1 (inferior a 7 mm de comprimento).

Para o grau de desfibrilamento, os materiais com casca ou resquícios desta foram os que liberaram as maiores quantidades de nutrientes com 9,57 kg ha⁻¹ de N; 0,28 de P; 2,09 de K; 12,38 de Ca e 1,44 kg ha⁻¹ de Mg. A menor relação C/N foi de SF, decrescendo de 70,48 na trituração para 33,43 no 10^o mês.

No solo, houve incremento do teor de M.O. para ambos os sistemas até a camada de 0-0,2 m, com incrementos de 0,07% (0-0,05m), 0,37% (0,05-0,1m) para o sistema vertical de trituração. Observou-se também aumento na disponibilidade de P de 2,22 mg L⁻¹ (camada de 0-0,05 m); 2,15 mg L⁻¹ (0,05-0,1 m) e 0,67 mg L⁻¹ (0,1-0,2 m) no sistema vertical; com menor incremento no sistema horizontal. Houve aumento na disponibilidade de K, nas três camadas, com incrementos de 13,5; 9,5 e 3,5 mg L⁻¹ para as camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2, respectivamente no sistema vertical; e no horizontal houve incremento menor. A disponibilidade de Ca e Mg, assim como a saturação de bases, diminuiu para essas camadas nos dois sistemas de trituração. O decréscimo da saturação de bases e dos elementos Ca e Mg, provavelmente, deve estar associado à mobilização mínima com solo na trituração com o sistema horizontal e lixiviação desses nutrientes.

4.2 INTRODUÇÃO

A substituição do sistema de preparo de área utilizando o fogo por sistemas de trituração de biomassa é uma das alternativas para persistência da vegetação secundária, necessária para a subsistência do sistema agrícola do Nordeste Paraense. Além de prejuízos relacionados à perda de nutrientes para a atmosfera causados pela queima, estão os prejuízos associados com a queima de combustíveis fósseis, responsáveis pelo aumento do efeito estufa.

Conforme Prado (2004), a elevação do efeito estufa provocada pela emissão de gás carbônico ocasionado pelas queimadas pode ser minimizado através de plantas eficientes na acumulação de carbono. O sistema que utiliza a capoeira como pousio tem uma importante função na acumulação de carbono, junto a sua biomassa (Hughes et al., 2000).

Um sistema alternativo intercalando processos de cultivo e pousio de capoeira contribui ao sistema solo planta atmosfera, em dois momentos: num primeiro através da liberação de nutrientes da matéria orgânica não queimada, e num segundo seqüestrando o carbono da atmosfera para o seu próprio crescimento.

Em área de capoeira que havia sofrido o processo de queima há sete anos, Mackensen et al. (1996) constatou que durante a queima são eliminados por volatilização 96% do nitrogênio, 76% de enxofre, 47% do fósforo, 48% do potássio, 35% do cálcio e 40% do magnésio, sendo esse fato responsável pelo balanço negativo de nutrientes desse sistema. A eliminação dos nutrientes pela queima é um motivo para abandono dessa prática (Hölscher et al., 1997). Os dois autores afirmam que a deposição de elementos, como N, Ca e Mg, são substancialmente menores do que as perdas estimadas pela queima.

Além da eliminação por volatilização, a lixiviação é um outro aspecto a ser considerado após o fogo. Esse processo ocorre devido à redução da CTC que por sua vez é acarretada pela diminuição da matéria orgânica do solo. A redução da matéria orgânica pelo fogo reduz ainda mais a CTC do solo, tornando mais acentuadas as perdas de bases e elementos químicos liberados pela queima do material vegetal.

A queima, portanto, proporciona uma série de inconvenientes. Por outro lado, o preparo de área sem queima (alternativo), utilizando a biomassa na forma de

cobertura morta, é responsável pela manutenção da matéria orgânica e nutrição das plantas, melhorando as propriedades químicas, físicas e biológicas, contendo o processo de degradação do solo (Denich et al., 2004). Quando da utilização de um sistema de mulch, esse ainda protege o solo contra o processo de erosão, conserva a umidade do solo durante períodos secos e reduz a germinação de ervas daninhas (Wiesenmüller, 1999).

O sistema utilizando-se de mulch, conforme Kato et al. (1999a), proporciona duas situações interessantes. Uma delas é a possibilidade de utilização da área durante dois ciclos de cultivo. A outra é a redução do trabalho para o produtor, já que o número de plantas espontâneas é bem menor, além da contribuição ecológica que o sistema proporciona.

O sistema de corte e trituração não é um sistema capaz de solucionar totalmente os problemas do agricultor, porém é uma alternativa para que agricultores possam deixar de queimar, já que essa continua sendo executada por falta de alternativa de preparo para o agricultor familiar (Denich et al., 2004).

A função da matéria orgânica no solo tropical, conforme Craswell & Lefroy (2001), é a reserva de nitrogênio e outros nutrientes necessários para as plantas. A matéria orgânica também é importante na formação de agregados para a proteção superficial do solo, manutenção das funções biológicas, incluindo a imobilização e liberação de nutrientes, capacidade de troca de cátions e armazenamento de carbono no solo.

Em estudo realizado por Tiessen et al. (1992) no Nordeste Brasileiro utilizando sistemas de cultivo e pousio (shifting cultivation), cerca de 20 a 30% do C, N e P orgânico foram perdidos em 6 anos de cultivo, sendo necessários para o restabelecimento das condições anteriores 10 anos.

Estudos do acréscimo de material vegetal foram desenvolvidos por Palm et al. (2001) e exercem um importante papel para garantir a produtividade nos sistemas agrícolas dos trópicos, pelo fato desse ser responsável pela síntese da matéria orgânica, porém os acréscimos de material vegetal com o passar do tempo são insuficientes para a manutenção da fertilidade, ocorrendo a degradação do mesmo.

Relacionado à decomposição, um indicador do grau de decomposição da matéria orgânica é a relação C/N. Conforme Lenthe (1991), um valor alto dessa relação (> 25) é indicador de que não existe N suficiente para os microorganismos, o que por consequência inibe a atividade biológica do solo. Nessas condições,

ocorrem outras formações (NH_4 e NO_3) de caráter biológico, porém não acessíveis para as plantas. Fixações de N para as plantas ocorrem quando a relação C/N for menor que 20. O mesmo autor ainda afirma que em condições de matéria orgânica rica em celulose e lignina essa relação é muito alta, decrescendo para valores entre 12 e 15 em solos ácidos.

O fato de elementos escassos nos solos da região estarem armazenados na vegetação secundária deve ser um argumento a ser utilizado como incentivo para utilização do sistema alternativo que utiliza a biomassa aérea na forma de cobertura vegetal morta (mulch), já que, conforme Lamprecht & Parey (1986), nos trópicos úmidos a vegetação sustenta o solo e não o solo a vegetação. Os autores afirmam que solos tropicais, embora possuam grandes quantidades de material orgânico em torno de (10 a $20 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), são pobres em húmus (1-2%) distribuídos até a profundidade de 20-30 cm.

Numa forma generalizada, o elemento limitante na agricultura da Amazônia, em função da indisponibilidade no solo, é o P (Gama, 2002).

Estudando P extraível em florestas primárias e vegetação secundária, McGrath et al. (2001) concluiu que as concentrações de P extraível são maiores em vegetações secundárias do que na floresta primária depois de uma década de abandono da área, fato que se deve à alta taxa de reciclagem do P pelo favorecimento da decomposição da liteira na capoeira, garantindo assim taxas elevadas do nutriente.

A melhoria na fertilidade do solo pode ser comprovada pelos resultados do estudo de Gama (2002), comparando sistema de corte e queima e sistema alternativo utilizando-se de mulch na região Bragantina. O autor verificou que o sistema que utilizava mulch mostrou-se superior ao sistema tradicional, pelo fato de não degradar a fertilidade. Quanto ao P, este teve sua adsorção reduzida, enquanto que a quantidade de P orgânico aumentou.

Trabalhos de decomposição com material lenhoso, separado por espécies vegetais de capoeira foram realizados por Denich (1991). Em função da utilização de sistemas trituradores mecanizados de preparo do solo, nos quais não ocorre distinção entre espécies, pois o ataque da vegetação é feito de forma não seletiva, esses necessitam uma análise diferenciada, aplicada a situação real vivenciada diariamente pelo agricultor utilizador da tecnologia. A trituração da biomassa é um facilitador para o agricultor, por motivos já mencionados, sendo necessário, portanto,

o conhecimento detalhado do material triturado, bem como as implicações da utilização desse material como cobertura morta para o produtor rural. A adoção de uma tecnologia de forma segura e convincente, a decisão de utilizar a tecnologia, a compra e o financiamento de maquinário para esse fim por órgãos governamentais, associações ou particulares implicam na necessidade de comprovações científicas.

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da fragmentação de material lenhoso de capoeira, utilizando-se dois sistemas trituradores, triturador horizontal e triturador vertical duplo, verificando-se a taxa de decomposição e a liberação de nutrientes (macronutrientes) ao longo do tempo e a disponibilização desses nutrientes no solo.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em propriedade de agricultura familiar, localizada no município de Igarapé Açu, nordeste do estado do Pará, nas coordenadas 01°11'37,4"S 47°35'41,6"W (Anexo 2). A área foi preparada no final da estação seca, no mês de dezembro do ano de 2002.

A distribuição pluvial para o local de estudo indica estações bem definidas: uma de julho até dezembro, denominada de estação seca, e a outra englobando o outro período do ano (dezembro a junho), denominada de estação das chuvas. O mês de menor precipitação é o de outubro com cerca de 50 mm e o de maior março em torno de 430 mm (Figura 6).

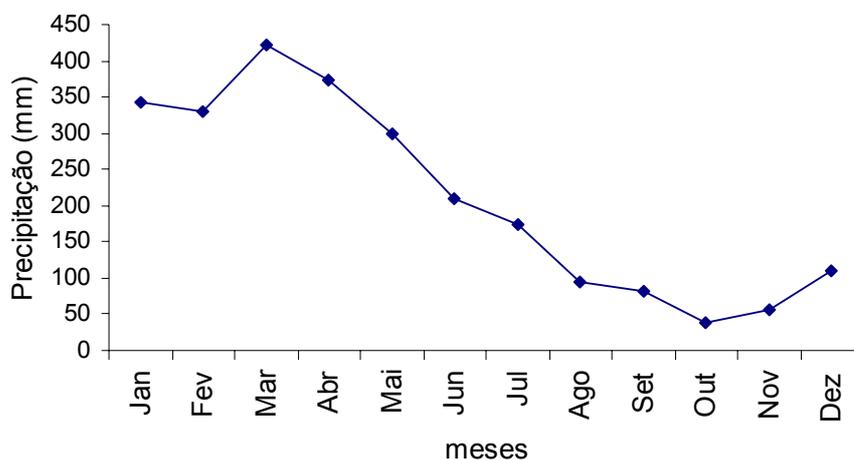


Figura 6 – Distribuição média de chuvas para 10 anos (1994-2003).

Fonte: Estação agroclimatológica de Igarapé-Açu. (Embrapa Amazonia Oriental)

O solo em que foi realizado o estudo foi classificado como latossolo amarelo, segundo o sistema brasileiro de classificação de solos (Embrapa, 1999).

A biomassa da capoeira triturada, de aproximadamente três anos de idade, foi determinada utilizando-se de seis repetições, cada uma correspondendo à área de 15 m², 3 x 5 m, nas quais foram quantificados a massa seca de folha, galho, tronco e cipós.

Para o estudo, foi utilizado uma área de 1 ha, na qual 50% da área foi preparada utilizando-se o conjunto mecanizado trator + Tritucap II, sendo a outra metade preparada utilizando o conjunto trator + Frezador universal. A trituração com sistema de rotor vertical duplo (Tritucap II)³ foi efetuada em apenas uma operação,

³Tritucap II: Protótipo II de triturador, melhoramento do I, com 4 facas helicoidais.

utilizando-se de um trator de 120 kW com direção reversível em processo de operação a ré. A velocidade dos rotores verticais em operação foi de 1000 rpm, velocidade linear das serras no ataque de 65 m s^{-1} . O sistema mecanizado pode ser visualizado na Figura 7. O preparo da área com o frezador universal (rotor horizontal), operando a 1600 rpm no tambor de ataque, 46 m s^{-1} foi realizado em duas operações, uma primeira passada necessária para a derrubada da vegetação no sentido ré, e um segundo passo no sentido normal de operação para deixar a área propícia ao plantio. O conjunto mecanizado pode ser visualizado através da Figura 8. Para ambos os preparos foi utilizado o mesmo trator.

O material utilizado para o experimento de decomposição foi obtido de área triturada com o Triturador de dois rotores verticais, em área de vegetação com biomassa correspondendo a $44,44 \text{ Mg ha}^{-1}$, idade correspondente a 4 anos, e para o triturador de rotor horizontal em vegetação de aproximadamente 8 anos de idade, biomassa de $36,46 \text{ Mg ha}^{-1}$, coletados em duas áreas de produtores.

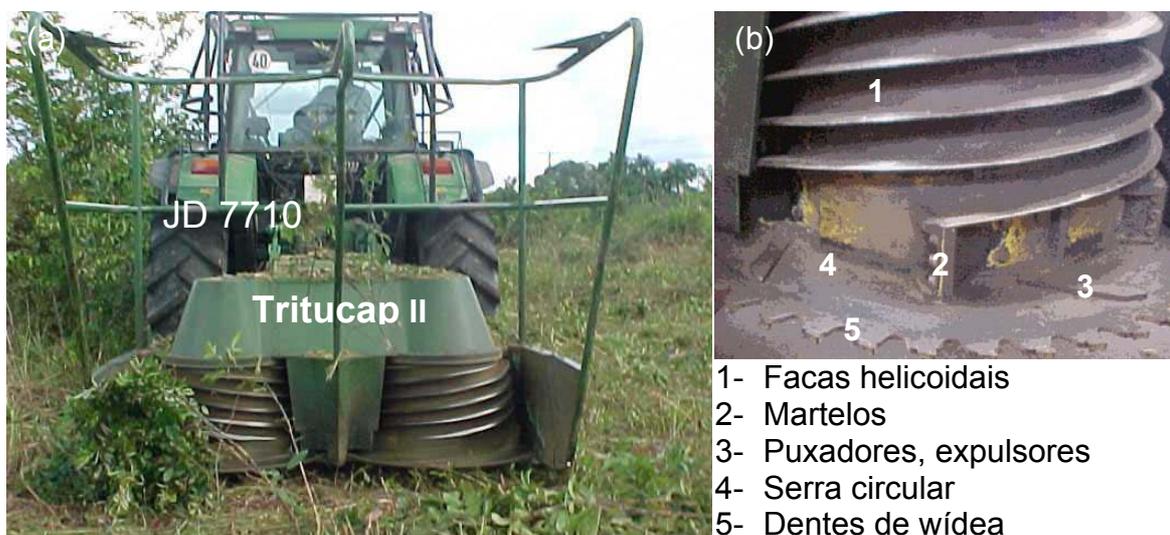


Figura 7 – Tritucap- Protótipo II de triturador de capoeira, com respectivas especificações. (a) trator+(Tritucap II), (b) mecanismos trituradores.

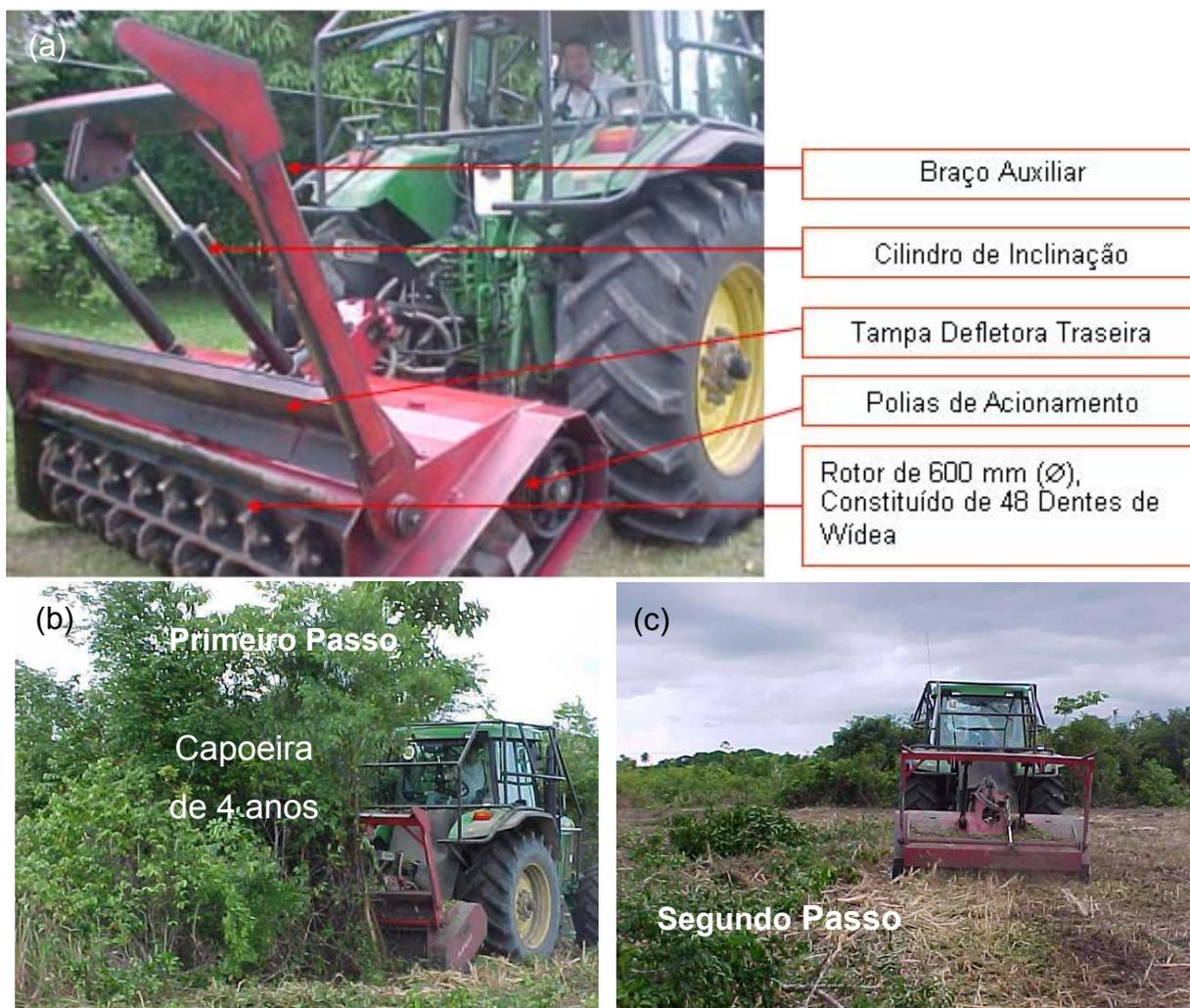


Figura 8 – FM 600 – Frezador de mata Universal FM 600 (Passo 1 e Passo 2). (a) trator+(Frezador horizontal), (b) operação de corte da vegetação, (c) retrituração (passo 2).

Das duas áreas trituradas, foram retiradas, amostras de material vegetal triturado numa dimensão correspondente a 0,20 m x 10 m, de perímetro, área de 2 m², o que corresponde a 4 passadas de máquina. Medições da altura de deposição foram tomadas a cada 10 cm ao longo de 10 m (Anexo 3). As amostras passaram por peneiramento num sistema de 4 peneiras com abertura de malha de 35 mm, 25 mm, 7 mm e 1 mm, desenvolvidas especificamente para esta quantificação, todas com área interna de 0,96 m² (Figura 9).

A metodologia qualitativa de avaliação do material resultante da trituração dos dois mecanismos trituradores utilizados baseou-se em quatro classes quantitativas e 6 classes qualitativas, conforme pode ser observado no fluxograma. Quanto às

dimensões do material triturado, e o aspecto do resultado da trituração, o mesmo pode ser visualizado pela Figura 10.

Após a classificação quantitativa e qualitativa, os materiais nas duas classes resultantes da peneira de maior diâmetro, foram separados.

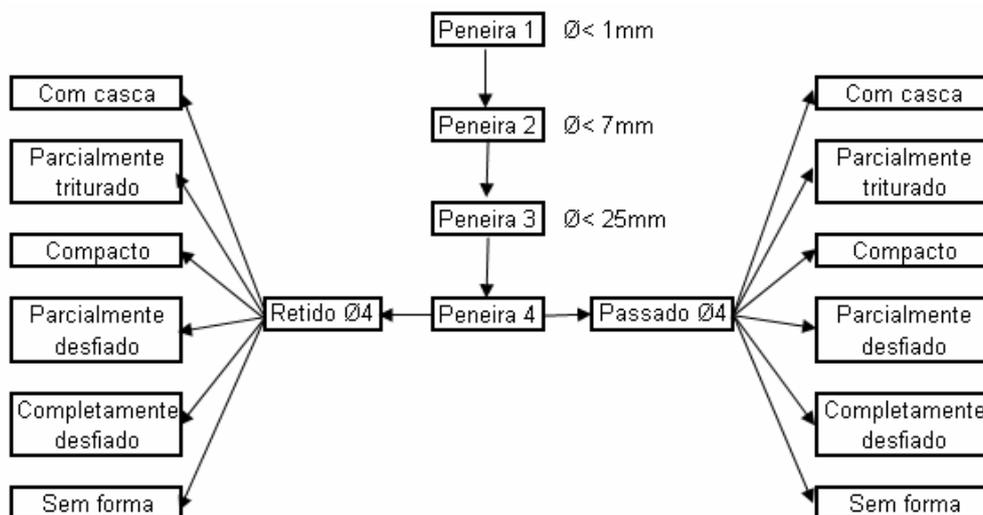


Figura 9 – Seqüência de classificação do material triturado pelo frezador horizontal e pelo triturador duplo vertical.

Quanto ao procedimento mensuração do volume médio de cada classe de material triturado, quantitativamente e qualitativamente pelos dois sistemas trituradores, estes foram obtidos em cada fragmento através de 2 mensurações de diâmetro e 1 comprimento. Essas mensurações corresponderam a 100% do material das classes acima de 35 mm ($T > 35$) e entre 25 e 35 mm ($25 < T < 35$) e 10% dos fragmentos entre 7 e 25 mm ($7 < T < 25$) e abaixo de 7 mm ($T < 7$). A peneira 1 de 1 mm de malha utilizou-se apenas para retirada contido no material triturado.

O material lenhoso de capoeira, resultado da sua trituração, foi submetido ao processo de decomposição nas respectivas áreas preparadas para o cultivo, sendo colocado em sacos de decomposição de nylon (Bags), com diâmetro de malha de 1,3 mm, sob o material triturado, utilizando-se de três repetições á campo. Os bags corresponderam em número de 60 amostras para cada um dos sistemas trituradores e 90 para qualidade do material triturado, com 50 gramas de material por Bag. Os bags foram confeccionados com dimensões de 15 cm x 25 cm para material T1 e T2 e nas dimensões de 15 cm x 35 cm para T3 e T4.

A classificação feita em 6 classes foi uma forma seqüencial de diferenciar o material, levando em consideração o grau de ataque que o material recebeu. Uma descrição da classificação utilizada é feita a seguir.

Com casca (CC) – Material de forma arredondada, permanecendo ainda a casca envolta em toda a superfície dos fragmentos;

Parcialmente triturado (PT) – Material que sofreu o ataque do sistema triturador, no entanto ainda existem resquícios de casca envolvendo o material;

Compacto (C) – Material triturado de forma regular, originário da trituração de partes internas dos arbustos de capoeira;

Parcialmente desfiado (PD) – Material que sofreu a ação dos mecanismos trituradores originado das partes internas do tronco, com pouco ataque dos mecanismos trituradores das máquinas;

Completamente desfiado (CD) – Material semelhante ao Parcialmente Desfiado, porém com um grau de ação superior no desfibrilamento, ocasionado pelos mecanismos trituradores;

Material sem forma (SF) – Material constituído de partes arbustivas totalmente irregulares, basicamente ramos, cipós.

Folhas fizeram parte do material de cobertura, apenas na área triturada pelo triturador de sistema duplo vertical, haja vista que a utilização do duplo processo de preparo com rotor horizontal proporciona a incorporação desse material junto com os demais fragmentos.

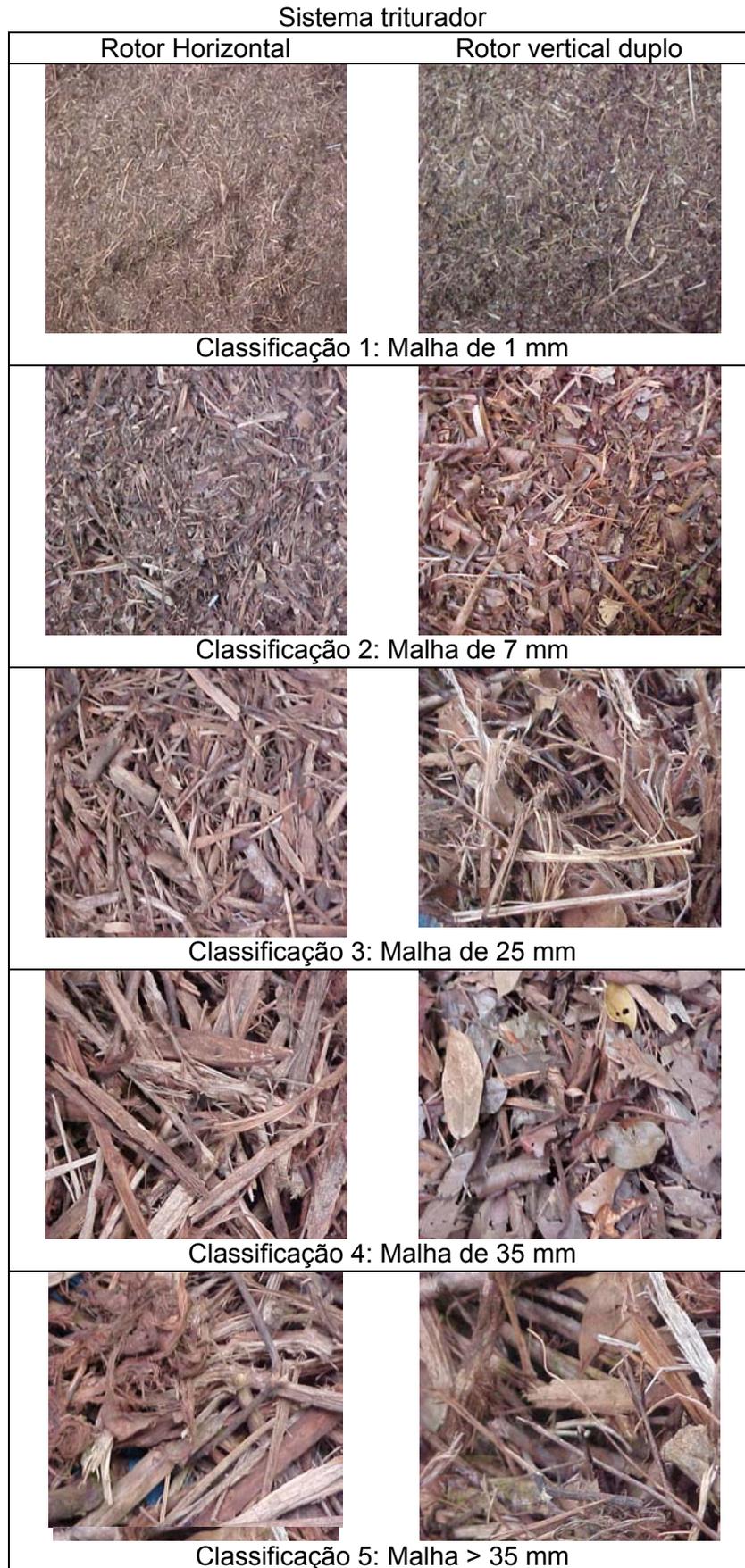


Figura 10 – Aspecto do material triturado pelo sistema horizontal e sistema vertical de rotor duplo.

Na área foi plantada a variedade de mandioca Inhá, com espaçamento de 1 x 1 m, onde foi avaliada a altura de planta a biomassa e a produtividade da mandioca, utilizando-se de total de 18 plantas por tratamento.

Amostras de material triturado pelas máquinas, contendo folhas, troncos, galhos e cipós foram analisadas para determinar o teor e a quantidade dos elementos, C, N, P, K, Ca e Mg, assim como a quantificação dos elementos encontrados nos sacos de decomposição, em três épocas distintas: 0, 3 e 10 meses.

A concentração dos elementos foi determinada junto ao Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Engenharia Florestal, seguindo a metodologia descrita por Sarruge & Haag (1974), para análises químicas de tecido vegetal. Em síntese, a quantificação do carbono orgânico foi feita por oxidação com $K_2Cr_2O_7$ 0,4 mol L⁻¹. O nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl, em que o NH_4^+ produzido na digestão com H_2SO_4 é destilado em meio fortemente alcalino e o NH_4^+ condensado na solução de H_3BO_3 é titulado com solução de HCl. O fósforo foi determinado por colorimetria, o potássio por fotometria de chama e o cálcio e o magnésio por espectrofotometria de absorção atômica.

Conforme Alexander (1980), o comportamento do material em decomposição pode ser analisado por três parâmetros: (i) quantificação da liberação do CO_2 e consumo de O_2 , (ii) desaparecimento de componentes específicos como celulose, lignina e hemicelulose, ou (iii) observação do decréscimo do material por perda de peso e análise química, sendo esse último o método utilizado neste estudo.

Para o ajuste das curvas de decomposição, dois modelos foram testados: o modelo de Ezcurra & Becerra (1987), equação 1, e o modelo de Wieder & Lang (1982), equação 2, o qual divide os fragmentos de material em decomposição em dois compartimentos, um que decompõe mais rapidamente (lábil), e outro de decomposição mais lenta denominado de recalcitrante.

$$P(t) = \frac{100}{(1 + k \times b \times t)^{\frac{1}{b}}} \quad [1]$$

Onde :

P (t) = percentual de material vegetal exposto no instante t, relativo ao peso inicial;

t = tempo em meses;

k = constante de decomposição;

b = fator de forma.

$$MSR = A \times Exp^{-ka \times t} + (100 - A) \quad [2]$$

Onde :

MSR = percentual de matéria seca;

t = tempo em meses;

ka = taxa constante de decomposição da matéria seca no compartimento lábil;

A = compartimento lábil ;

(100 - A) = compartimento recalcitrante.

A partir dos valores obtidos na decomposição da matéria seca de cada compartimento (lábil e recalcitrante) foi calculado o tempo de meia vida, ou seja, tempo necessário para que 50% da matéria seca daquele compartimento seja decomposta. A fórmula utilizada para a descrição foi descrita por Paul & Clark (1996), utilizada por Giacomini (2001):

$$t_{1/2} = 0,693 / K_{(a)} \quad [3]$$

Amostras de solo foram coletadas em dois momentos: no preparo da área e após 1 ano de cultivo, utilizando 4 repetições. A caracterização química (pH, MO, P, K, Ca, Mg) do solo foram determinadas junto ao Laboratório de Rotina pertencente ao Departamento de Solos da UFSM, seguindo a metodologia de determinação de Tedesco et al. (1995). Em síntese, a determinação consistiu: para pH em água e em KCl 1M, na medição eletrônica de atividade de H por meio de eletrodo combinado dentro de meio aquoso da mistura água-solo, na relação 1:1. Para leitura de pH em KCl seguiu-se a mesma metodologia, com substituição da água por solução salina de KCl 1M (Tedesco et al., 1995).

O carbono orgânico foi determinado pela metodologia de Walkley-Black modificado por Tedesco et al. (1995). O teor de matéria orgânica foi calculado pela equação:

$$MOS = 1,724 \times C \quad [4]$$

Os teores de alumínio, cálcio, magnésio e sódio trocáveis, foram extraídos do solo com o sal neutralizado de KCl 1M, obtendo os teores trocáveis. A quantificação de alumínio trocável foi efetuada por titulação com NaOH e o cálcio e o magnésio foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica. A extração de potássio e sódio foi realizada com extrator duplo ácido (Mehlich- 1) e a quantificação com fotômetro de chama. (Tedesco et al., 1995)

A acidez potencial $H+Al$ foi estimada com solução tamponada pH 7,0 de acetato de cálcio e determinada por volumetria com solução NaOH com indicador fenoltaleína (Embrapa, 1997).

A soma de bases (S) e a capacidade de troca de cátions a pH 7(CTC) e a pH do solo (CTC efetiva), a saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (M) foram também calculados.

Dados meteorológicos foram obtidos junto à estação climatológica de Igarapé-Açu, localizada junto à área do produtor rural em que foi efetuado o experimento com cultivo de mandioca, a 150 m do local. (Figura 6).

A análise estatística foi realizada utilizando-se do software Statistical Analysis System (SAS).

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL UTILIZADO

O material final resultado do ataque dos mecanismos trituradores pode ser verificado na Figura 11.

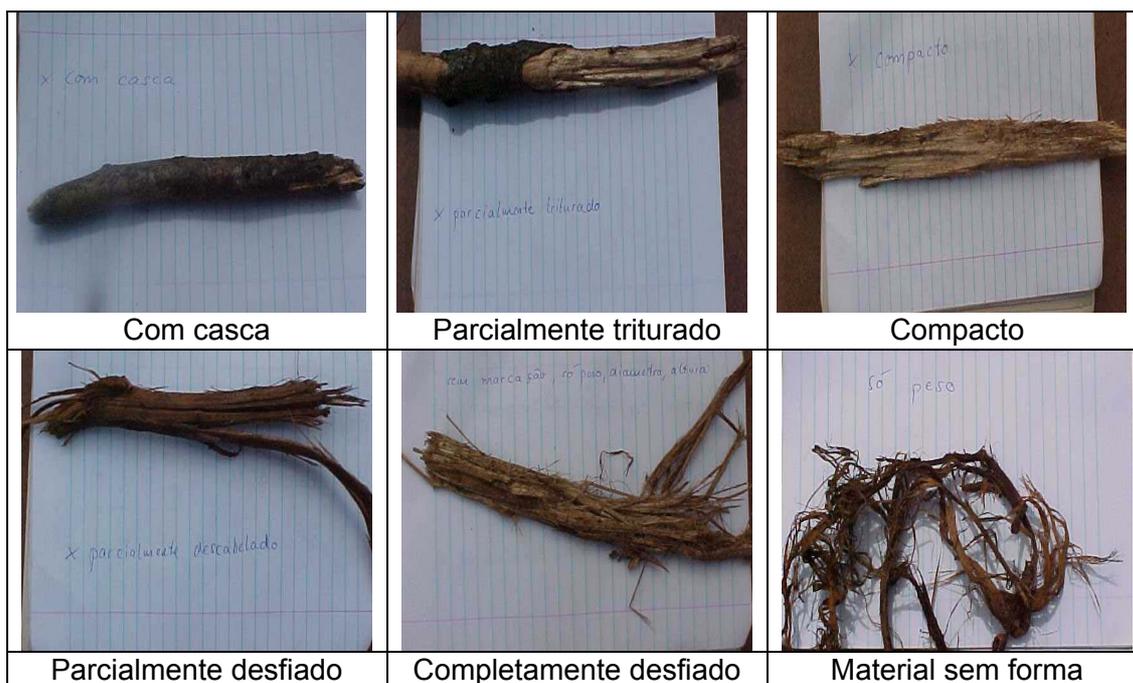


Figura 11 – Aspecto do material triturado pelos sistemas trituradores a partir da vegetação secundária.

A capacidade de fragmentação dos respectivos mecanismos trituradores pode ser verificado através da análise da Figura 12, a qual representa a quantidade de material triturado subdividido em 4 classes quantitativas. Na utilização do triturador horizontal, encontraram-se quantidades maiores de material classificado entre 1 e 7mm, correspondendo a 43%, enquanto que material dessa classe corresponde a apenas 17% na utilização do sistema triturador de dois rotores verticais.

No material vegetal triturado pelo sistema de rotor horizontal, entre a classe de 7 a 25 mm, 21% do material encontraram-se nesse estado de fragmentação, enquanto que na utilização do rotor vertical duplo a maior parte (39%) encontrou-se fragmentada nessa classe intermediária. Para dimensões de material triturado acima de 35 mm de comprimento, para ambos os sistemas trituradores horizontal e vertical duplo, os valores corresponderam respectivamente a 27 e 28%.

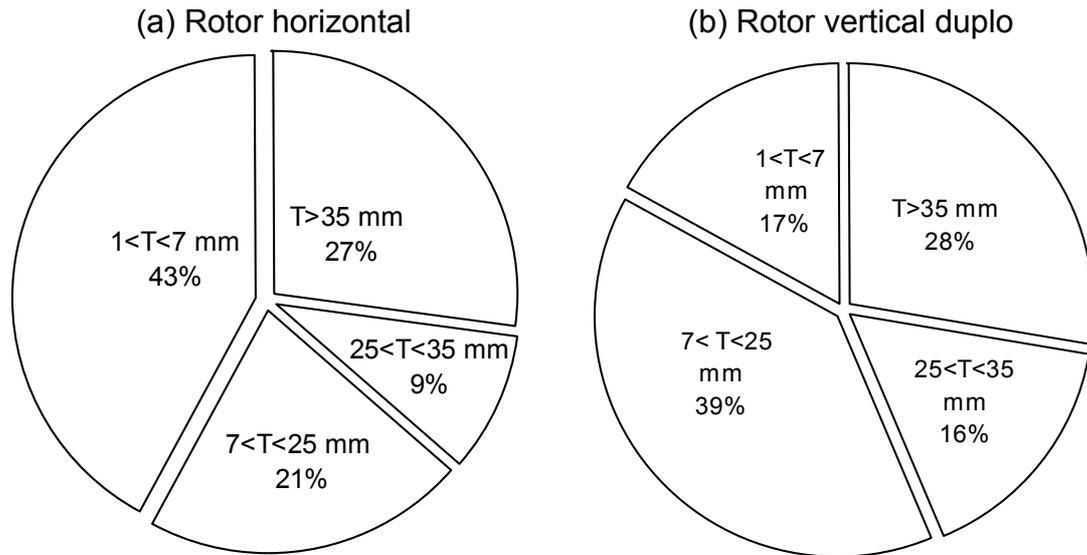


Figura 12 – Tamanho médio (mm) de material triturado em percentagem, utilizando rotor vertical duplo (Tritucap II) e rotor horizontal (FM 600).

Como visto, na trituração exercida pelo triturador horizontal são necessárias duas passadas, o que não resulta em fragmentação menor. Conforme visualizado pela Figura 13, fragmentos superiores a 35 mm, apresentam um volume médio de $14,71 \text{ cm}^3$ para o triturador horizontal e $8,20 \text{ cm}^3$ para sistema vertical duplo. Para as demais classificações os valores encontram-se mais próximos. Esses valores menores no volume médio de material triturado na classe de menor tamanho reforçam o que se observa visualmente, após a trituração das áreas, ou seja, material mais fino resultante do sistema de trituração com dois rotores verticais.

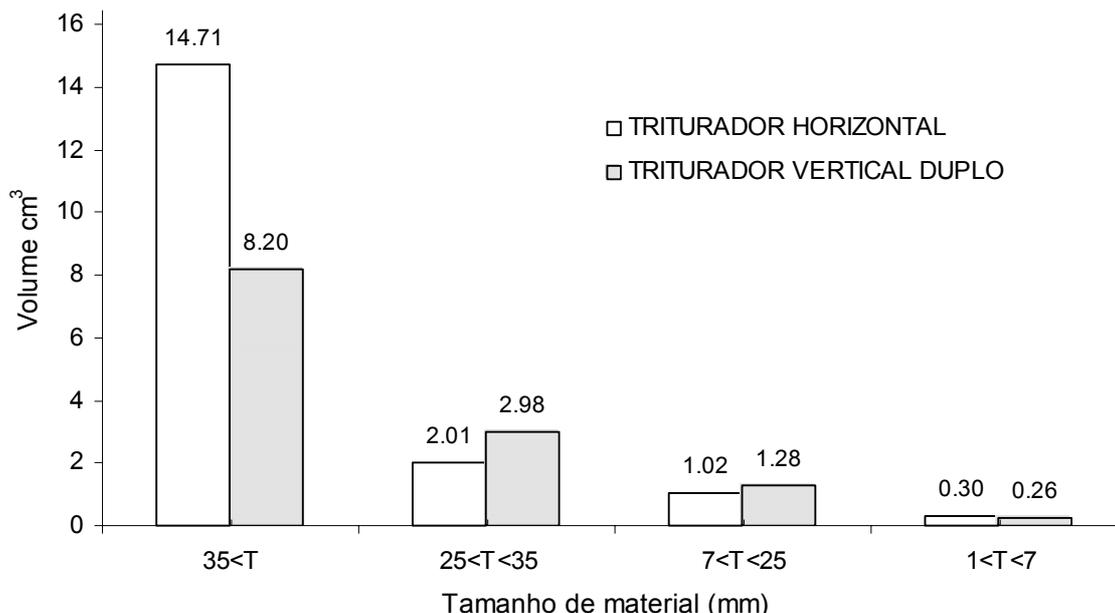


Figura 13– Volume médio dos fragmentos de material triturado, utilizando sistema horizontal (1600 rpm no rotor) e rotor vertical duplo (1000 rpm junto às facas helicoidais).

O grau de fragmentação do material vegetal depende, entre outros fatores, da resistência mecânica e da tenacidade da vegetação; no entanto, a fragmentação executada pelo sistema vertical é superior ao horizontal.

Quanto à cobertura do solo pelo material, na trituração de 4 a 8 anos de idade, a ocupação foi de 60 a 100%, com espessuras médias de material triturado de 4,88 cm, com amplitude entre 0,8 e 10 cm de espessura para o sistema de rotor vertical, e espessura média de 4,95 cm com, amplitude entre 1,25 e 11,50 cm para o sistema horizontal na vegetação caracterizada no item anterior para cada máquina.

4.4.2 CLASSES QUALITATIVAS DE MATERIAL TRITURADO

Conforme descrito anteriormente o material foi classificado em 6 classes qualitativas, para caracterização do material em decomposição para cada uma das 6 classes, 5 constituídas de material com dimensões mensuráveis e material sem formato definido (Figura 14).

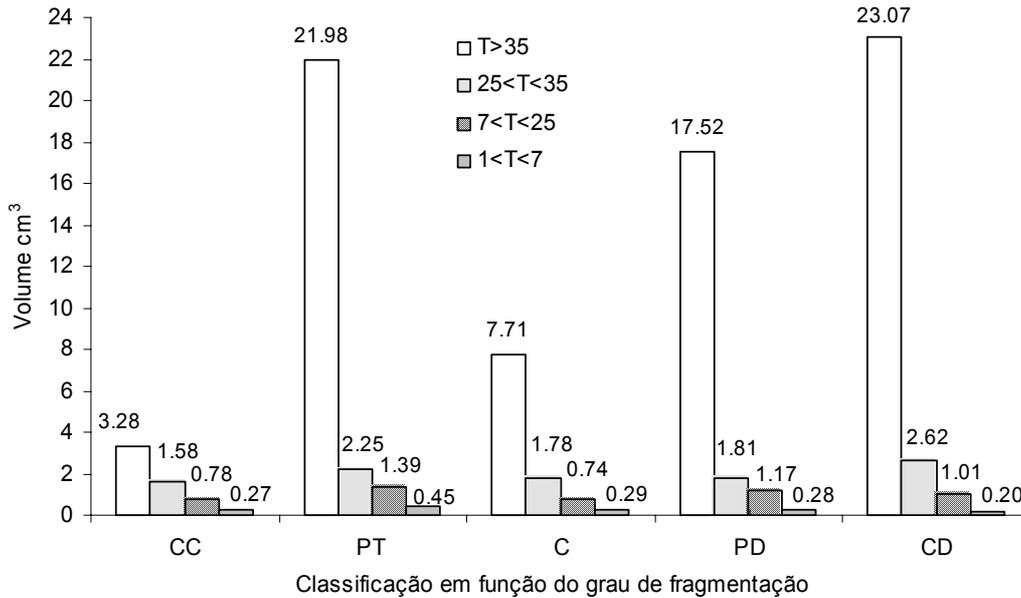


Figura 14 – Volume médio do material triturado pelo sistema triturador horizontal.

CC: Com casca, PT: Parcialmente triturado, PD: Parcialmente desfiado, CD: Completamente desfiado, C: Compacto, SF: Sem forma.

Na avaliação do comportamento em decomposição do material foi utilizado apenas o material entre as classes de tamanho entre 25 e 35 mm, por apresentar-se de forma mais constante, vindo a facilitar a descrição do comportamento do material em decomposição a campo. O material classificado nessa categoria correspondeu a 9,34% do total da amostra. Destes 8,55% foram de CC, 14,52% de PT, 2,61% de PD, 5,76% de CD e 15,58% de SF.

4.4.3 DECRÉSCIMO DA QUANTIDADE DE MATERIAL AO LONGO DO TEMPO

Dois modelos foram testados para descrever o decréscimo de material ao longo do tempo: o modelo de Ezcurra & Becerra (1987) e o modelo de Wieder (1982). O modelo que melhor se ajustou aos dados por apresentar o menor erro foi o Wieder, como pode ser verificado pelo erro padrão (Anexo 12). Na Tabela 1, estão representados os parâmetros de ajuste dos modelos usados para descrever a decomposição do material, para os dois mecanismos trituradores apresentados e para as diferentes formas de material triturado.

O modelo ajustado não permite fazer extrapolações fora da amplitude do escopo; no entanto, o tempo de meia vida do material dentro do período, variou de 1,99 meses (T1) a 2,30 meses (T3) quando foi utilizado o sistema vertical de trituração. Na utilização do sistema de rotor horizontal as variações ficaram entre 2,05 meses (T1) e 2,08 (T2). Quanto à parte qualitativa, o menor tempo de meia vida foi de 1,83 meses (CC e PT), com remanescência de casca, enquanto o maior valor foi de 2,32 (SF). Esse valor leva a entender que material fibroso leva mais tempo para sua decomposição.

Tabela 1 – Valores estimados para os parâmetros k_a , A e $(100-A)$ do modelo matemático de Wieder adotado para caracterização da decomposição do material oriundo de dois sistemas de trituração, utilizado em cobertura morta em lavoura de mandioca.

Classificação (mm)	Tamanho	A	100-A	k_a	$T_{1/2} A$	r^2
Triturador com dois rotores verticais						
7 x 7	T1	81,94	18,06	0,347	1,99	0,954
25 x 25	T2	83,39	16,61	0,338	2,05	0,968
35 x 35	T3	89,11	10,89	0,301	2,30	0,974
> 35	T4	77,41	22,59	0,343	2,02	0,933
Triturador com rotor horizontal						
7 x 7	T1	82,11	17,89	0,337	2,05	0,976
25 x 25	T2	77,79	22,21	0,333	2,08	0,940
35 x 35	T3	79,69	20,31	0,353	1,96	0,957
> 35	T4	78,91	21,09	0,345	2,00	0,959
Qualidade do material triturado						
35 x 35	CC	78,15	21,85	0,355	1,95	0,958
35 x 35	PT	76,01	23,99	0,378	1,83	0,952
35 x 35	PD	77,19	22,81	0,311	2,23	0,942
35 x 35	CD	78,67	21,33	0,346	2,00	0,954
35 x 35	C	81,11	18,89	0,326	2,12	0,953
35 x 35	SF	80,95	19,05	0,299	2,32	0,948

Observa-se que não houve grande variação para o tempo de meia vida entre os diferentes tipos de material vegetal triturado, tanto para as máquinas, quanto para a forma final do material triturado.

Na Figura 15, estão representadas as curvas de decomposição para os dois mecanismos trituradores apresentados, e para as diferentes formas de material triturado. A decomposição do material triturado para as seis classes qualitativas de material analisado através do decréscimo do peso no decorrer do tempo não resultou em interação entre tipo de material e tempo de exposição, observando-se uma diminuição sem grandes diferenças para as épocas observadas (1, 3, 6, 10 meses).

De modo geral, pode-se afirmar que o material fragmentado pelo sistema triturador vertical duplo decompôs-se mais rapidamente, pois no 10^o mês proporções correspondentes a 20,69% (T1), 19,92% (T2), 13,08 (T3) e 27,23 (T4) foram remanescentes. Para trituração pelo sistema horizontal, o material seco remanescente no final do décimo mês foi de 22,01% (T1); 27,80% (T2); 25,39% (T3) e 24,29% (T4). Os decréscimos em peso foram maiores para o sistema vertical duplo para as três primeiras classes (T1, T2, T3); para o sistema horizontal, a classe que se mostrou mais decomponível foi a primeira (T1).

Relacionado à decomposição qualitativa do material, o decréscimo para as 6 classes, para o 10^o mês, ficou entre os extremos 23,50% (C) e 27,50% (PT), para o material remanescente. Para as demais classes os percentuais foram de 26,21% (CC), 26,88 (PD), 25,11 (CD) e 25,15 (SF). Conforme anteriormente descrito para meia vida da matéria seca, o material parcialmente triturado (PT) possuiu a menor meia vida dentre todos; no entanto, uma quantidade maior de material remanescente foi encontrada nessa classe, ao contrário à classe compacto (C), com meia vida intermediária, que teve decréscimo maior durante o tempo dentre todas. Isso indica que, neste estudo, o tempo de meia vida da matéria seca não teve grandes relações com a decomposição, mas existe uma tendência da decomposição ocorrer de forma mais lenta com o passar do tempo em função do material recalcitrante, por esse ser menos decomponível.

O tempo necessário para a decomposição completa do material nos diferentes graus de desestruturação é em torno de 2 anos conforme observações feitas á campo em áreas trituradas, um fato positivo, já que ao final do segundo ano, considerando dois ciclos de cultivo, á área se encontrará em pousio, ainda com

material remanescente da vegetação anterior, o que após sucessivos processos de trituração levará a uma melhoria das características químicas do solo manejado sob esse sistema.

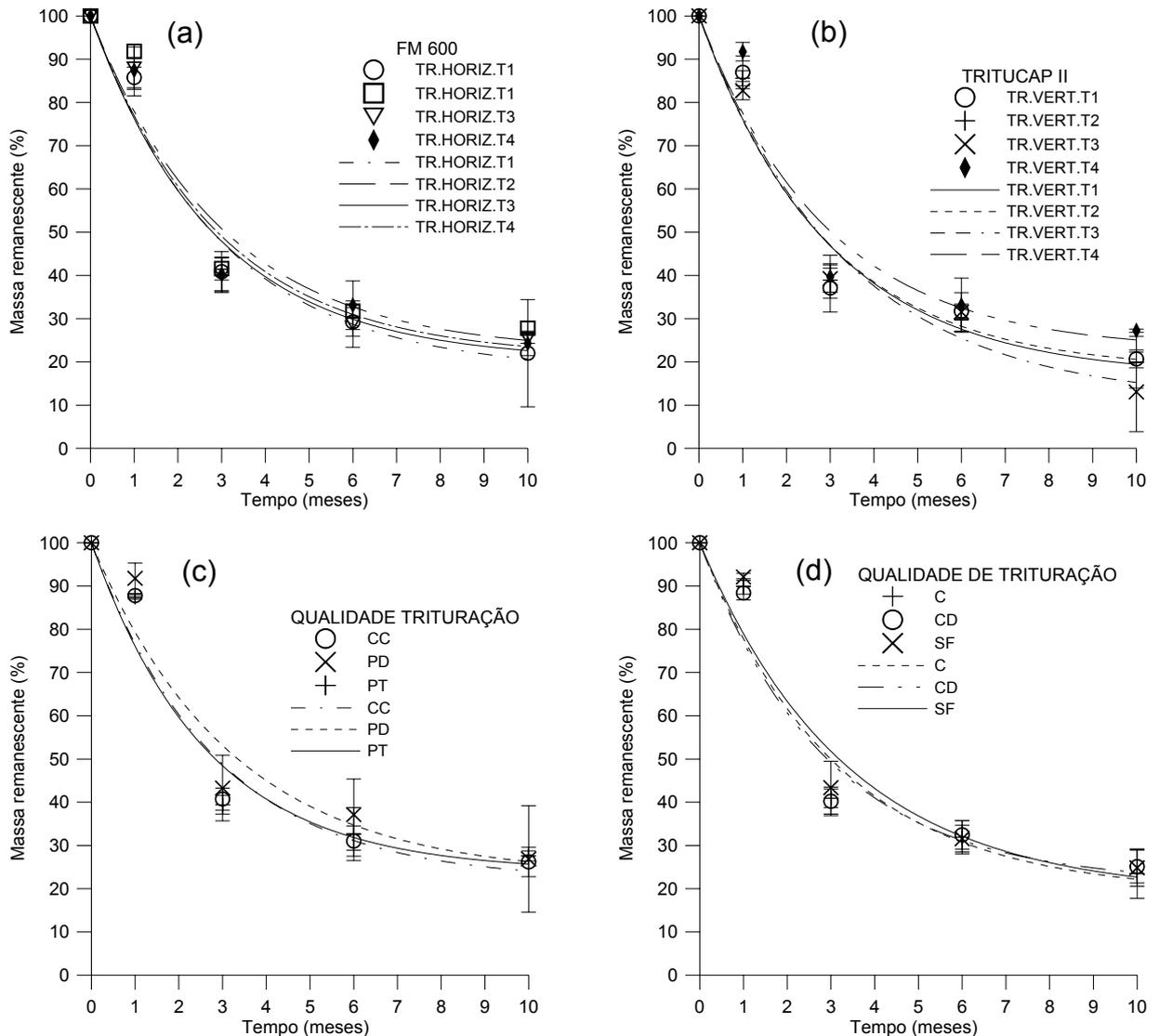


Figura 15 – Comportamento do material ao longo do tempo (curvas de regressão) de material triturado por dois sistemas trituradores expostos a decomposição em lavoura de mandioca.

T= tamanho da malha em mm. T1= $1 < T < 7$, T2= $7 < T < 25$, T3= $25 < T < 35$, T4= $T > 35$. CC=com casca, PT=parcialmente triturado, PD=parcialmente desfiado, CD=completamente desfiado, C=compacto, SF=sem forma.

4.4.4 NUTRIENTES ACUMULADOS NO MATERIAL VEGETAL TRITURADO

Na capoeira de 3 anos de idade foram quantificados para massa seca de folhas, galho, tronco e cipós, respectivamente 23,31; 26,67; 36,19 e 13,83 % do total de 17,21 Mg ha⁻¹ de matéria seca.

Na Tabela 2, encontram-se as quantidades de C, N, P, Ca e Mg, obtidas através das análises laboratoriais. A capoeira armazenou quantidades de carbono, variando entre 848,59 kg ha⁻¹ (cipós) e 2143,43 kg ha⁻¹ (tronco).

Considerando-se o elemento nitrogênio armazenado na capoeira analisada, verificou-se que esses valores variaram entre 54,73 kg ha⁻¹ (folha) e 6,83 kg ha⁻¹ (cipó). A relação C/N para o material vegetal variou entre 28,98 (folha) e 126,03 (tronco). A mineralização dos nutrientes ocorre a partir de relações C/N inferiores a 20, logo as folhas serão as primeiras a serem decompostas.

Para os demais nutrientes foram encontradas quantidades de 3,29 kg ha⁻¹ para P, 53,34 kg ha⁻¹ para K, 195,97 para Ca e 22,13 kg ha⁻¹ para Mg.

Tabela 2 – Quantidade de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e relação carbono-nitrogênio para a biomassa de capoeira.

Nutriente	Quantidade de Nutriente (kg ha ⁻¹)				
	Folha	Galho	Tronco	Cipó	Total
Carbono	1586,07	1678,93	2143,43	848,59	6257,02
Nitrogênio	54,73	15,24	17,01	6,83	93,81
Fósforo	2,04	0,46	0,52	0,26	3,29
Potássio	25,46	10,88	13,52	3,48	53,34
Cálcio	61,15	51,45	61,12	22,25	195,97
Magnésio	11,55	2,71	5,85	2,02	22,13
Relação C/N	28,98	110,19	126,03	124,24	

Num estudo realizado com capoeira de dois e cinco anos de idade, com biomassas respectivas de 9,62 Mg ha⁻¹ e 20,14 Mg ha⁻¹ no Rio Grande do Sul Barichello (2000), encontrou para dois anos quantidades de 83,79 kg ha⁻¹ de N, 6,49 kg ha⁻¹ de P, 78,10 kg ha⁻¹ de K, 129,91 kg ha⁻¹ de Ca e 10,99 kg ha⁻¹ de Mg. Para a capoeira de 5 anos foram obtidos quantidades de 108,47 kg ha⁻¹ de N, 10,78 kg ha⁻¹ de P, 117,73 kg ha⁻¹ de K, 220,77 kg ha⁻¹ de Ca e 19,82 kg ha⁻¹ de Mg.

Valores de nutrientes acumulados em vegetação de capoeira foram quantificados por Fassbender (1993). Os valores encontrados para os elementos N, P, K, Ca e Mg na vegetação do experimento foram tabulados juntamente com os obtidos pelo autor na Tabela 3.

Tabela 3 – Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na biomassa de capoeira.

Nutriente	Teor de Nutrientes (g kg ⁻¹)					
	Folha		Galho		Tronco	
	F	E	F	E	F	E
Carbono		395,54		365,77		344,05
Nitrogênio	16,4	13,65	3,6	3,32	2	2,73
Fósforo	1,112	0,512	0,147	0,101	0,120	0,084
Potássio	12,5	6,34	4,80	2,38	3,10	2,16
Cálcio	4,57	15,24	3,31	11,22	1,87	9,81
Magnésio	2,44	2,88	0,78	0,59	0,54	0,94
C/N		28,97		110,17		126,02

F-Fassbender; E- Este estudo.

O fósforo, elemento limitante para o sistema de agricultura amazônico, é o elemento mais restrito, com teores em folha praticamente 50% inferiores aos encontrados por Fassbender. Da mesma forma, o potássio é encontrado em concentrações bem inferiores. O único elemento que tem sua concentração bem mais elevada na biomassa é o cálcio, o que se deve, possivelmente, ao histórico de queimadas, e o aumento do pH a cada nova queimada.

4.4.5 QUANTIDADES DE NUTRIENTES ACUMULADOS NO MATERIAL VEGETAL TRITURADO

As quantidades de nutrientes remanescentes por cada tipo de material resultante, segundo a sua classe de tamanho, encontram-se especificados na Figura 16. Quantidades maiores de nutrientes foram observados para o elemento N e P, nas classes de menor tamanho (T1, T2) no ato da trituração (tempo). Para T1 no sistema vertical, observou-se um decréscimo na quantidade de N de 31,12 kg ha⁻¹, no ato da trituração, para 7,71 kg ha⁻¹, no décimo mês. No sistema horizontal (T1), a quantidade de N diminuiu de 30,15 kg ha⁻¹ para 4,89 kg ha⁻¹ no mês 10. Vale ressaltar que os dois sistemas trituradores, para as classes T1 e T2 (Figura 16 a), tiveram comportamento das retas seguindo uma tendência de decréscimo. Praticamente a mesma tendência se manteve para as classes T3 e T4 (Figura 16 b), porém com uma quantidade menor de nutrientes armazenados nos fragmentos no ato da trituração. A quantidade de N remanescente foi de 13,15 kg ha⁻¹, quando da trituração no sistema vertical, decrescendo para 3,83 kg ha⁻¹ no 10^o mês. A menor quantidade de N foi observada para T4 no sistema horizontal, com quantidade inicial de 9,58 kg ha⁻¹, com quantidades remanescentes de 3,64 kg ha⁻¹, no 3^o mês, e 3,28 kg ha⁻¹, no 10^o mês. As perdas de nutrientes corresponderam para T1 TV a 17,37 kg ha⁻¹, nos primeiros 3 meses, diminuindo perdas de 10,04 kg ha⁻¹ para os 6 meses subsequentes. Para T3 TV, essas perdas já foram menores 5,19 para os 3 meses iniciais e 5,33 kg ha⁻¹ do 3^o ao 10^o mês, o que é ocasionado pela maior quantidade de N armazenada nos fragmentos de menor tamanho.

O elemento fósforo teve comportamento muito semelhante ao nitrogênio, com maiores quantidades de P no momento da trituração para T1 para o sistema vertical e horizontal. As quantidades de fósforo no 3^o mês ficaram entre 0,46 kg ha⁻¹ (T1 TV⁴) e 0,22 kg ha⁻¹ (T2 TH⁵) (Figura 16 c). A mesma tendência foi observada no 10^o mês, com maior quantidade de P de 0,22 kg ha⁻¹ para T1 TV e a menor de 0,15 kg ha⁻¹ para T2 TH. Essa menor quantidade de P remanescente no T2 TH foi resultado da menor quantidade de nutrientes observada nesse material na trituração em relação ao TV. As quantidades de nutrientes remanescentes para as demais classes de tamanho (Figura 16 d) foram de 0,30 kg de P ha⁻¹ para T1 TH e 0,42 kg de P

⁴ TH: Triturador horizontal

⁵ TV: Triturador vertical

ha⁻¹ para T2 TV para o 3^o mês, e 0,15 kg de P ha⁻¹ T1 TH e 0,18 kg de P ha⁻¹ T2 TV, no 10^o mês. A tendência na quantidade de P possivelmente, entre as classes (T1, T2), no final do 10^o mês, é de aproximação, mostrando que, possivelmente a maior parte dos nutrientes armazenados na biomassa foram liberados.

Nos fragmentos maiores, a quantidade inicial de P foi menor. A maior quantidade foi de 0,53 kg ha⁻¹, no T3 TV, e a menor de 0,35 kg ha⁻¹, no T3 TH. No 3^o mês, a quantidade de P para esses tratamentos foi de 0,31 kg ha⁻¹, no T3 TV, e 0,18 kg ha⁻¹, no T3 TH, declinando no 10^o mês para quantidades de nutrientes remanescentes de 0,08 kg ha⁻¹ (T3 TV) e 0,13 kg ha⁻¹ (T3 TH). Da mesma forma que para as classes menores, (T1 e T2), as classes T3 e T4, no final do 10^o mês, apresentaram apenas uma pequena parcela de nutrientes a serem liberados.

Com pequenas oscilações entre tratamentos no 10^o mês, a quantidade de nutrientes remanescentes para essa época mostrou-se, tanto para N como para P, nas classes T3 e T4 muito próxima, indicando que embora existissem quantidades maiores de nutrientes iniciais, essas são perdidas até esse momento.

O potássio apresentou maiores quantidades iniciais para o sistema vertical para T1 e T2 (Figura 16 e), respectivamente 2,37 kg ha⁻¹ e 1,99 kg ha⁻¹, e menores quantidades para T1 e T2 no sistema horizontal. No 3^o a maior quantidade de K remanescente foi de 0,42 kg ha⁻¹ no T2 TV e a menor de 0,24 kg ha⁻¹ no T1 TH, enquanto que, no 10^o mês, a quantidade remanescente foi de 0,42 kg ha⁻¹ no T2 TV e 0,23 kg ha⁻¹ no T1 TH. O incremento da quantidade de K no 10^o mês em relação ao 3^o, no T2 TV pode ter sido resultante de variabilidade da amostra analisada ou erro de análise. As classes de fragmentos T3 e T4 (Figura 16 f) para o sistema vertical foram as que mostraram um decréscimo na quantidade de K remanescente, com valores iniciais correspondentes de 3,49 kg ha⁻¹ no T4 e 1,76 kg ha⁻¹ no T3, decrescendo as quantidades remanescentes para 1,31 kg ha⁻¹ (T4) e 1,60 kg ha⁻¹ (T3) no 3^o mês e 0,63 kg ha⁻¹ e 0,53 kg ha⁻¹ no 10^o mês. As classes T3 e T4 para o sistema horizontal apresentaram valores de K remanescente de 0,88 kg ha⁻¹ (T4) e 0,46 kg ha⁻¹ (T3). No entanto, os valores para o momento da trituração e 3^o mês apresentam variações não explicáveis, provavelmente ocasionados por variabilidade nas amostras.

O elemento cálcio mostrou-se decrescente para todas as classes (Figura 17 a, b) para ambos os sistemas trituradores ao longo do tempo, com quantidades de Ca variando de 18,48 kg ha⁻¹ (T1 TH) 4,56 kg ha⁻¹ (T4 TH) no 3^o mês. Para o 10^o

mês, as quantidades remanescentes de Ca (T4 TH) foram similares, concluindo-se que as maiores liberações para o segundo ciclo serão oriundas de T1 TV e T2 TH.

O magnésio teve comportamento de decréscimo similar no T1 TH e T2 TH, (Figura 17 c, d), tendendo a decréscimo do ato da trituração para o 3^o mês. Para o 10^o mês, todas as quantidades de cálcio remanescente decresceram para valores entre 0,60 kg ha⁻¹ de Mg (T1 TH), e 0,92 kg ha⁻¹ de Mg (T1 TV).

Para todos os elementos (Figura 16 e 17), salvas as variações existentes entre os tratamentos, observou-se que no 10^o mês a tendência é de a maior parte dos nutrientes já tenha sido perdida, resultando em quantidades de nutrientes remanescentes bastante pequenas. As maiores quantidades iniciais de nutrientes e maiores liberações de nutrientes (perdas), estão nas frações de menor tamanho.

A relação C/N para todos os tamanhos de material foi muito alta, o que faz com que os nutrientes fiquem imobilizados pelos microorganismos decompositores. Para o material de menor tamanho (T1), a relação ficou em 26,05 para o sistema de trituração vertical e 28,61 T2 no 3^o mês, declinando para valores um pouco menores no 10^o mês de 24,35 (T1) e 26,34 (T2) para o mesmo sistema. A maior relação C/N foi observada para a classe T2 para o sistema de trituração horizontal. Para as classes T3 e T4, a relação C/N variou de 111,80 (T4 TH) a 77,28 (T4 TV) no momento da trituração. A menor relação C/N observada ao final do 10^o foi de 50,56 para T3, utilizando-se do sistema vertical de trituração. Os demais tratamentos ficaram com valores em torno de 80. Relações C/N superiores a 25, conforme Lenthe (1991), são indicadores de que não existe N suficiente para os microorganismos. Valores abaixo de 25 são considerados satisfatórios quanto a disponibilização de N e outros nutrientes.

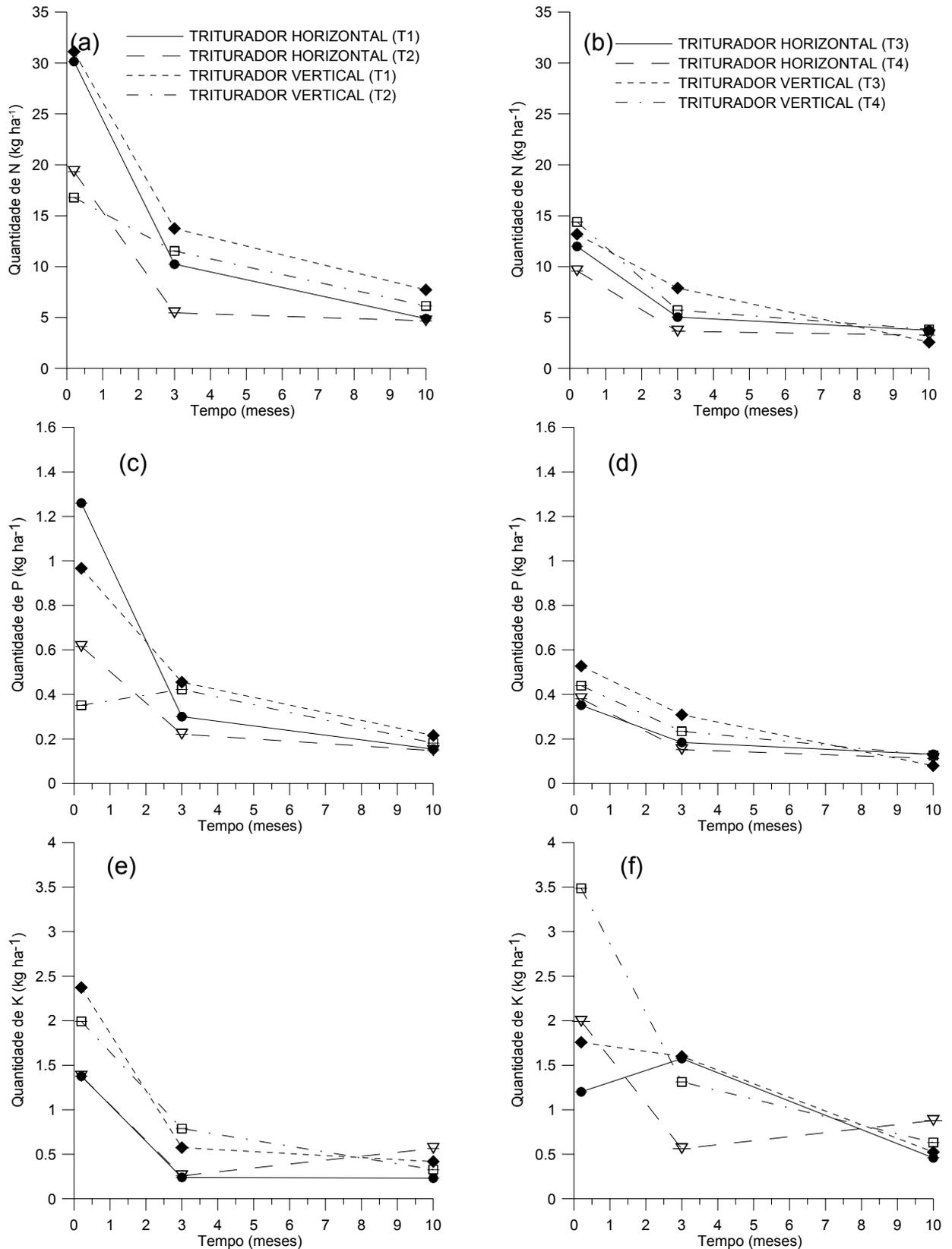


Figura 16 – Quantidades de nitrogênio (a , b), fósforo (c, d) e potássio (e, f), remanescentes durante o processo de decomposição de material triturado no cultivo da mandioca.

T1:1<T<7; T2:7<T<25; T3:25<T<35; T4:T>35 (mm).

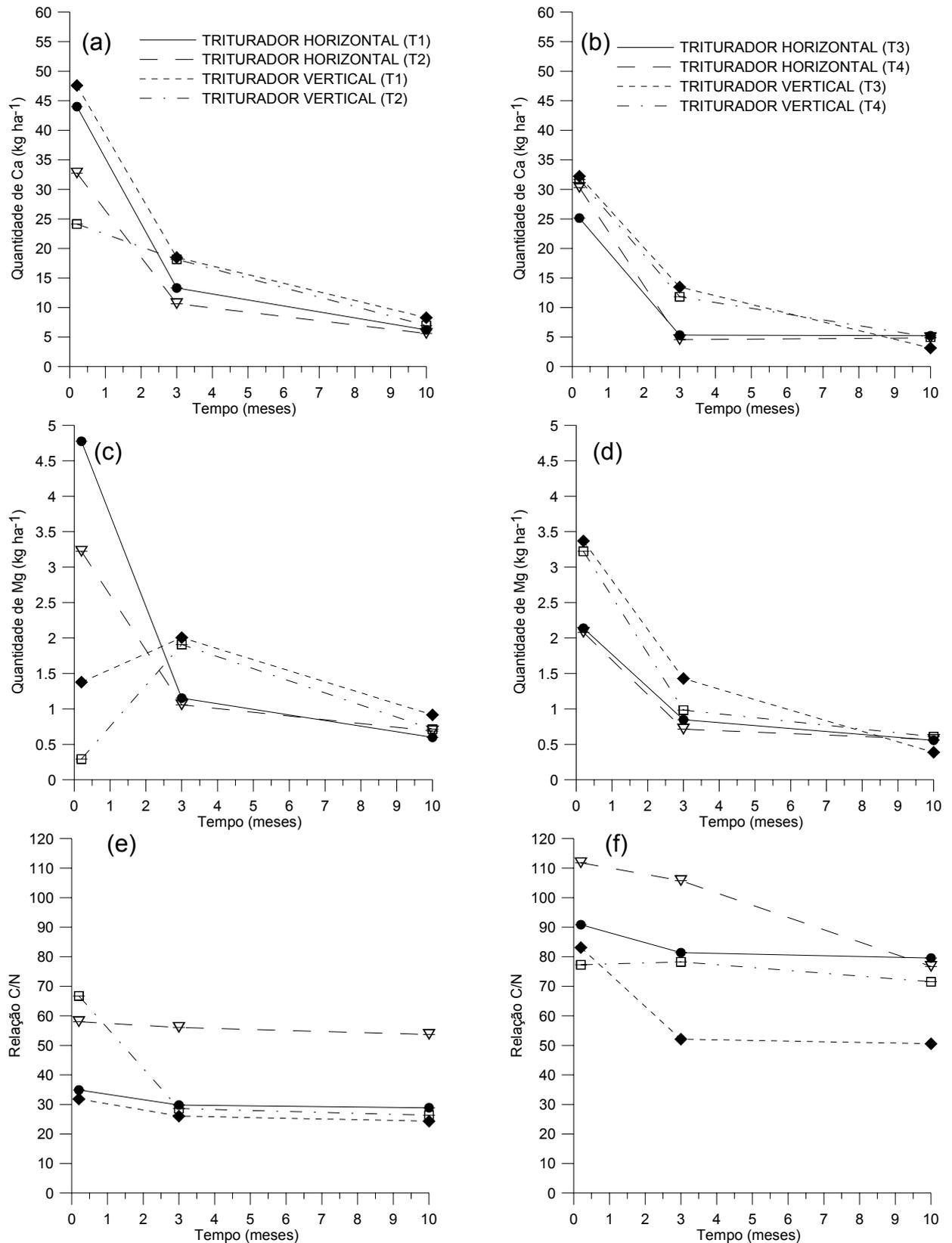


Figura 17 – Quantidades de cálcio (a, b), magnésio (c, d) e relação C/N (e, f), remanescentes durante o processo de decomposição do material triturado no cultivo da mandioca.

T1:1<T<7; T2:7<T<25; T3:25<T<35; T4:T>35 (mm).

Os valores dos teores e concentração de nutrientes ao longo do período de decomposição encontram-se especificados na Figura 18. As maiores concentrações iniciais e os maiores valores de perda de nitrogênio foram observados para o material sem forma (SF) e para o material com casca (CC).

Os teores de nitrogênio no momento da trituração eram $5,05 \text{ g kg}^{-1}$ para SF e $3,23 \text{ g kg}^{-1}$ para CC. Os materiais CC e SF seguiram a tendência ascendente com valores de liberação de nitrogênio nas duas análises subseqüentes de $9,08 \text{ g kg}^{-1}$ (SF) e $5,47 \text{ g kg}^{-1}$ (CC), no 3º mês, e $9,57 \text{ g kg}^{-1}$ (SF) e $6,18 \text{ g kg}^{-1}$ (CC), para o 10º mês de exposição.

A menor fração de N foi determinada no material completamente desfiado (CD), com uma concentração inicial de $2,23 \text{ g kg}^{-1}$, liberando quantidades de N de $3,28 \text{ g kg}^{-1}$ para o 3º mês e de $3,94 \text{ g kg}^{-1}$ de N para o 10º mês. Em síntese, foi observada uma liberação gradativa de N no material em decomposição ao longo do tempo.

O maior teor de P foi determinado para SF, no momento do preparo, ao 3º mês e no 10º mês. No momento da trituração, CD e PD não diferiram entre si, enquanto PD não diferiu de C e CC. A menor quantidade de P determinada foi de $0,1 \text{ g kg}^{-1}$ (PT), enquanto a maior foi de $0,28 \text{ g kg}^{-1}$ (SF). No 3º mês de cultivo, a maior perda foi de $0,3 \text{ g kg}^{-1}$ (SF) e a menor de $0,13 \text{ g kg}^{-1}$ (CD). Vale ressaltar que essa época coincidiu com o auge das chuvas do inverno da região (Figura 6). Os dados de diminuição da liberação de nutrientes concordam com o estudo de Denich (1991), em que o autor afirmou que, após o a perda na fase inicial dos elementos facilmente decomponíveis, ocorre uma estagnação na decomposição.

Os materiais triturados CC, PT, C, PD e CD tiveram comportamento muito semelhante, com valores de liberação de nutrientes variando entre $0,19$ (CC) e $0,13 \text{ g kg}^{-1}$ (CD). No 10º mês, os materiais SF e CC seguiram uma mesma tendência, porém com queda nos valores de perda: $0,28 \text{ g kg}^{-1}$ (SF) e $0,15 \text{ g kg}^{-1}$ (CC).

Quanto ao potássio (K), o material com casca (CC) foi o que apresentou a maior concentração de K ($0,91 \text{ g kg}^{-1}$), correspondendo também ao material que mais liberou K no 3º mês ($2,09 \text{ g kg}^{-1}$). Embora com uma perda intermediária muito próxima dos demais materiais para o 3º mês ($0,41 \text{ g kg}^{-1}$), PT foi o material que ascendeu o valor de perda de K para $0,94 \text{ g kg}^{-1}$ no 10º mês.

Quanto ao elemento cálcio (Ca), durante o intervalo de exposição, os materiais CC e SF tiveram as maiores concentrações do elemento no momento da

trituração, de 11,09 g kg⁻¹ (SF) e 7,45 g kg⁻¹ (CC). No 3^o mês, enquanto que CC liberou uma quantidade de 10,02 g kg⁻¹ acima da concentração inicial, SF liberou uma quantidade 9,39 g kg⁻¹. Da mesma forma, para o 10^o mês as maiores quantidades liberadas foram para SF e CC, respectivamente 12,05 g kg⁻¹ e 12,38 g kg⁻¹. O material parcialmente triturado (PT) seguiu uma tendência aproximada a CC e SF, porém com valores bem inferiores a estes.

Quanto ao magnésio (Mg), CC, SF e PT foram os materiais que apresentaram as maiores concentrações iniciais do elemento, respectivamente 0,63 g kg⁻¹, 0,77 g kg⁻¹ e 0,36 g kg⁻¹. Verificou-se que, nesses materiais, a perda de Mg comportou-se de forma ascendente, com valores correspondendo ao 3^o mês a 1,17 g kg⁻¹ (SF) 1,2 g kg⁻¹ (CC) e 0,66 g kg⁻¹ (PT). O mesmo comportamento foi observado para o 10^o mês, com valores correspondendo a 1,41 g kg⁻¹ (SF), 1,44 (CC) e 0,91 g kg⁻¹ (PT).

Houve uma tendência na perda de nutrientes entre os materiais que possuem porcentagens diferentes de casca em seu entorno (CC, PT e SF), sendo esses os materiais que mais perderam nutrientes ao longo do tempo. Esse fato pode ser justificado pela maior concentração de nutrientes na casca. Conforme estudo de Schumacher et al. (2003), a concentração de nutrientes pode variar bastante com a espécie, mas em geral, após o componente folha que apresenta as maiores concentrações, a casca é onde ocorre a maior concentração de nutrientes principalmente cálcio.

A relação C/N decresceu para todos os tipos de material triturado, sendo o material sem forma (SF) o que indicou os menores valores de C/N, decrescendo de 70,48 no momento da trituração para 33,43 no 10^o mês.

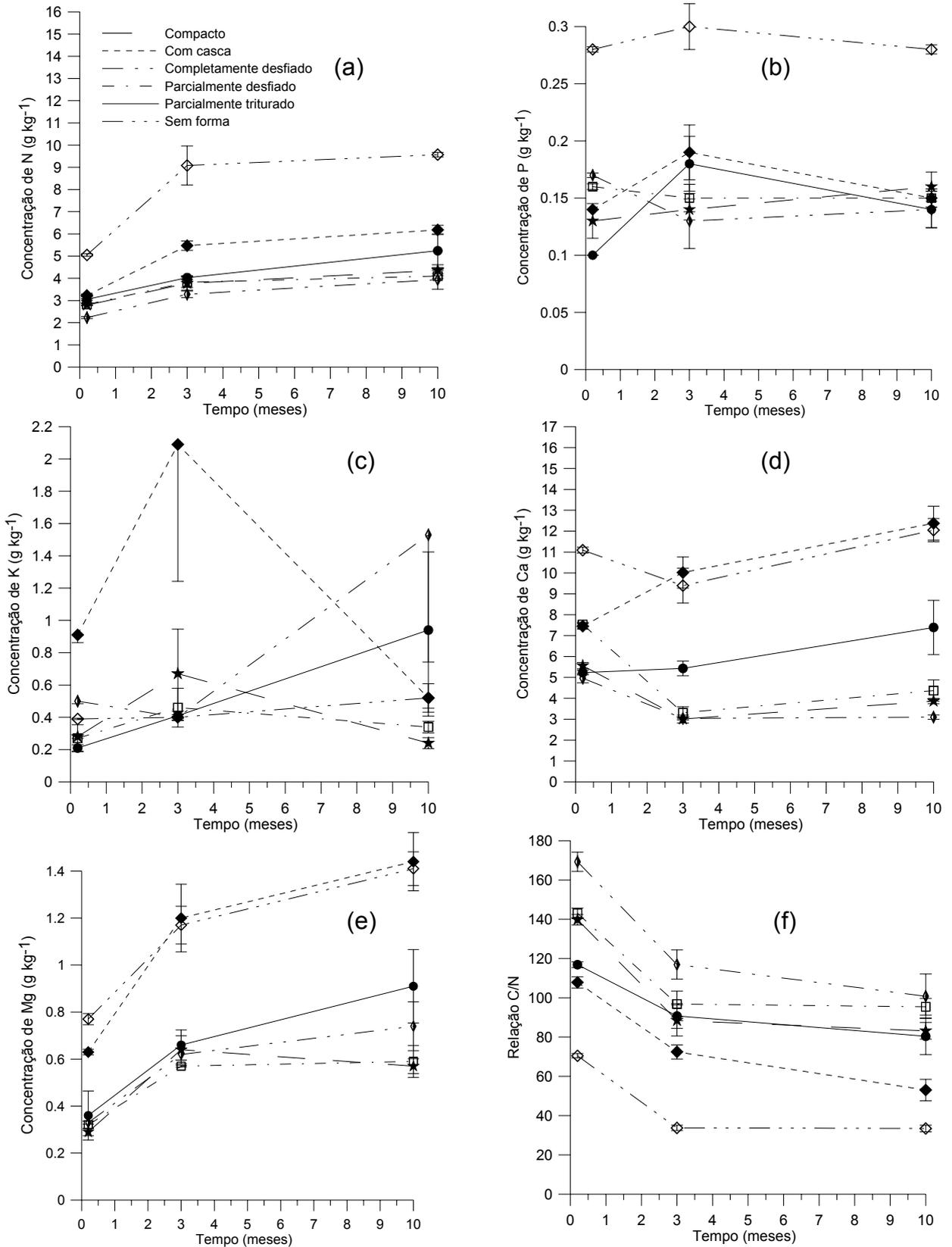


Figura 18 – Teores de nitrogênio (a), fósforo (b) e potássio (c), cálcio (d), magnésio (e) perdidos durante o processo de decomposição de material triturado no cultivo da mandioca e relação C/N (f).

4.4.6 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

A caracterização química do solo para as áreas cultivadas com mandioca no momento da trituração e após o 1º ano de cultivo, está apresentada na Figura 19.

Em função do interesse para a cultura da mandioca serão discutidos os valores de disponibilidade de nutrientes nas camadas superficiais (0-0,2 m). Os teores de matéria orgânica (MO), nas profundidades de 0,05-0,1 e 0,1-0,2, tiveram pequenos incrementos em ambos os sistemas de trituração utilizados. Na profundidade de 0-0,05 m para o sistema de preparo horizontal, houve um incremento de 0,07 %; no entanto, os maiores incrementos em MO foram observados nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,1 e 0,1-0,2, variando de 0,52 a 0,25% no sistema vertical e de 0,17 e 0,15 no sistema horizontal para as referidas profundidades.

A disponibilidade de fósforo (P) aumentou no preparo realizado com o sistema vertical de trituração de 3,2 para 5,42 mg L⁻¹ nos primeiros 0,05 m superficiais de solo, enquanto que houve um decréscimo de 2,50 para 1,50 mg L⁻¹ no preparo efetuado com o sistema horizontal de trituração. A disponibilidade desse elemento aumentou na trituração pelo sistema vertical para as profundidades de 0,05-0,1 m de 2,85 para 5 mg L⁻¹, e na de 0,1-0,2 m de 1,5 para 2,17 mg L⁻¹ e diminuiu para a utilização do sistema horizontal de trituração.

O potássio também se mostrou decrescente quanto à disponibilidade do elemento na utilização do sistema de preparo horizontal, enquanto que aumentou nas áreas com utilização do preparo com sistema vertical. Os valores aumentaram de 24 para 37,5 mg L⁻¹ (0-0,05 m), de 22 para 31,5 mg L⁻¹ (0,05-0,1 m) e de 17 para 20,5 mg L⁻¹ (0,1-0,20 m). Na utilização do sistema horizontal foram observados pequenos decréscimos na disponibilidade desse nutriente.

A saturação de bases (Figura 20) comportou-se com decréscimo para ambas as áreas principalmente nas duas camadas superficiais (0-0,05 e 0,05-0,1 m), reduzindo-se os valores de 63 para 52% no sistema de preparo com triturador vertical e de 58,50 para 38,75 % no sistema de preparo com triturador horizontal na camada de 0-0,05 m. Na camada de 0,05-0,1 m, o decréscimo foi de 56,50 para 17% no sistema de preparo vertical e de 53 para 22,25 % na utilização do sistema horizontal.

Enquanto a saturação de bases diminuiu, a saturação por alumínio (Anexo 10) aumentou, com pequenos incrementos de valores, passando de nulos na camada superficial (0-0,05 m) para valores de 0,75 % no sistema horizontal e 4 % no sistema vertical. Na camada de 0,05-0,1 m, o incremento foi em torno de 19% para ambos os sistemas de preparo. O pH (Anexo 10) manteve-se praticamente sem alterações para as duas análises efetuadas.

As mensurações para os elementos cálcio e magnésio encontram-se especificados na Figura 20. Na camada superficial (0-0,05 m) para o elemento cálcio, ocorreram decréscimos de 2,85 para 1,87 $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ na utilização do sistema de trituração vertical e de 2,8 para 1,3 $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ na utilização do sistema de trituração horizontal. Da mesma forma para a camada de 0,05-0,1 m, ocorreram decréscimos de 2,1 para 0,32 $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ no sistema vertical e de 2,2 para 0,75 $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ para o sistema horizontal. Na profundidade de 0,1-0,2; no entanto, o decréscimo foi superior maior na área preparada pelo sistema vertical de 1,45 para 0,15 $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$, enquanto que para o sistema horizontal o valor se manteve praticamente inalterado após 1 ano.

O comportamento do magnésio disponível foi semelhante ao Ca seguindo as mesmas tendências entre as duas mensurações. Os teores de Mg reduziram substancialmente no preparo realizado com o sistema vertical de preparo na profundidade de 0,1 a 0,2 m.

Embora o volume de material triturado para T1 e T2 nos dois sistemas de trituração tenha sido semelhante, (64% (T1+T2) para o sistema horizontal e 56% para o sistema vertical), T1 no sistema horizontal e T2 para o sistema vertical, foram as classes de material que liberaram a maior quantidade de nutrientes durante o período em estudo para N, P, K, Ca e Mg, porém com liberação momentaneamente superior em todos os casos para sistema vertical.

Essa maior liberação de nutrientes do material triturado pelo sistema vertical afetou a disponibilidade dos mesmos no solo, aumentando a disponibilidade de P e K no sistema vertical e aumentando o do teor de MO em ambos os sistemas, mas diminuindo os teores de Ca, Mg e saturação de bases nos dois sistemas.

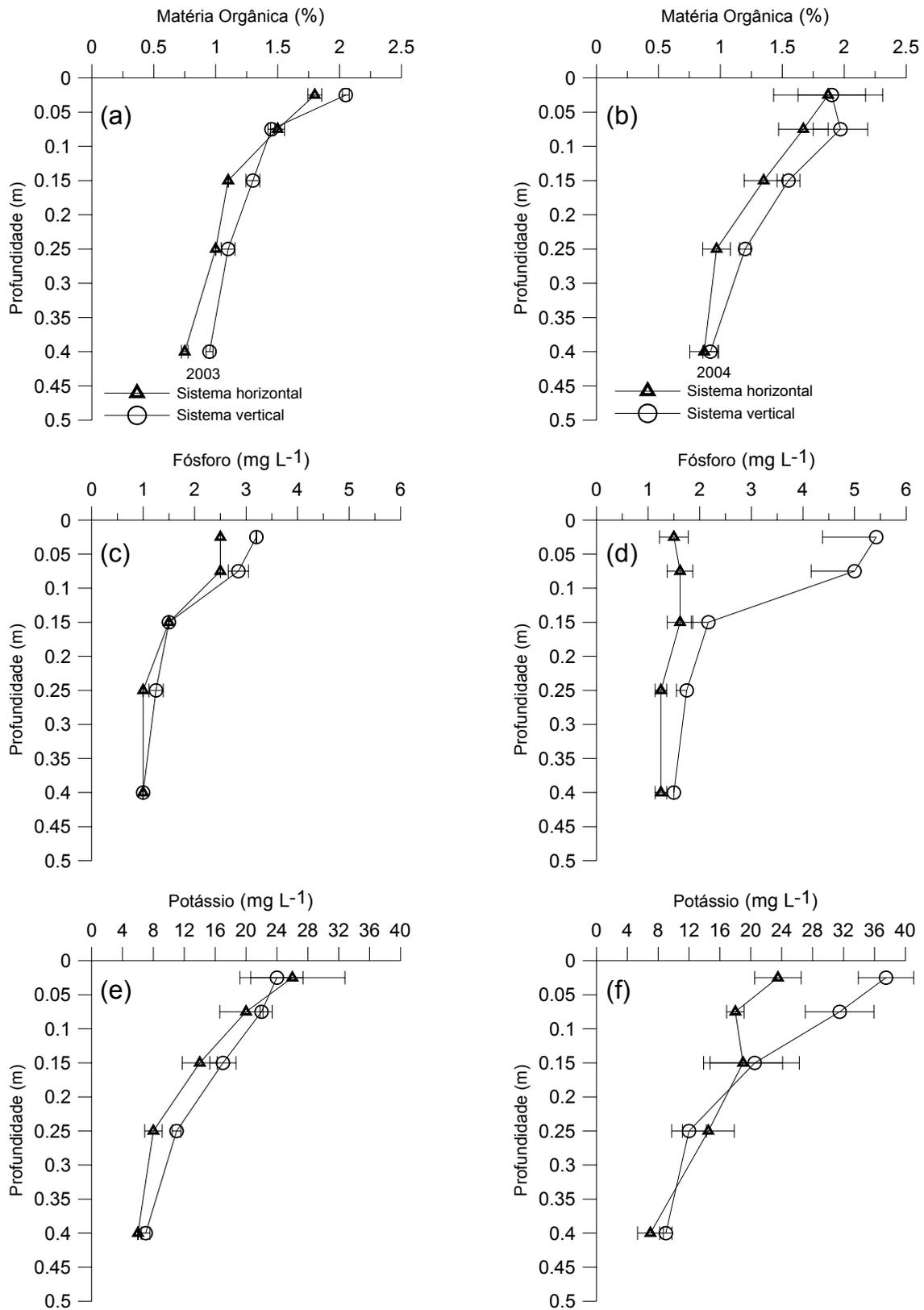


Figura 19 – Nutrientes do solo, analisados em duas etapas: trituração (abril 2003) e décimo mês de cultivo (fevereiro de 2004), matéria orgânica (a, b), fósforo (b, c), potássio (e, f).

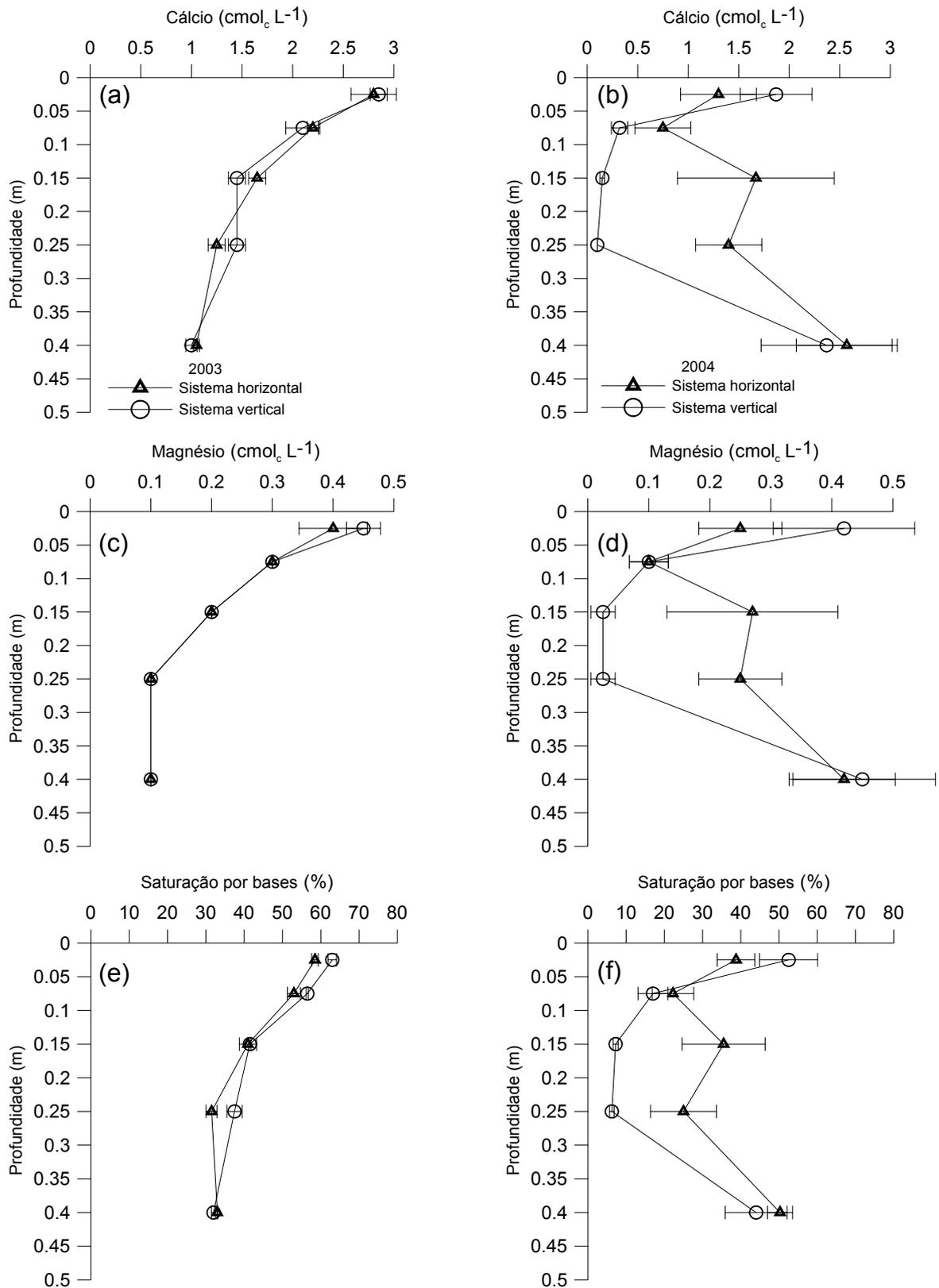


Figura 20 – Nutrientes do solo, analisados em duas etapas: trituração (abril 2003) e décimo mês de cultivo (fevereiro de 2004), cálcio (a, b) e magnésio (c, d) e saturação por bases (e, f).

4.4.7 PRODUTIVIDADE DE MANDIOCA

A produtividade de mandioca (Tabela 4) não diferiu entre os dois sistemas de preparo, embora na área preparada com o sistema horizontal de trituração a produtividade tenha sido 3,5% superior ao sistema de trituração com rotor vertical duplo. Da mesma forma, a altura de plantas e biomassa acima do solo não diferiram entre os dois sistemas de preparo de área.

Em avaliação de produtividade de mandioca em área preparada por trituração a partir de capoeira de 4 anos de idade, Secco & Kato (2003) encontraram produção de 14,5 Mg ha⁻¹ em parcelas manejadas sem adubação suplementar no plantio, similar a produtividade alcançada neste estudo.

Tabela 4 – Produtividade, altura, e biomassa acima do solo para área cultivada com mandioca utilizando dois sistemas alternativos de preparo.

Sistema de preparo	Avaliações		
	Altura de planta (cm)	Biomassa (Mg ha ⁻¹)	Produtividade (Mg ha ⁻¹)
Rotor Horizontal	206 a	3,89 a	13,06 a
Rotor vertical duplo	238 a	2,78 a	12,60 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna para as respectivas avaliações não diferem entre si, pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

4.5 CONCLUSÕES

- 1- Os fragmentos de material lenhoso com resquício de casca foram os que liberaram as maiores quantidades de nutrientes, principalmente para N, P e Mg.
- 2- As quantidades de nutrientes remanescentes, para o segundo ciclo de cultivo, foram baixas.
- 3- A maior liberação de nutrientes do material triturado pelo sistema vertical afetou a disponibilidade dos mesmos no solo, aumentando a disponibilidade de P e K
- 4- A maior liberação de nutrientes do material triturado pelo sistema vertical afetou a disponibilidade dos mesmos no solo, aumentando a disponibilidade de P e K no sistema vertical e aumentando o teor de M.O em ambos os sistemas, mas diminuindo os teores de Ca, Mg e saturação de bases nos dois sistemas.
- 5- A utilização do sistema de preparo com triturador horizontal, em função da mobilização mínima do solo no duplo processo de trituração, levou a diminuição da saturação de bases, diminuindo a disponibilização de nutrientes para o cultivo de mandioca.
- 6- A produtividade da mandioca não mostrou diferença estatística entre os sistemas alternativos de trituração.