

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS**  
**ENERGÉTICAS E NUCLEARES**

**FRAÇÕES DE CARBONO E DE NITROGÊNIO EM UMA**  
**MICROBACIA COM DIFERENTES USOS DO SOLO.**

**SANDRA REGINA DA SILVA GALVÃO**

**RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL**  
**AGOSTO/ 2003**

**FRAÇÕES DE CARBONO E DE NITROGÊNIO EM UMA  
MICROBACIA COM DIFERENTES USOS DO SOLO.**

**SANDRA REGINA DA SILVA GALVÃO**

**SANDRA REGINA DA SILVA GALVÃO**

**FRAÇÕES DE CARBONO E DE NITROGÊNIO EM UMA  
MICROBACIA COM DIFERENTES USOS DO SOLO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares – PROTEN. Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de Concentração: Aplicação de Radioisótopos - Fertilidade de Solos.

ORIENTADOR: PROF. DR. IGNACIO HERNAN SALCEDO

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. RÔMULO SIMÕES C. MENEZES

RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL

AGOSTO/ 2003

FRAÇÕES DE CARBONO E DE NITROGÊNIO EM UMA MICROBACIA  
COM DIFERENTES USOS DO SOLO.

Sandra Regina da Silva Galvão

**APROVADA EM: 05/08/2003**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Ignacio Hernan Salcedo - CTG-DEN/UFPE, Presidente/ Orientador

---

Prof. Dr. Rômulo Simões C. Menezes - CTG-DEN/UFPE, Co-orientador

---

Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio – CTG-DEN/UFPE

---

Prof. Dr. Fernando José Freire – PPGCS/UFRPE

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vânia da Silva Fraga – CCA/UFPB

Visto e permitida a impressão

---

Coordenador do PROTEN/DEN/UFPE

A **DEUS**, pela vida

À minha mãe **Iolanda Galvão**  
Ao meu pai **Silvio Galvão**

A minha irmã **Silvanda Galvão e meus sobrinhos**

**Dedico.**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Salcedo, expresso meu eterno agradecimento, pela orientação segura, em todas as etapas da preparação deste trabalho, pelo apoio, compreensão e em especial pela atenção e carinho recebidos.

Ao Professor Rômulo Menezes, pela co-orientação e apoio.

Ao Departamento de Energia Nuclear (DEN/PROTEN) e ao PROTEN, pela oportunidade para a realização deste trabalho.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Inter American for Global Change Research (IAI) e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Aos Professores Fernando José Freire, José Ramon Cantalício e Maria Betânia Galvão dos Santos Freire pela participação no comitê de acompanhamento e pelas sugestões que contribuíram com a melhoria de nossa pesquisa.

A Professora Izabel Cristina de Luna Galindo, por ter me conduzido a este maravilhoso estudo, que é a Ciência do Solo, e pelo apoio e incentivo ao meu crescimento científico e pessoal.

À Professora Vânia da Silva Fraga, pela pronta disposição a auxiliar em eventuais necessidades.

Ao Professor e amigo Antônio Clementino dos Santos pelo compartilhamento das amostras, conhecimento da área de trabalho e pela ajuda sempre fornecida nas horas mais necessárias, meu eterno agradecimento.

Aos amigos do Laboratório de Radioagronomia/Fertilidade do Solo (técnicos e estudantes): Clau, Gilberto, Pedrinho, Clarindo, Eduardo, Regina, Aldrin, Kássia e Tácio.

Aos eternos amigos da UFRPE, Sandro, Alexandre e Silvana, e suas respectivas famílias, todo o meu agradecimento e carinho.

Às amigas Nina, Angela e Ecilda pelo apoio, força e fé que me passaram, não me deixando dispersar de meus objetivos pessoais e profissionais.

Ao meu querido avô Walter Pimentel, que sempre me incentivou nos meus estudos e na minha vida, me aconselhando e me fortalecendo em todos os momentos de minha vida, meu eterno agradecimento.

A toda a minha família, pelo apoio e incentivo.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xii
1.0 INTRODUÇÃO .....	1
2.0 REVISÃO DE LITERATURA	
2.1 Importância da matéria orgânica do solo .....	2
2.2 Suprimento de nitrogênio pela matéria orgânica do solo .....	4
2.3 Frações lábeis da matéria orgânica do solo .....	5
3.0 MATERIAL E MÉTODOS	
3.1 Caracterização da área .....	7
3.2 Amostragem do solo .....	10
3.3 Textura .....	11
3.4 Análises Químicas.....	11
3.4.1 Carbono total .....	11
3.4.2 Carbono oxidável por permanganato .....	13
3.4.3 Nitrogênio total .....	14
3.4.4 Nitrogênio amino-açúcar .....	14
3.5 Análises estatísticas .....	14
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES	
4.1 Efeito do uso do solo .....	19
4.2 Efeito da textura .....	28
4.3 Efeito das posições do relevo.....	34
4.4 Efeito da interação uso do solo vs. textura .....	35
5.0 CONCLUSÕES	39
6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

## LISTA DE TABELAS

No	Título	Página
1	Resumo do número de amostras de solo por estrato na microbacia Vaca Brava.....	12
2	Valores da média, desvio-padrão, mínimo e máximo de carbono e nitrogênio total e suas frações em amostras de solo da microbacia Vaca Brava em Areia/PB (n=362) .....	16
3	Teores médios ( $\pm$ erro padrão) de C total, C oxidável, C oxidável/C total, N total e N amino-açúcar/N total em função dos diferentes sistemas de uso do solo.....	22
4	Efeito do uso do solo sob sistema agrícola nos teores médios ( $\pm$ erro padrão) de C total, C oxidável, C oxidável/C total, N total, N amino-açúcar e N amino-açúcar/N total.....	26
5	Efeito da textura nos teores médios ( $\pm$ erro padrão) de C total, C oxidável, C oxidável/C total, N total e N amino-açúcar/N total .....	31
6	Equação de regressão e coeficiente de determinação entre as variáveis estudadas e elas em relação aos teores de argila e finos (silte+argila) .....	32
7	Efeito da posição do relevo nos teores médios ( $\pm$ erro padrão) de C total, C oxidável, C oxidável/C total, N total, N amino-açúcar e N amino-açúcar/N total .....	37
8	Efeito da interação uso do solo x textura no teor médio de N amino-açúcar ( $\text{g kg}^{-1}$ solo) .....	38



**LISTA DE FIGURAS**

No	Título	Página
1	Mapa esquemático da localização da microbacia Vaca Brava .....	9
2	Relação entre carbono oxidável e nitrogênio amino-açúcar nas amostras de solo (n=362) da microbacia Vaca Brava .....	18
3	Relação entre C total e C oxidável (a) e N total e N amino-açúcar (b) em função dos diferentes sistemas de uso .....	21
4	Distribuição espacial do teor de C oxidável no solo da microbacia Vaca Brava .....	27
5	Distribuição espacial do teor de N amino-açúcar no solo da microbacia Vaca Brava .....	27
6	Relação entre C total e C oxidável (a) e N total e N amino-açúcar (b) em função das diferentes texturas .....	30
7	Relação entre os teores de argila e C total nas amostras de solo de mata e exploração agrícola da microbacia Vaca Brava .....	33
8	Relação entre C total e C oxidável (a) e N total e N amino-açúcar (b) em função das diferentes posições no relevo .....	36

## FRAÇÕES DE CARBONO E DE NITROGÊNIO EM UMA MICROBACIA COM DIFERENTES USOS DO SOLO.

### RESUMO

A produtividade em sistemas agrícolas de subsistência ou de baixos insumos depende do fornecimento de nutrientes provenientes da mineralização da matéria orgânica do solo (MOS). Portanto, a quantidade e a qualidade da matéria orgânica são duas variáveis fundamentais à sustentabilidade da produção agropecuária de subsistência. A hipótese do trabalho foi de que a quantidade e qualidade da MOS são afetadas diferentemente pelo uso do solo e pelas posições no relevo. A fim de analisar as inter-relações entre essas variáveis, foram coletadas amostras de solo ( $n=362$ ) na microbacia Vaca Brava, localizada nos municípios de Areia e Remígio – PB. A amostragem foi estratificada pelo uso do solo (roçado, sabiá, capoeira, capineira, pastagem e mata nativa) e posições do relevo (topo, ombro, meia encosta, pedimento e várzea). Nas amostras determinaram-se os teores de carbono total (Ct), nitrogênio total (Nt), carbono oxidável (Cox) e nitrogênio amino-açúcar (Namino). A textura também foi incluída como variável qualitativa na análise de variância, com cinco classes texturais. Não houve interação entre uso do solo, relevo e textura nos teores de Ct, Nt, Cox, Cox/Ct e Namino/Nt, com exceção de uso vs. textura no teor de Namino. Os teores médios de Ct, Cox e Nt foram maiores ( $p<0,05$ ) nas amostras de mata (27,4, 2,34 e 1,67 g kg<sup>-1</sup> solo, respectivamente), intermediários ( $p<0,05$ ) em capoeira e sabiá (16,0, 1,29 e 1,02 g kg<sup>-1</sup> solo, respectivamente) e menores ( $p<0,05$ ) em capineira, pastagem e roçado (11,4, 0,94 e 0,71 g kg<sup>-1</sup> solo, respectivamente). Esses valores provavelmente representam três níveis de intensidade de uso do solo. As concentrações de Namino também decresceram nessa ordem, mas as diferenças foram significativas nos casos de mata, capoeira, capineira e roçado e não foram significativas os casos de pastagem e sabiá em

função das diferentes texturas. As razões Namino/Nt e Cox/Ct (apresentadas como percentagem) foram consideradas como índices da qualidade da matéria orgânica, uma vez que representam a proporção do Ct e Nt mais lábil. No caso de Namino/Nt, sabiá (7,56%), pastagem (7,16%) e mata (7,11%) apresentaram maiores valores ( $p<0,05$ ) do que roçado (6,35%); já com relação à proporção Cox/Ct, os maiores valores ( $p<0,05$ ) foram para os sistemas sabiá (6,89%) e capineira (6,61%) e o menor ( $p<0,05$ ) valor para pastagem (6,01%). Para se obter uma maior sensibilidade na análise do uso agrícola do solo foi realizada uma segunda análise com exclusão dos sistemas naturais (mata nativa, sabiá e capoeira). Neste caso, Ct, Nt, Namino e Namino/Nt foram maiores na pastagem e menores no roçado ( $p<0,05$ ). As áreas de capineira foram semelhantes aos outros dois sistemas agrícolas com relação à Ct e Nt. O teor de Cox foi semelhante para os três sistemas agrícolas, sendo, portanto, menos sensível que Namino. Em relação a granulometria, os maiores teores ( $p<0,05$ ) de Ct (26,65 g kg<sup>-1</sup> solo), Nt (2,20 g kg<sup>-1</sup> solo) e Cox (1,44 g kg<sup>-1</sup> solo) foram encontrados em amostras de textura argilosa e argilo arenosa enquanto os menores teores encontraram-se com textura areia franca, 7,94, 0,67 e 0,54 g kg<sup>-1</sup> solo, respectivamente. A relação Cox/Ct foi crescente ao mudar da textura mais grossa a mais fina enquanto Namino/Nt não foi afetada pelas classes texturais. A posição do relevo influenciou os teores de Ct, Cox, Nt e Namino ( $p<0,05$ ) da microbacia, considerando-se todos os sistemas de uso do solo (n=362). Os maiores teores ( $p<0,05$ ) de Ct, Cox, Nt e Namino foram encontrados na posição de meia encosta, topo e várzea, enquanto no pedimento, os menores teores. Os teores de Cox e Namino, de forma geral, acompanharam as variações nos teores de Ct e Nt. Por esse motivo as proporções Cox/Ct e Namino/Nt, embora tenham mudado significativamente com as variações de uso do solo, o fizeram em uma faixa muito estreita, originando dúvidas quanto ao potencial dessas frações para o diagnóstico de mudanças na qualidade da matéria orgânica do solo.

**Carbon and nitrogen fractions in soils from a watershed under different land uses.****ABSTRACT**

Productivity in subsistence or low input agricultural systems is largely dependent on nutrient supply from soil organic matter mineralization. For this reason, quantity and quality of soil organic matter are fundamental variables that control sustainability in subsistence agricultural systems. The hypothesis of this work was that soil organic matter quantity and quality are significantly affected by changes in land use and by relief. To study the interrelationships among those variables, soil samples (n=362) were collected within the Vaca Brava watershed, located in the municipalities of Remigio and Areia (PB). Sampling was stratified by soil use (subsistence agriculture, *Mimosa caesalpiniaefolia* reforestation, bush-fallow, napiergrass, grassland, and native forest) and positions in the relief (summit, shoulder, backslope, footslope, and alluvium). Samples were analyzed for total C (Ct), total N (Nt), oxidizable C (Cox), amino-sugar N (Namino), and particle-size distribution. Five textural classes were also included in the analysis of variance. No interactions were observed among land use, relief and texture in the Ct, Nt and Cox concentrations or Cox/Ct and Namino/Nt ratios. The only exception was the interaction of land use x texture upon Namino concentrations. Average concentrations of Ct, Cox and Nt were greater ( $p < 0,05$ ) under native forest (27,4, 2,34 and 1,67 g kg<sup>-1</sup> soil, respectively), intermediate ( $p < 0,05$ ) under bush fallow and reforestation (16,0, 1,29, 1,02 g kg<sup>-1</sup> soil, respectively) and smaller under napiergrass, grassland and subsistence agriculture (11,4, 0,94, 0,71 g kg<sup>-1</sup> soil, respectively). These concentrations probably represent three distinct levels of land use intensity. Namino concentrations also decreased in the same order but statistical significance were attained or not depending on textural classes. Namino/Nt and Cox/Ct ratios (showed as percentages) were considered as indexes of soil organic matter quality,

since they indicate the proportion of labile Ct and Nt. The Namino/Nt ratios were greater ( $p < 0,05$ ) under native forest (7,11%), reforestation (7,56%) and grassland (7,16%) than under subsistence crops. The Cox/Ct showed a different trend, having greater values ( $p < 0,05$ ) under reforestation (6,89%) and napiergrass (6,61%) and lower ( $p < 0,05$ ) under grassland (6,01%). To increase sensitivity in the analysis of data related to the more intense land uses these were re-analyzed separately, excluding native forest, reforestation and bush-fallow data. Concentrations of Ct, Nt, Namino and Namino/Nt were greater in grasslands than under subsistence agriculture ( $p < 0,05$ ), while areas under napiergrass had intermediate Ct and Nt concentrations that did not differ from the other two land uses. Concentrations of Cox were similar under grasslands, subsistence agriculture and napiergrass, indicating that it is less sensitive than Namino to land use change. In relation to texture ( $n=362$ ), the greater concentrations of Ct (26,7 g kg<sup>-1</sup> soil), Nt (2,20 g kg<sup>-1</sup> soil), and Cox (1,44 g kg<sup>-1</sup> soil), were found in clay and clay-sand textures ( $p < 0,05$ ); the smaller concentration occurred in the sandy loam textures ( $p < 0,05$ ) (7,94, 0,67 and 0,54 g kg<sup>-1</sup> soil, respectively). The Cox/Ct ratio increased with increasing finer textures while Namino/Nt was not affected by textural changes. The effect of position in the relief was analyzed for the complete data set and it influenced concentrations of Ct, Cox, Nt and Namino ( $p < 0,05$ ). The greater concentrations ( $p < 0,05$ ) of Ct, Cox, Nt and Namino were found at the summit, backslope and alluvium while the smaller concentration were found at the footslope. Overall, Cox and Namino contents followed changes in Ct and Nt contents. For this reason, the ratios Cox/Ct and Namino/Nt varied with land use change within a narrow range that, although statistically significant, left doubts about their potential use as a diagnostic tool for soil organic matter changes in quality.

## 1.0 INTRODUÇÃO

A conservação dos recursos naturais – solo, água e vegetação – é de vital importância para preservar nossos ecossistemas. A atuação do homem no uso da terra pela alta atividade agrícola tem diminuído os teores de matéria orgânica e de nutrientes no solo (Islam e Weil, 2000).

A biodiversidade, a atividade biológica e a matéria orgânica estão estreitamente e diretamente relacionadas com as funções e as características essenciais para a manutenção da capacidade produtiva dos solos (Stevenson, 1994).

A chave para manter a produtividade de sistemas agricultáveis é a manutenção dos níveis de matéria orgânica do solo (MOS) e a ciclagem de nutrientes a ela associados. Ambos estão intimamente relacionados através dos processos microbiológicos mineralização/imobilização (Duxbury et al., 1989).

Através da mineralização da matéria orgânica são disponibilizados nutrientes, sobretudo N, mas também P e S, para o crescimento das plantas. A fração lábil da matéria orgânica é aquela que pode se tornar mais rapidamente disponível às plantas, mantendo a produtividade. A mineralização da matéria orgânica depende de fatores climáticos, principalmente temperatura e umidade, que controlam a atividade dos microorganismos do solo.

Por esses motivos, a matéria orgânica é uma variável indicadora da qualidade do solo, pois se encontra estreitamente relacionada à maioria das propriedades do solo e é bastante sensível às mudanças nas práticas de manejo. Um modo de monitorar a degradação da qualidade do solo é acompanhar as mudanças em quantidade e qualidade (total e lábil) da MOS; as quantidades são bastante influenciadas pelo uso do solo e relevo do terreno, mas pouco se conhece quanto às mudanças em qualidade.

O trabalho foi realizado na microbacia de Vaca Brava, situada no município de Areia e Remígio – Paraíba, que é uma área ocupada predominantemente por minifundiários e por uma área de mata. Apresenta um relevo fortemente ondulado e com um uso do solo orientado para a agricultura e pecuária de subsistência, que por falta de um plano de uso e manejo racional dos solos está apresentando sinais de degradação do solo. O objetivo deste trabalho foi analisar as inter-relações de uso do solo, posições do relevo e da textura com os teores de C e N total e suas frações lábeis e avaliar a variabilidade espacial das frações lábeis.

## **2.0 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Importância da Matéria Orgânica**

A importância da matéria orgânica, para a sustentabilidade, é fundamental em situações em que não se deseja ou é impossível a adoção de uma agricultura convencional, baseada na utilização de insumos de alto custo energético e econômico. A agricultura familiar de subsistência nordestina faz pouco uso de fertilizantes, tornando desta maneira a produtividade dependente dos níveis de fertilidade natural dos solos e da ciclagem de nutrientes que está associada aos teores de MOS (Sampaio et al., 1995a; Tiessen et al., 1998).

Nesse sentido, a conversão do ecossistema natural em agricultura ou pastagem resulta num declínio da MOS e um decréscimo nos níveis de fertilidade do solo. A extensão deste declínio depende do balanço de entradas de resíduos orgânicos e inorgânicos que afetam o crescimento das plantas e o retorno de seus detritos (Mielniczuk, 1999; Craswell e Lefroy, 2001). O solo é o receptáculo final dos resíduos orgânicos de origem vegetal, animal e dos produtos das transformações destes, sendo a vegetação a principal responsável

pela deposição destes resíduos. Eles sofrem inicialmente decomposição parcial pela mesofauna e, posteriormente, ação decompositora pelos microorganismos (Bayer e Mielniczuk, 1999).

A sustentabilidade de um sistema agrícola dificilmente poderá ser avaliada pelo acompanhamento, no tempo, de um único atributo do solo; entretanto, o teor de matéria orgânica é o atributo que melhor indica as mudanças na qualidade do solo, pois se encontra intimamente associado às propriedades biológicas, químicas e físicas do solo (Mielniczuk, 1999).

A matéria orgânica do solo constitui a principal fonte de carbono para os microorganismos heterótrofos. Entretanto, nem todo carbono da matéria orgânica é transformado em célula microbiana; grande parte dele se perde sob a forma de  $\text{CO}_2$  num processo denominado de mineralização. Geralmente, 95% ou mais do N e S e entre 20 e 70% do P da camada superficial dos solos são encontrados na matéria orgânica (Moreira e Siqueira, 2002).

A matéria orgânica do solo é a força motriz para a atividade biológica do solo, atuando como fonte primária de energia e nutrientes para microorganismos heterótrofos do solo. A atividade biológica, por um lado, é responsável pela transformação de constituintes orgânicos em inorgânicos, através do processo de mineralização, que ficam disponíveis às plantas (Craswell e Lefroy, 2001). Por outro lado, quando os microorganismos são ativados mediante aportes de carbono, os nutrientes podem ficar retidos na biomassa microbiana, através do processo de imobilização. Estes processos antagônicos controlam a retenção ou liberação de N, P e S para as plantas. Do ponto de vista químico, a MOS é frequentemente a maior fonte de cargas negativas nos solos e sua manutenção é muito importante para a retenção de cátions no solo (Stevenson, 1994). A importância da MOS nas propriedades físicas baseia-se na sua participação como agente cimentante na agregação do solo,



influenciando, diretamente, na retenção de água, no arejamento, na penetração das raízes e na resistência à erosão (Scholes et al., 1994).

A variação nos teores de C orgânico total é causada pela falta de balanço entre a taxa de adição e a taxa de decomposição (Bayer e Mielniczuk, 1997). Em condições naturais, o solo encontra-se em equilíbrio dinâmico, por apresentar uma cobertura vegetal nativa e um equilíbrio entre as taxas de adição e perda de carbono. O uso do solo para fins agrícolas rompe esse equilíbrio, reduzindo os níveis de carbono orgânico no solo, primordialmente quando há revolvimento e eliminação de sua cobertura, dentre outros fatores que provocam a diminuição da proteção física da MOS.

## **2.2 Suprimento de Nitrogênio pela Matéria Orgânica do Solo**

O nitrogênio é um constituinte importante para as plantas, pois dele depende seu crescimento vegetativo e sua concentração na matéria seca oscila entre 1-2%. A planta absorve o nitrogênio na forma mineral ( $\text{NO}_3^-$  e/ou  $\text{NH}_4^+$ ), entretanto, mais de 95% do nitrogênio do solo encontra-se na forma orgânica. As principais formas de N orgânico são as de aminoácidos, cerca de 40 a 50% do N orgânico total do solo, formando parte de peptídeos, incluindo proteínas, e polímeros de amino-açúcares. Entretanto, cerca de 50% do N total do solo ainda não foi devidamente caracterizado e, provavelmente, é N heterocíclico presente em ácidos húmicos e fúlvicos, resistentes a mineralização (Duxbury et al., 1989; Mengel, 1996; Camargo et al., 1999). Por esta razão, segundo Mengel (1996), somente uma pequena percentagem do N orgânico total do solo é facilmente mineralizável, aquela oriunda principalmente de aminoácidos e polímeros de amino-açúcares da biomassa microbiana.

O suprimento de N para as plantas decorre da decomposição e mineralização da matéria orgânica, nos diferentes compartimentos de carbono orgânico do sistema. Os

processos de decomposição dos diferentes substratos orgânicos e a mineralização das diversas formas de N orgânico ocorrem simultaneamente, mediante a ação conjunta da micro, meso e macrofauna do solo (Sá, 1998; Colozzi Filho et al., 1999; Colozzi Filho et al., 2000).

Os efeitos das interferências antrópicas sobre o ecossistema são intensos, pois afetam o ciclo dos nutrientes, destacando-se o efeito sobre o ciclo do N: o desmatamento e cultivo intensivo do solo com culturas não leguminosas, que retiram grandes quantidades de N reduzido, influencia as transformações e fluxos deste elemento no sistema solo-planta-atmosfera. O cultivo intensivo acelera a mineralização da MOS, sendo necessário aplicar N solúvel como fertilizante nas lavouras, enquanto o plantio direto e o cultivo de leguminosas enriquecem o solo em N (Moreira e Siqueira, 2002).

### **2.3 Frações Lábeis da Matéria Orgânica do Solo**

Vários autores têm enfatizado o fracionamento da MOS, visando a identificação de duas ou três frações com distinta resistência a mineralização (Stevenson, 1994; Blair et al., 1995; Franzluebbers et al., 2000). Esse conceito é aplicado tanto à matéria orgânica quanto ao C e N orgânicos. A fração mais facilmente mineralizável tem influência sobre a fertilidade do solo por representar um reservatório de nutrientes, que podem ser liberados para as plantas em curto prazo. A identificação e quantificação de um reservatório lábil da MOS por métodos químicos poderia ser usada para prever o suprimento potencial de nutrientes, como N, durante o ciclo de crescimento de uma cultura (Fraga e Salcedo, 2002). Blair et al. (1995) observaram que, em solos da Austrália, a redução devido ao cultivo no carbono oxidável foi proporcionalmente maior que a redução do carbono total, podendo este C oxidável atuar como indicador das mudanças devido ao cultivo.

As frações lábeis da MOS consistem de constituintes de rápida mineralização. A maioria dos constituintes é carboidratos, aminoácidos, peptídeos, amino-açúcares e lipídios. Essas frações são importantes na manutenção da fertilidade do solo como fonte de nutrientes às plantas, devido a sua rápida mineralização e taxa de renovação da reserva nutricional (Wooner et al., 1994). O tempo de reciclagem ou meia vida, que é uma medida da estabilidade química e da dinâmica da fração, varia em cada fração ou compartimento, assim como, o controle primário do tamanho de cada compartimento. A fração lábil é controlada pela decomposição e pela adição de restos vegetais, que dependem do clima (Moreira e Siqueira, 2002).

Devido ao grande interesse em separar as frações lábeis da MOS, métodos de fracionamento e quantificação estão sendo testados. Dentre eles, há o método físico de fracionamento pela densidade, que objetiva separar frações da MOS com grau variável de associação com a fração mineral, denominada de fração leve (Cambardella e Elliot, 1994). Em solos do semi-árido foi encontrado um valor médio de C na fração leve de  $0,583 \text{ g kg}^{-1}$  solo em áreas sob caatinga e de  $0,479 \text{ g kg}^{-1}$  solo ( $p < 0,01$ ) em áreas sob cultivo (Fraga, 2002). Entre os métodos biológicos, o de incubação de solos permite uma expressão direta da atividade microbiana relacionada com a disponibilidade de C (Alves et al., 1999; Franzluebbbers et al., 2000; Fraga, 2002). Entre os métodos químicos, a oxidação parcial do C orgânico do solo com uma solução de  $\text{KMnO}_4$   $333 \text{ mmol L}^{-1}$ , é comparável à ação enzimática da atividade microbiana (Blair et al, 1995). Entretanto, nessa concentração, o  $\text{KMnO}_4$  extraiu quase metade de C total de um solo da região semiárida (Shang e Tiessen, 1997). Não parecendo possível que a fração lábil fosse 50% do C total, recentemente foi proposto o uso de uma concentração de  $\text{KMnO}_4$   $16,5 \text{ mmol L}^{-1}$ , que oxidou uma proporção do C total semelhante ao que seria potencialmente mineralizável em cinco meses de crescimento de uma cultura na região semi-árida do nordeste (Fraga e Salcedo, 2002).

Em relação ao nitrogênio, a mineralização do N orgânico do solo pode ser utilizada como um indicador da disponibilidade potencial do N às culturas. É possível supor que a quantidade do N mineralizado é função do conteúdo e da taxa de mineralização das formas orgânicas nitrogenadas, existindo uma relação direta entre o N mineralizado e a absorção de N pelas plantas (Sampaio et al. 1995b; Camargo et al., 1997; Alves et al., 1999).

Também, numerosas tentativas têm sido feitas para identificar um reservatório lábil de N orgânico do solo, através do fracionamento químico do mesmo. Um método químico que está sendo pesquisado é a obtenção e análise do N amino-açúcar, fração lábil da MOS que disponibiliza N às plantas (Khan et al, 2001). Pesquisas realizadas em solos do norte-central e nordeste dos Estados Unidos (Mulvaney et al., 2001; Khan et al., 2001) determinaram que áreas de cultivo de milho que não responderam à fertilização nitrogenada apresentavam altos teores de N amino-açúcar, na faixa de 0,303 – 0,511 g kg<sup>-1</sup> solo.

### **3.0 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização da Área**

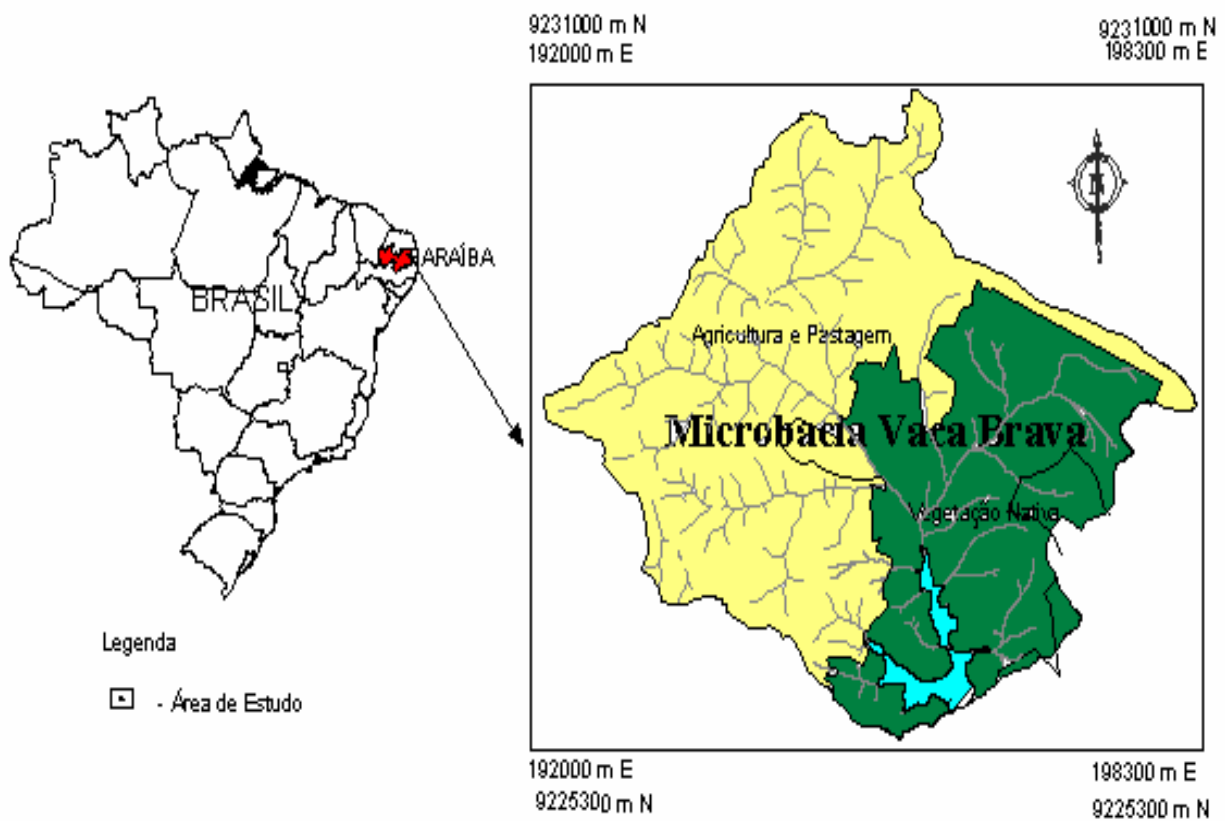
A Microbacia de Vaca Brava está localizada na microrregião do Brejo, na mesorregião do Agreste paraibano, contraposto oriental do Planalto da Borborema, com as seguintes coordenadas geográficas: S 192000 – 198000 m; W 9225300 – 9231000 m. O clima é, segundo a classificação de Köppen, do tipo As' (tropical chuvoso), com chuvas de outono – inverno. A precipitação média anual é de 1.200 mm, ocorrendo um déficit hídrico que se estende entre os meses de outubro a fevereiro (Chaves, 1977). A temperatura média anual é de 24°C, apresentando baixa amplitude de variação e uma altitude média de 637 m.

A área da bacia tem aproximadamente 15 km<sup>2</sup> e localiza-se quase inteiramente no município de Areia-PB, mas uma pequena área que corresponde as nascentes do Riacho

Cunha, numa localidade conhecida como Xique Xique que pertence ao município de Remígio. Na figura 1, encontra-se o mapa esquemático da localização da microbacia de Vaca Brava do Agreste paraibano. Não é possível mostrar as áreas de amostragem no mapa, porque elas não foram digitalizadas.

A microbacia constitui-se de dois tipos de uso predominante, uma área de reserva ecológica e outra de uso agropecuário. Na área sobre influência antrópica, encontram-se atualmente cinco tipos de uso do solo: capoeira, sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), pastagem, roçado (agricultura de subsistência e pequena produtividade), e capineira, sendo que a pastagem é o tipo de uso com maior área de abrangência, em função da principal atividade econômica desta região ser a pecuária.

A mata é uma reserva ecológica estadual, conhecida como Mata do Pau Ferro, com 700 hectares, representando um reduto da Mata Atlântica de altitude, abrigando espécies raras de vegetais e animais. A área da mata próxima à barragem (metade da área) tem aproximadamente 60 anos de estabelecimento. Esta área tinha sido desmatada, mas com a necessidade da construção da barragem, a área foi reflorestada para proteção da área de captação de água. Com exceção desta área da mata que circunda a barragem, todo o resto é mata virgem. A área com os atuais uso agropecuário era anteriormente (cerca de 25 anos atrás) ocupada por cana-de-açúcar, onde havia engenhos de fabricação de rapadura e cachaça. Entretanto, com a queda do sistema canavieiro, os produtores necessitaram de uma nova alternativa de subsistência, então foi introduzida a agropecuária. Nas áreas de roçado há o cultivo de culturas tradicionais de subsistência (feijão, mandioca, milho e fava). Além destas, é comum encontrar fruteiras diversas, tais como: mangueira, jaqueira e bananeira. No entanto, é comum se encontrar na microbacia áreas com plantio de sabiá (leguminosa utilizada para produção de estacas) e áreas sob capoeiras (área de pousio visando a sua recuperação).



**Figura 1.** Mapa esquemático da localização da microbacia Vaca Brava (Santos et al., 2002).

Os solos que predominam na bacia são, segundo EMBRAPA (1999), a associação de Argissolo Vermelho Amarelo equivalente eutrófico com A proeminente textura argilosa e Neossolo Litólico Eutrófico com A proeminente textura média fase floresta subperenifólia em relevo ondulado e forte ondulado, substrato gnaisse e granito. No quadrante noroeste da bacia, limites com o município de Remígio, ocorrem, em menor área, Neossolo Regolítico fase floresta caducifólia relevo suave ondulado e ondulado e em pequena área no divisor mais alto, sobre a Chã do Jardim, Latossolo Amarelo Distrófico textura média fase floresta subperenifólia relevo plano no capeamento sedimentar do terciário (grupo barreira). O relevo predominante é ondulado a forte ondulado e se acentua à medida que a drenagem vai dissecando o terreno, na parte mais baixa da bacia.

Os Argissolos estão recobertos pela mata úmida de altitude. Nos locais onde eles se associam com os Neossolos Litólicos aparece a mata subcaducifólia. A Escarpa Oriental do Maciço da Borborema (Brejo paraibano) tem feições bem específicas. Seu traçado é regular com ruptura de relevo acentuada nos limites com a depressão sublitorânea; apresentam vertentes íngremes, topos mais elevados ultrapassando os 600 m. O clima úmido favorece uma rede de drenagem perene, com intenso poder erosivo. Na frente oriental do maciço localizam-se alguns formadores das bacias dos rios Paraíba, Curimataú e Mamanguape, principalmente deste último. São os afluentes do Mamanguape os principais responsáveis pela intensa dissecação que modela as cristas dispostas paralelamente umas às outras, caracterizando este relevo como do tipo apalacheano (Carvalho, 1982).

### **3.2 Amostragem do Solo**

Utilizou-se uma amostragem estratificada, com uma combinação incompleta de 5 x 6, sendo cinco posições no relevo (topo, ombro, meia encosta, pedimento e várzea) e seis sistemas de uso do solo (capoeira, sabiá, roçado, pastagem, capineira e mata nativa). A

combinação é incompleta porque algumas situações de uso não foram encontradas nas cinco posições do relevo. O número de amostras compostas em cada estrato encontra-se na tabela 1.

Após identificar as áreas amostrais, em cada uma delas foi obtida uma amostra composta de solo, constituída de 10 amostras simples retiradas ao acaso da camada de 0-20 cm. O tamanho das áreas amostradas foi variável em função do uso do solo, oscilando entre 0,5 e 3 ha. As amostras compostas foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm.

### **3.3 Textura do Solo**

A determinação das texturas foi realizada no laboratório de física do solo do CCA/UFPB, de acordo com a metodologia do densímetro (Day, 1965). As classes texturais encontradas na microbacia foram: argilosa (Arg), argilo arenosa (ArgAr), franco argilo arenosa (FrArgAr), franco arenosa (FrAr) e areia franca (ArFr).

### **3.4 Análises Químicas**

#### **3.4.1 Carbono Orgânico Total**

O carbono orgânico total (C org.) do solo foi determinado pelo método de oxidação úmida-difusão (Snyder e Trofymow, 1984). Pesou-se 0,5 g de solo, passado em peneira de 0,015 mm, em tubo de digestão com tampa. Ao tubo acrescentou-se 1,0 g de  $K_2Cr_2O_7$  p.a. e 25 mL de uma mistura digestora constituída de  $H_2SO_4$  e  $H_3PO_4$  concentrados na proporção 3:2. Para cada bateria de amostras acrescentou-se 4 brancos. Em um tubo de vidro pequeno, que ficou inserido dentro do tubo de digestão, adicionou-se 2 mL de  $NaOH$   $1\text{ mol L}^{-1}$ , para captação do  $CO_2$  liberado durante a digestão. Os tubos foram colocados em placa digestora por 2 horas a uma temperatura de  $120^\circ C$ . Após a digestão, esperou-se no mínimo 12 horas



**Tabela 1.** Resumo do número de amostras de solo por estrato na microbacia Vaca Brava.

Uso do solo	Várzea	Encosta			Topo	Total
		Pedimento	Meia encosta	Ombro		
Roçado	16	13	36	9	10	84
Pastagem	19	17	74	10	13	133
Capineira	16	6	19	-	2	43
Mata Nativa	12	2	37	1	14	66
Sabiá	2	2	12	-	2	18
Capoeira	-	1	11	4	2	18
<b>Total</b>	<b>65</b>	<b>41</b>	<b>189</b>	<b>24</b>	<b>43</b>	<b>362</b>

para iniciar a quantificação, tempo necessário para total captação do  $\text{CO}_2$  liberado na digestão. Abriu-se um tubo de cada vez, retirou-se o tubo pequeno e transferiu-se o volume de  $\text{NaOH}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  para um béquer de 250 mL lavando o tubinho com bastante água deionizada. A quantificação foi feita por titulação potenciométrica com  $\text{HCl}$   $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ , entre os pHs 8,3 e 3,7 (Sampaio e Salcedo, 1982).

### 3.4.2 Carbono Oxidável por Permanganato

O carbono oxidável foi determinado de acordo com o método de Blair et al (1995), modificado por Fraga e Salcedo (2002). As amostras de solo ( $< 2,0 \text{ mm}$ ,  $n=362$ ) foram pesadas em tubos plásticos de centrífuga, de 40 mL de capacidade, com tampa de rosca. A quantidade de solo em cada tubo foi calculada para conter 15 mg de C (Blair et al., 1995). Após a adição de 25 mL de  $\text{KMnO}_4$   $16,5 \text{ mmol L}^{-1}$ , a suspensão foi agitada por uma hora. Para cada 28 amostras foram preparados dois brancos, tratados de forma semelhante às amostras, mas sem colocar solo nos tubos. Após a agitação, os tubos foram centrifugados por 5 minutos. Após centrifugação, 1 mL do sobrenadante foi diluído para balão de 25 mL com água deionizada, a absorbância lida em espectrofotômetro a 565 nm, e os resultados comparados com uma curva-padrão. A mudança na concentração de  $\text{KMnO}_4$  entre as amostras e a média dos brancos foi usada para estimar a quantidade de carbono oxidado, admitindo-se que 1 mmol de  $\text{MnO}_4^-$  é consumido na oxidação de 0,75 mmols ou 9 mg de carbono (Blair et al., 1995). Os resultados de C oxidável foram expressos como  $\text{g kg}^{-1}$  de solo. O princípio desse método é de que a atividade enzimática dos microorganismos é semelhante à ação oxidante do  $\text{KMnO}_4$ .

### 3.4.3 Nitrogênio Total

O nitrogênio total foi determinado pelo método de Kjeldahl por destilação com arraste de vapor (Bremner e Mulvaney, 1982).

### 3.4.4 Nitrogênio amino-açúcar

O N amino-açúcar foi determinado de acordo com a metodologia de Khan et al (2001). Foi pesado 1 g de terra fina seca ao ar (<2 mm) em recipiente de 500 mL, com tampa de fechamento hermético. Em uma placa de Petri adicionou-se 5 mL de  $H_3BO_3$  0,65 mol  $L^{-1}$ . A seguir, adicionou-se 10 mL de NaOH 2 mol  $L^{-1}$  no recipiente com solo, homogeneizando cuidadosamente para reduzir a aderência do solo à parede do recipiente. Imediatamente colocou-se a placa de Petri dentro do recipiente que foi fechado hermeticamente. Para evitar o contato das placas de Petri com o solo, três pés de vidro foram colados em cada placa. Os recipientes foram levados a banho-maria por 5 horas a uma temperatura de 48-50°C. Transcorrido esse período, retiraram-se os recipientes do banho-maria, abrindo um por vez para retirar a placa de Petri. O ácido bórico contido na placa foi transferido para um béquer, lavando bem a placa com água deionizada, sendo posteriormente titulado com  $H_2SO_4$  0,01 mol  $L^{-1}$  em peagâmetro até pH 4,70 (Bremner e Mulvaney, 1982).

### 3.5 Análises Estatísticas

A análise estatística foi realizada utilizando-se estatística univariada incluindo média, desvio padrão, mínimo, máximo e erro-padrão. As relações entre variáveis quantitativas foram analisadas por regressão e por correlação. Para análise de variância (ANOVA) foi empregado um esquema fatorial incompleto 5 x 6 x 5, sendo cinco posições no relevo, seis sistemas de uso e cinco classes texturais a fim de estudar os efeitos destas

variáveis qualitativas e suas interações sobre as variáveis Ct, Cox, Nt, Namino, Cox/Ct e Namino/Nt, após a análise foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5%.

Para o estudo da variabilidade espacial de variáveis selecionadas utilizou-se geoestatística. A geoestatística está baseada na teoria das variáveis regionalizadas, que variam no espaço com certa aparência de continuidade. Isto é, são variáveis cujos valores estão relacionados de algum modo com a posição espacial que ocupam (Carvalho et al., 1998). A variação espacial de uma variável regionalizada resulta da soma de três componentes: a) uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante; b) uma componente aleatória, espacialmente correlacionada; e c) um ruído aleatório ou erro residual (Burrough, 1987). Para a análise da variabilidade espacial utilizou-se o Surfer 7.0 (Surfer 7.0 Golden Software Inc., 1999)

#### **4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os teores de Ct nas amostras oscilaram entre 4,3 e 43 g kg<sup>-1</sup> solo (Tabela 2), enquanto que a faixa de variação do Cox ficou entre 0,22 – 3,1 g kg<sup>-1</sup> solo (Tabela 2). Em média 6,3% do Ct foram oxidados pelo KMnO<sub>4</sub> 16,5 mmol L<sup>-1</sup>, oscilando entre um mínimo de 3% e um máximo de 10% (Tabela 2). A proporção média do Cox em relação ao Ct deste trabalho foi menor do que a obtida por Fraga (2002), em amostras de solo do semi-árido, que obteve uma proporção de 8,9%. É possível que essa diferença tenha sido devida à menor granulometria utilizada por Fraga (2002) (< 0,50 mm), em relação à utilizada no presente trabalho (< 2 mm), uma vez que a exposição de novas superfícies pode ter aumentado a quantidade de matéria orgânica oxidável.

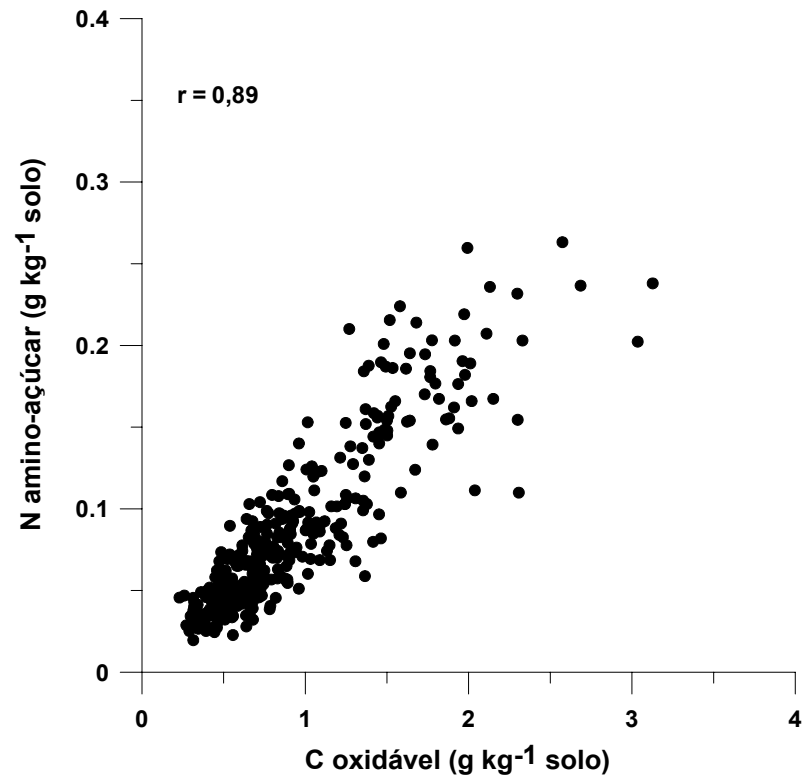
**Tabela 2.** Valores da média, desvio padrão, mínimo e máximo do carbono e nitrogênio total e suas frações em amostras de solo da microbacia Vaca Brava em Areia/PB (n=362).

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
C total (g kg <sup>-1</sup> solo)	14,9	8,19	4,31	43,7
C oxidável (g kg <sup>-1</sup> solo)	0,916	0,505	0,229	3,13
C oxidável/C total (%)	6,25	1,27	3,07	9,93
N total (g kg <sup>-1</sup> solo)	1,24	0,699	0,396	3,83
N amino-açúcar (g kg <sup>-1</sup> solo)	0,0864	0,0509	0,0196	0,263
N amino/N total (%)	6,99	1,52	3,59	11,0

Não é possível comparar a proporção de C oxidado com a de outros autores que utilizaram essa metodologia (Blair et al., 1995; Shang e Tiessen, 1997), uma vez que utilizaram soluções de permanganato mais concentradas.

Os teores de Nt variaram entre 0,39 e 3,8 g kg<sup>-1</sup> solo (Tabela 2) enquanto que o Namino variou entre 0,019 e 0,26 g kg<sup>-1</sup> solo (Tabela 2). Em média 6,9% do Nt foram extraídos como Namino, com uma faixa de variação entre 3,6 e 11% (Tabela 2). A fração Cox correlacionou-se significativamente ( $r=0,89$ ;  $p<0,01$ ) com a fração Namino (Figura 2).

Khan et al. (2001) observaram que a resposta à fertilização nitrogenada do milho em solos do norte-central e nordeste dos Estados Unidos, com concentrações de Namino oscilando entre 0,303 e 0,511 g kg<sup>-1</sup> solo foi menor que naqueles oscilando entre 0,046 e 0,194 g kg<sup>-1</sup> solo. Nesse sentido, quase todos os valores de Namino encontrados no presente trabalho (0,02 e 0,26 g kg<sup>-1</sup> solo) ficaram na faixa de solos deficientes em N sugerida por Khan et al.(2001). Com base na resposta do milho à fertilização nitrogenada em 18 solos, estes foram classificados da seguinte forma: a) responderam a fertilização nitrogenada àqueles que tiveram valor de Namino < 0,20 g kg<sup>-1</sup> e, b) não responderam aqueles que tiveram valor > 0,25 g kg<sup>-1</sup> solo (Mulvaney et al., 2001). De acordo com este critério, a maioria dos solos da microbacia seria deficiente em nitrogênio (Tabela 2). Entretanto, chama a atenção que os valores de Nt do presente trabalho (0,22 – 3,8 g kg<sup>-1</sup> solo) e do trabalho de Khan et al (2001) (0,61 – 3,5 g kg<sup>-1</sup> solo) tiveram faixas de variação semelhantes. Isso indica que esses solos de região temperada tenderam a acumular uma maior proporção do Nt como Namino. As percentagens de Namino/Nt, que no presente trabalho oscilaram entre 3,6 e 11%, foram baixas em relação aos solos com suficiência de N estudados por Khan et al (2001), que oscilaram entre 12 e 32%. Já os solos deficientes em N estudados por Khan et al (2001) tiveram a mesma faixa de variação que os da microbacia.



**Figura 2.** Relação entre C oxidável e N amino-açúcar nas amostras de solo (n=362) da microbacia Vaca Brava.

Dadas às diferenças existentes entre solos, clima e vegetação, não é possível assegurar que as faixas de suficiência de Namino determinadas por Khan et al (2001) e Mulvaney et al (2001) sejam aplicáveis aos solos da presente pesquisa. É necessário realizar estudos de calibração da fração Namino em relação à resposta à fertilização nitrogenada com solos da região.

Entretanto, com base em experimentos de incubação (Alves et al, 1999) e de ensaios em vasos com 20 solos da região semi-árida (Sampaio et al., 1995b), foi estimado que em torno de 4,8% do Nt do solo podem ser mineralizados em um período de 4,5 meses (Fraga, 2002). Uma vez que o valor médio de 6,7% de Namino/Nt ficou na mesma ordem de magnitude dos valores do experimento de incubação e do ensaio em vasos. É possível pensar que esta fração será útil para o diagnóstico da fertilidade de solos da região, admitindo-se que a fração Namino extraída das amostras no presente estudo tenha a mesma disponibilidade para as plantas determinada por Khan et al (2001).

#### **4.1 Efeito do Uso do Solo**

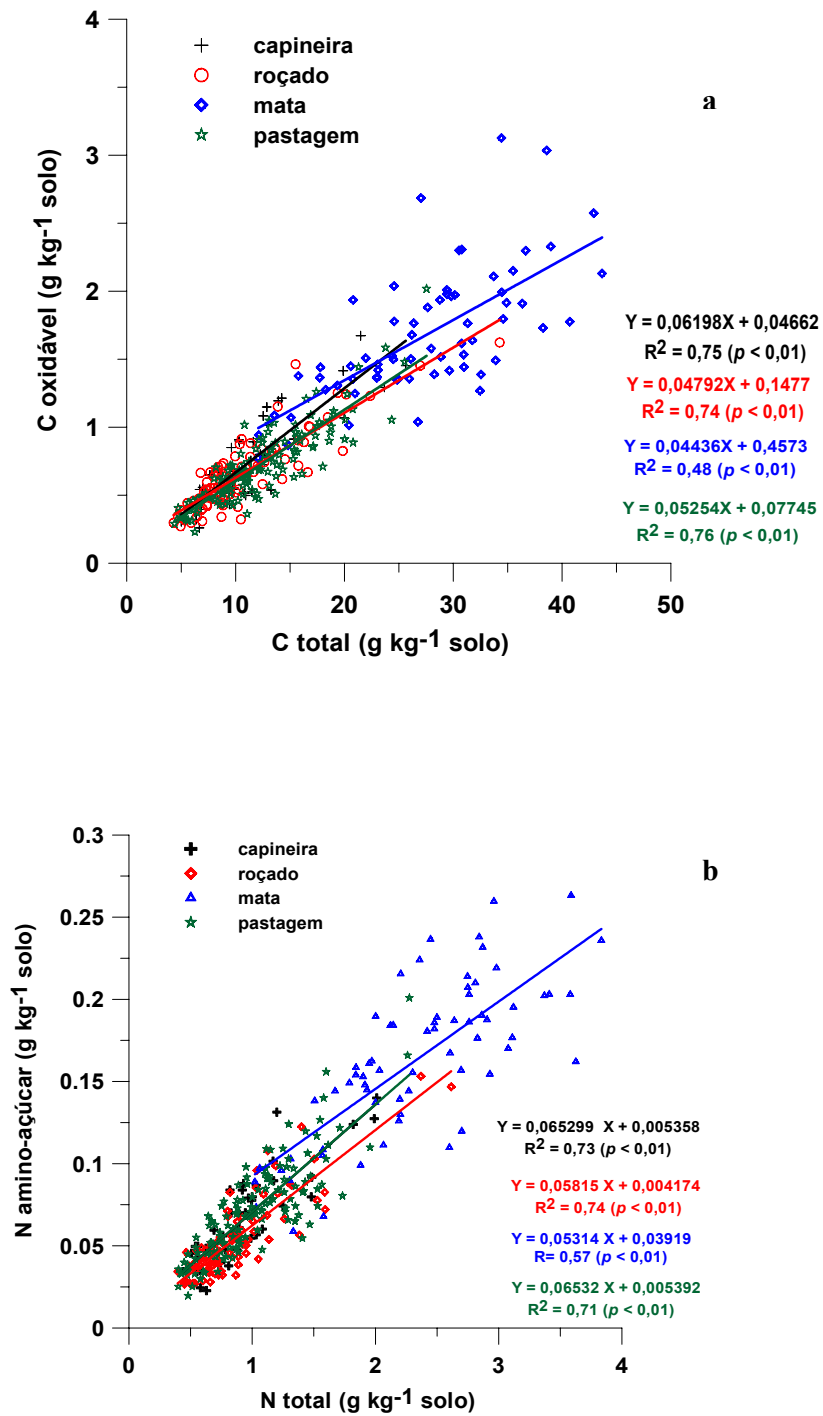
A análise de regressão Cox em função do Ct foi significativa para todos os usos (Figura 3a), mas apenas 4 tipos de uso estão nas figuras 3a e 3b, os que apresentavam maior número de amostras, de modo que facilite a visualização e interpretação da análise. As inclinações não diferiram significativamente entre si ( $p < 0,05$ ), embora visualmente o ajuste de dados das amostras de capineiras pareça diferir na inclinação. Isso decorre do nível de significância adotado para avaliar a semelhança das inclinações entre os distintos usos. Se o nível de probabilidade tivesse sido  $p < 0,1$ , a hipótese de semelhança de inclinações não teria sido rejeitada. A análise de covariância indicou que as amostras sob mata tiveram teores de Cox maiores ( $p < 0,05$ ) que as dos outros usos, quando a comparação foi feita para o mesmo teor de Ct. Resultado semelhante foi obtido com a regressão Namino em função do Nt



(Figura 3b), mas, a análise de covariância indicou que as amostras de capineira foram iguais às de pastagem. A superioridade das amostras de mata tornou-se mais nítida na regressão destas variáveis, quando a comparação foi feita para um mesmo teor de Nt.

Os teores médios de Ct, Cox e Nt foram maiores ( $p < 0,05$ ) nas amostras de mata (27,4, 2,34 e 1,67 g kg<sup>-1</sup> solo, respectivamente), intermediários em capoeira e sabiá (16,0, 1,29 e 1,02 g kg<sup>-1</sup> solo, respectivamente) e menores em capineira, pastagem e roçado (11,4, 0,94 e 0,71 g kg<sup>-1</sup> solo, respectivamente) (Tabela 3). Fraga e Salcedo (2002) também comprovaram a redução do teor de Ct e Cox com o cultivo, encontrando teores médios de Ct e Cox de 12,3 e 1,04 g kg<sup>-1</sup> solo para áreas de caatinga e 8,8 e 0,705 g kg<sup>-1</sup> solo para áreas de roçado, respectivamente. A diminuição do teor de Ct no solo sob cultivo não se deve unicamente à redução da quantidade de resíduos adicionados, mas também ao aumento da atividade microbiana, causada por melhores condições de aeração e temperaturas mais elevadas (Stevenson, 1982). Os teores médios de Ct e de Nt da área de roçado foram 60% menores com relação ao sistema natural. A pastagem por 25 anos e a cultura do algodoeiro por 10 anos reduziram em 18 e 34 %, respectivamente, o teor de Ct, em relação à mata natural, em solos do município de Paulo de Faria – SP (Marchiori Júnior e Melo, 1999).

Esses resultados são devido aos maiores aportes de C e menores taxas de mineralização que ocorrem na mata em relação aos outros sistemas de uso da terra, em especial nas áreas de cultivo intensivo, onde os aportes são menores e o revolvimento periódico do solo aumenta as taxas médias de mineralização da matéria orgânica. Em sistemas naturais ocorre maior diversidade de espécies e a decomposição diferenciada dos resíduos vegetais faz retornar ao solo, de forma equilibrada, os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas, havendo continuamente uma renovação de resíduo no solo (Moreira e Siqueira, 2002).



**Figura 3.** Relação entre C oxidável e C total (a) e N amino-açúcar e N total (b) em função dos diferentes sistemas de uso.

**Tabela 3.** Teores médios ( $\pm$  erro padrão) de C total, C oxidável, C oxidável/C total, N total e N amino-açúcar/N total em função dos diferentes sistemas de uso do solo.

Uso do Solo	C total	C oxidável	Coxidável/Ctotal	N total	Namino-açúcar / Ntotal
	---- g kg <sup>-1</sup> solo ----		%	g kg <sup>-1</sup> solo	%
Mata (n=66)	27,4 (0,91) a	1,67 (0,06) a	6,25 (0,16) ab	2,34 (0,08) a	7,11(0,17) a
Capoeira (n=18)	16,9 (1,55) b	1,02 (0,10) b	6,06 (0,21) ab	1,34 (0,12) b	7,25(0,27) ab
Sabiá (n=18)	15,3 (1,41) b	1,04 (0,10) b	6,89 (0,27) a	1,24 (0,11) b	7,56(0,41) a
Capineira (n=43)	11,3 (0,72) c	0,75 (0,05) c	6,61 (0,22) a	0,94 (0,06) c	7,25(0,25) ab
Pastagem (n=133)	12,2 (0,41) c	0,72 (0,02) c	6,01 (0,10) b	1,00 (0,03) c	7,16(0,13) a
Roçado (n=84)	10,8 (0,55) c	0,66 (0,03) c	6,35 (0,15) ab	0,88 (0,04) c	6,35(0,15) b

Letras iguais na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O tempo de cultivo também influencia os declínios nos teores de matéria orgânica entre áreas nativas e cultivadas; em uma área com um ano de cultivo o declínio foi de 21%, enquanto que numa área com mais de 25 anos de cultivo o declínio aumentou para 59% (Woods e Schuman, 1988)

As amostras de solo dos sistemas de uso com sabiá e capoeira tiveram teores maiores de Ct e Nt e das suas frações ( $p < 0,05$ ), do que os dos sistemas capineira, pastagem e roçado, mas estes, foram inferiores aos encontrados na mata (Tabela 3). O fato desses dois sistemas arbóreos ocuparem uma situação intermediária sugere uma situação de transição. Por ocasião da derrubada da mata e uso do solo para roçado, esses solos devem ter sofrido decréscimos nos teores de Ct e Nt semelhantes aos mostrados na Tabela 3. Porém, a ausência de revolvimento do solo nos sistemas de sabiá e capoeira, conjuntamente com o maior aporte de resíduos, conseguiu aumentar significativamente os teores de matéria orgânica, embora não tenham atingido os teores originais encontrados na mata. Os dois sistemas representam um aporte constante de matéria orgânica ao solo. As diferenças ( $p < 0,05$ ) nos teores Cox foram semelhantes às observadas para os teores de Ct, o que indica que esta fração representa a quantidade da MOS. A variação de Namino será discutida mais adiante devido à interação observada entre uso e textura do solo.

As razões Namino/Nt e Cox/Ct (apresentadas como percentagem) foram consideradas como índices da qualidade da matéria orgânica, uma vez que representam a proporção do Ct e Nt mais lábil. No caso de Namino/Nt, sabiá (7,56%), pastagem (7,16%) e mata (7,11%) apresentaram maiores valores ( $p < 0,05$ ) do que roçado (6,35%); já com relação à proporção Cox/Ct, os maiores valores ( $p < 0,05$ ) foram para os sistemas sabiá (6,89%) e capineira (6,61%) e o menor valor para pastagem (6,01%) (Tabela 3). O roçado seria, portanto, o sistema com menor proporção de N lábil, o que seria um resultado esperado num sistema de baixos insumos, como o da microbacia.

O resultado em relação ao Cox/Ct não foi o esperado, uma vez que a pastagem é um uso do solo conservativo e onde seria possível esperar teores de Cox mais elevados. Qualquer cultivo envolvendo gramíneas, que possuem sistema radicular abundante e elevada rizodeposição, representa melhoria nas condições do solo (Moreira e Siqueira, 2002). Entretanto, as pastagens ocupam predominantemente as áreas de encosta, com tendência a sofrer mais intensamente o efeito dos processos erosivos. As capineiras, por outro lado, localizam-se frequentemente em áreas de várzea e também recebem aportes de esterco, o que justificaria maiores teores de C oxidável. O fato de o bosque de sabiá ter uma relação Cox/Ct maior que a mata provavelmente seja devido à diversidade de espécie com diferentes estágios de decomposição encontrados na mata, diferente do que ocorre com o sabiá, planta leguminosa que apresenta uma rápida taxa de mineralização. Fraga (2002) não encontrou diferenças na relação Cox/Cnox (labilidade) entre distintos sistemas de uso do solo em solos da região semi-árida, que oscilaram entre 8,5 e 10,3% na camada de 0-7,5 cm. Pelos valores obtidos neste estudo, infere-se que qualquer sistema de exploração agrícola provoca alteração no equilíbrio ecológico do solo em relação ao ecossistema natural (Bayer, 1996), que apresentou os maiores valores na mata de Ct, Cox, Nt, Namino, Cox/Ct e Namino/Nt.

Uma vez que os sistemas arbóreos, sobretudo a mata nativa, apresentaram teores de Ct e Nt muito maior que os solos sob atividade agropecuária (capineira, pastagem e roçado), realizou-se uma nova análise de variância, específica para os sistemas agrícolas (n= 260).

Os teores de Ct, Nt, Namino e a proporção de Namino/Nt (Tabela 4) foram maiores na pastagem e menores no roçado. O sistema capineira não diferenciou dos outros sistemas agrícolas com relação as variáveis Ct e Nt. O teor de Cox não diferenciou entre os sistemas agrícolas, repetindo o resultado obtido na avaliação feita com todos os sistemas de uso. Nesta nova análise, a proporção Namino/Nt foi novamente mais sensível aos diferentes

sistemas de uso do que a proporção Cox/Ct, uma vez que diferenciou o roçado dos outros agroecossistemas.

A representação espacial dos resultados utilizando técnicas geoestatísticas mostra o contraste entre as áreas sob exploração agrícola e a área de reserva florestal (Figs. 4 e 5). A área de reserva florestal apresentou uma melhor homogeneidade dos teores de Cox e Namino. Na área cultivada observou-se, em algumas regiões, a alternância de posições com teores elevados e teores baixos de Cox (Fig. 4) e Namino (Fig. 5). Entretanto, a maior parte da área cultivada teve teores menores que os da área de reserva florestal.

**Tabela 4.** Efeito do uso do solo sob sistema agrícola nos teores médios ( $\pm$  erro padrão) de C total, C oxidável, C oxidável/C total, N total, N amino-açúcar e N amino-açúcar/N total.

Uso do Solo	C total	C oxidável	C oxidável/Ctotal	N total	N amino	N amino / N total
	---- g kg <sup>-1</sup> solo ----		%	---- g kg <sup>-1</sup> solo ----		%
Capineira (n=43)	11,35 (0,72) ab	0,75 (0,05) a	6,61 (0,22) a	0,94 (0,06) ab	0,067 (0,0043) a	7,25 (0,25) a
Pastagem (n=133)	12,24 (0,41) a	0,72 (0,02) a	6,01 (0,10) b	1,00 (0,03) a	0,071 (0,0025) a	7,16 (0,13) a
Roçado (n=84)	10,80 (0,55) b	0,66 (0,03) a	6,35 (0,15) ab	0,88 (0,04) b	0,055 (0,0028) b	6,35 (0,15) b

Letras iguais na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

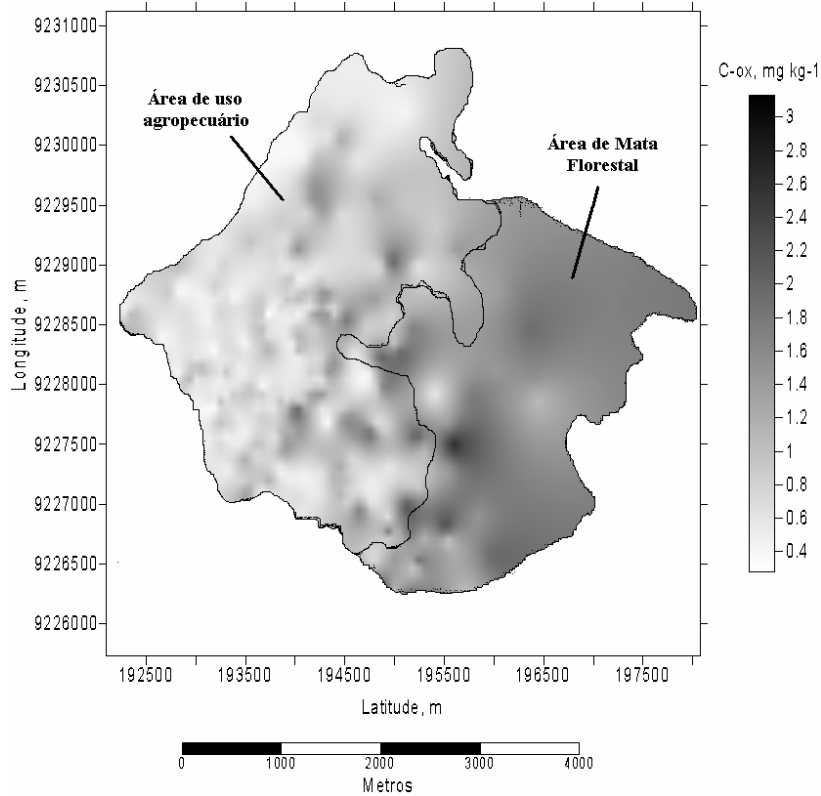


Figura 4. Distribuição espacial do teor de C oxidável no solo da microbacia Vaca Brava/PB.

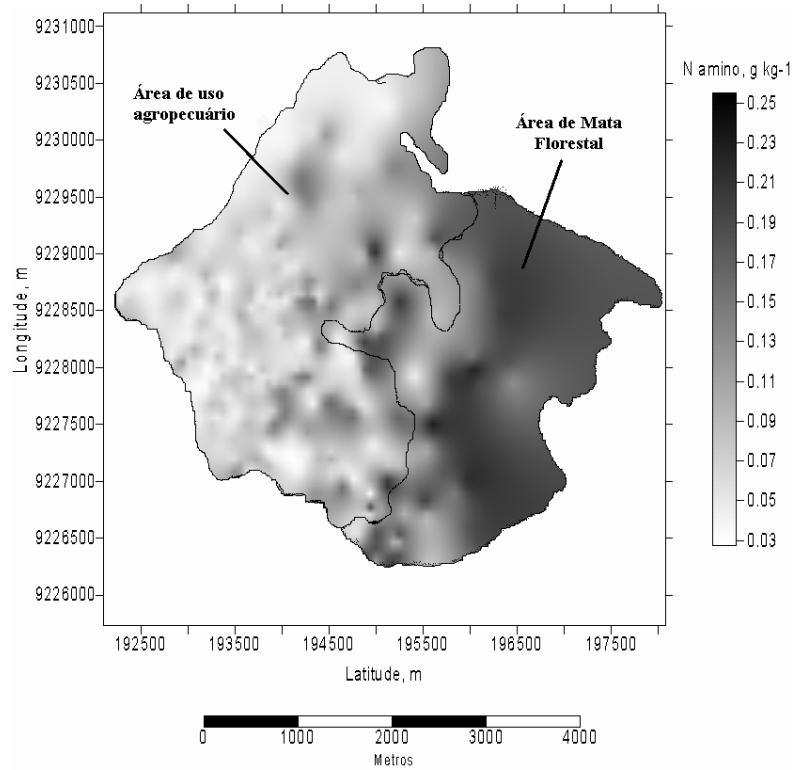


Figura 5. Distribuição espacial do teor de N amino-açúcar no solo da microbacia Vaca Brava/PB



## 4.2 Efeito da Textura

A análise de regressão de Cox em função de Ct foi significativa para todas as texturas (Figura 6a). A textura argilosa, que apresenta menor número de amostras, não foi colocada nas figuras 6a e 6b, para poder ter uma melhor visualização e entendimento da análise. As inclinações não diferiram significativamente entre si ( $p < 0,05$ ). A análise de covariância indicou que as amostras das texturas ArFr, FrArgAr e FrAr tiveram teores de Cox maiores ( $p < 0,05$ ) que as da textura ArgAr, quando comparados em um mesmo teor de Ct. No caso da regressão Nt em função de Namino (Figura 6b) as inclinações não diferiram ( $p < 0,05$ ) entre si. A análise de covariância não apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as texturas. Neste caso, todos os pontos podem ser ajustados por uma única regressão.

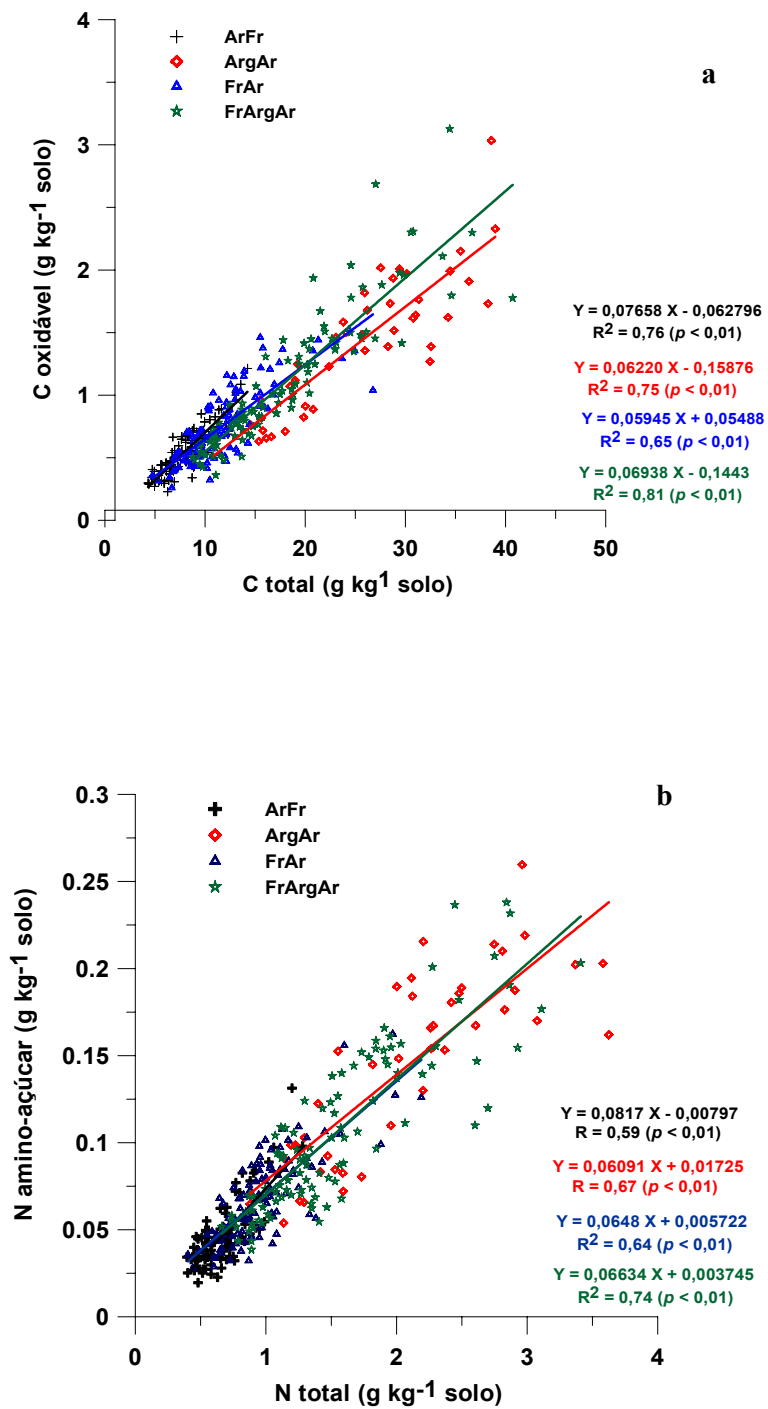
Os teores de Ct, Nt, Cox e a relação Cox/Ct foram influenciados pela textura (Tabela 5). Os maiores teores ( $p < 0,05$ ) de Ct (26,65 g kg<sup>-1</sup> solo), Nt (2,20 g kg<sup>-1</sup> solo) e Cox (1,44 g kg<sup>-1</sup> solo) foram encontrados nas amostras com textura argilosa e argilo arenosa e os menores naquelas com textura areia franca (7,94; 0,67 e 0,54 g kg<sup>-1</sup> solo, respectivamente). Essa tendência já era esperada em função dos resultados da análise de regressão (Tabela 6).

Os teores de Ct se relacionaram ( $R^2 = 0,61$ ;  $p < 0,01$ ) com os teores de argila das amostras (Tabela 6). Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores (Needelman et al., 1999). Vários mecanismos têm sido propostos para explicar a ação protetora da fase mineral fina sobre a decomposição do C do solo (Martin e Haider, 1986), além do seu efeito na agregação (Six et al., 2000). A proteção que as argilas proporcionam à matéria orgânica é explicada pela elevada área de superfície específica e pelos grupos funcionais dispostos na superfície que determinam a grande interação dos minerais de argila e a MOS, tendo como resultado uma maior estabilidade da fração orgânica à decomposição pelos microorganismos (Bayer, 1996).

A relação entre os teores de Cox e de argila (Tabela 6) foi significativa ( $R^2 = 0,38$ ;  $p < 0,05$ ) e melhorou ( $R^2 = 0,46$ ;  $p < 0,05$ ) com a inclusão do silte (Tabela 6). Entretanto, foi menos estreita que a do Ct com argila (Tabela 6). O aumento no coeficiente de determinação com a inclusão do silte também foi observado com a fração Namino, que passou de 0,49 (argila) para 0,55 (argila+silte) (Tabela 6). O coeficiente de determinação das frações Cox e Namino com o teor de argila foi menor que a do Ct com argila. Entretanto, as quantidades de Ct (Figura 7), Nt, e Cox, para qualquer dada concentração de argila, foram maiores nas amostras da área de mata que nas amostras das áreas restantes. Os coeficientes angulares das duas funções não diferiram entre si, mas as intersecções sim (teste-t;  $p < 0,05$ ). É possível que isto seja devido às maiores quantidades de C recicladas no solo sob mata e à ausência de revolvimento do solo.

As variações nos teores de Cox das amostras com diferentes classes texturais acompanharam as variações de Ct. Entretanto, a diminuição no teor de Ct com a diminuição no teor de argila foi de 3,5 vezes, enquanto essa mesma diminuição para Cox foi de 2,7. Por esse motivo, a relação Cox/Ct, que é a fração lábil, aumentou ao passar das texturas mais finas para as mais grossas, ou seja, uma menor proporção do Ct total foi oxidada à medida que este acompanha o aumento nos teores de argila. Provavelmente esse aumento da fração não oxidada pelo permanganato com o aumento no teor de argila seja devido à estabilização do C orgânico pela fração argila (Shang e Tiessen, 1997).

A proporção Namino/Nt não foi afetada ( $p < 0,05$ ) pelas variações nas texturas das amostras (Tabela 5), o que significa que as diminuições nas concentrações de Nt e Namino com a diminuição no teor de argila foram semelhantes. Portanto a intensidade da hidrólise causada pelo NaOH foi diretamente proporcional ao teor de Nt e independente do teor de argila.



**Figura 6.** Relação entre C oxidável e C total (a) e N amino-açúcar e N total (b) em função das diferentes texturas.

**Tabela 5.** Efeito da classe textural nos teores médios ( $\pm$  erro padrão) de C total, C oxidável, C oxidável/C total, N total e N amino-açúcar/N total.

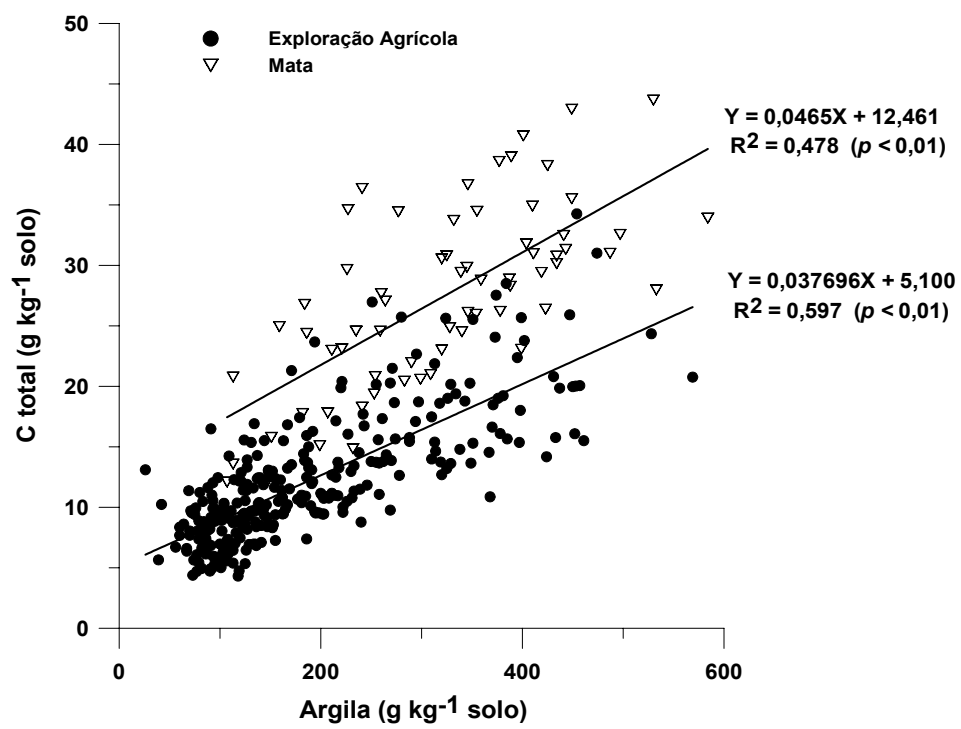
Classe Textural	C total	C oxidável	C oxidável/C total	N total	N amino/N total
	---- g kg <sup>-1</sup> solo----		%	g kg <sup>-1</sup> solo	%
Argilosa (n=15)	27,9 (2,30) a	1,47 (0,13) a	5,28 (0,16) c	2,30 (0,22) a	6,95 (0,29) a
Argilo Arenosa (n=42)	25,4 (1,17) a	1,42 (0,08) a	5,53 (0,16) c	2,10 (0,11) a	6,95 (0,23) a
Franco Argilo Arenosa (n=104)	18,2 (0,68) b	1,12 (0,05) b	6,02 (0,11) bc	1,53 (0,06) b	6,88 (0,14) a
Franco Arenosa (n=115)	11,7 (0,36) c	0,75 (0,03) c	6,42 (0,13) ab	0,96 (0,03) c	7,12 (0,14) a
Areia Franca (n=86)	7,94 (0,24) d	0,54 (0,02) d	6,82 (0,13) a	0,67 (0,02) d	6,96 (0,18) a

Letras iguais na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Tabela 6.** Equações de regressão e coeficientes de determinação entre as variáveis estudadas e destas em relação aos teores de argila e finos (silte+argila) (n=362).

X	Y	Equação	R <sup>2</sup>
C total	C oxidável	$Y = 0,0563X + 0,073$	0,84**
N total	N amino-açúcar	$Y = 0,0669X + 0,0033$	0,84**
Argila	C total	$Y = 0,0534X + 3,64$	0,61**
Argila	C oxidável	$Y = 0,0026X + 0,362$	0,38**
Argila	N amino-açúcar	$Y = 0,00030X + 0,0232$	0,49**
Finos	C total	$Y = 0,0616X - 1,141$	0,67**
Finos	C oxidável	$Y = 0,00263X + 0,0924$	0,46**
Finos	N amino-açúcar	$Y = 0,00029X + 0,00463$	0,55**

\*\* Significativo à 1%.



**Figura 7.** Relação entre os teores de argila e carbono total nas amostras de solo de mata e exploração agrícola da microbacia Vaca Brava.

### 4.3 Efeito das Posições no Relevo

A análise de regressão de Cox em função do Ct foi significativa para todas as posições no relevo (Figura 8a) e as inclinações diferiram significativamente entre si ( $p < 0,05$ ). Já na análise de regressão de Namino em função do Nt as inclinações não diferiram ( $p < 0,05$ ) entre si. A análise de covariância não apresentou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as posições (Figura 8b). Novamente, neste caso todos os pontos podem ser ajustados por uma única regressão.

Os teores de Ct, Cox, Nt e Namino ( $p < 0,05$ ) foram influenciados pelas diferentes posições no relevo da microbacia. Os maiores teores ( $p < 0,05$ ) de Ct e Nt foram encontrados nas posições de topo, meia encosta e várzea (Tabela 7). Os menores valores para essas variáveis e mais Cox e Namino foram observados na posição do pedimento. É possível que isso seja devido à maior concentração de areia nessa posição por conta da remoção e transporte das partículas do solo da camada superficial das posições acima. A posição de pedimento é uma área de deposição de partículas pesadas uma vez que as partículas mais leves são transportadas por distâncias mais longas e tendem a se acumular na várzea (Gregorich et al., 1998). As proporções Cox/Ct e Namino/Nt não mudaram com as posições no relevo, indicando ausência de mudanças na qualidade da matéria orgânica das amostras em função dessa variável.

As variações nos teores de Ct entre as diferentes posições do relevo da microbacia provavelmente decorreram da erosão hídrica, mas certamente também foram influenciadas pelo tipo de solo, textura e cobertura vegetal. Três áreas cultivadas degradadas do semi-árido perderam mais do que 40% do Ct em relação às áreas preservadas correspondentes, devido principalmente ao processo erosivo (Fraga, 2002). O teor de Ct, num solo Renohill, foi maior na várzea ( $7,55 \text{ g kg}^{-1}$  solo) e menor no topo

(5,3 g kg<sup>-1</sup> solo), identificando a várzea, como uma área de deposição e o topo uma área de erosão (Woods e Shuman, 1988). Tendência semelhante foi encontrada por Gregorich et al. (1998).

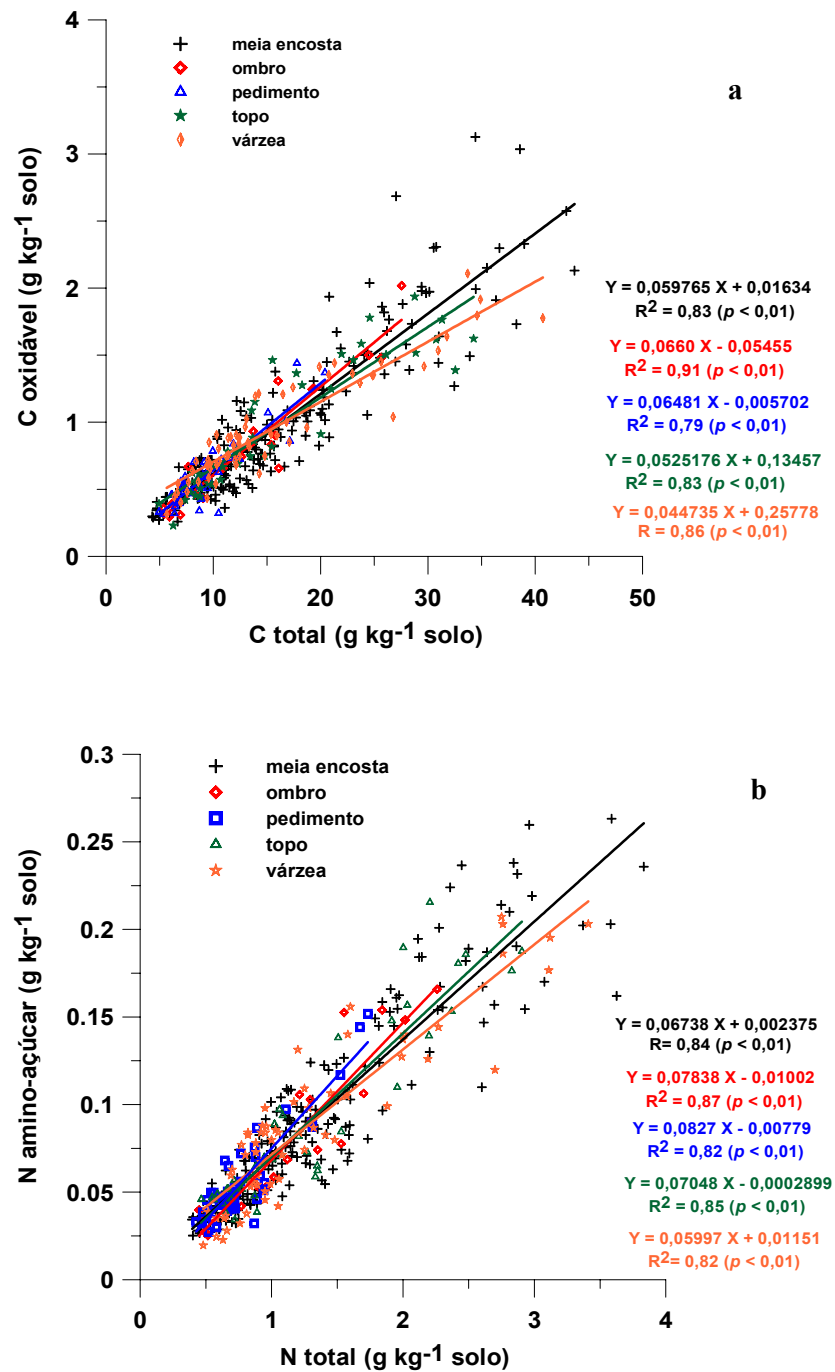
#### **4.4 Efeito da Interação Textura x Uso**

A interação textura x uso do solo só ocorreu com a fração Namino e por esse motivo, na Tabela 8, são mostrados os valores médios para cada combinação dos níveis dessas duas variáveis. Embora a interação tenha sido significativa, as tendências dos efeitos simples foram bastante consistentes.

No caso do efeito do uso da terra em função da textura (Tabela 8), sempre os teores foram decrescentes ao passar de texturas com maior para menor teor de argila, a exceção das áreas de capineira. Nas áreas de pastagem ocorreu um aumento de Namino da textura argilosa (0,094 g kg<sup>-1</sup> solo) para a textura argilo arenosa (0,097 g kg<sup>-1</sup> solo), embora não significativo, voltando a decrescer com as texturas franco argilo arenosa (0,082 g kg<sup>-1</sup> solo), franco arenosa (0,068 g kg<sup>-1</sup> solo) e areia franca (0,046 g kg<sup>-1</sup> solo).

No caso do efeito da textura em função do uso, os resultados também foram sempre decrescentes ao passar das áreas de mata para as de roçado, isto é, ao aumentar a intensidade de uso do solo. Entretanto, esses decréscimos não foram significativos nos casos das texturas franco arenosa e areia franca. A ocorrência da interação provavelmente aconteceu devido a estes dois casos, onde ocorreu a oscilação.





**Figura 8.** Relação entre C oxidável e C total (a) e N amino-açúcar e N total (b) em função das diferentes posições no relevo.

**Tabela 7.** Efeito da posição no relevo nos teores médios ( $\pm$  erro padrão) de C total, C oxidável, C oxidável/C total, N total, N amino-açúcar e N amino-açúcar/N total.

Posições no Relevo	C total	C oxidável	Coxidável/Ctotal	N total	N amino	N amino/Ntotal
	----- g kg <sup>-1</sup> solo -----		%	----- g kg <sup>-1</sup> solo-----		%
Topo (n=43)	15,8 (1,25) a	0,963 (0,07) a	6,19(0,17) a	1,28 (0,10) ab	0,0905 (0,006) a	7,12 (0,22) a
Ombro (n=24)	13,1 (1,33) b	0,806 (0,09) a	6,07(0,22) a	1,08 (0,10) b	0,0745 (0,003) ab	6,69 (0,27) a
Meia encosta (n=189)	16,0 (0,63) a	0,972 (0,04) a	6,16 (0,10) a	1,33 (0,05) a	0,0923 (0,004) a	6,94 (0,10) a
Pedimento (n=41)	9,61 (0,54) c	0,618 (0,04) b	6,45 (0,18) a	0,802 (0,05) c	0,0583 (0,004) b	7,19 (0,23) a
Várzea (n=65)	15,4 (1,02) ab	0,952 (0,05) a	6,76 (0,14) a	1,28 (0,09) ab	0,0885 (0,006) a	7,01 (0,23) a

Letras diferentes na coluna diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Classe textural	Uso do solo						<b>Tabela</b> <b>8.</b> Efeito da interação uso do solo vs. textura no teor
	mata	sabiá	capoeira	capineira	pastagem	roçado	
Argilosa	0,203 aA	---	---	---	0,094 abA	---	
Argilo Arenosa	0,191 aA	---	0,153 aAB	---	0,097 aB	0,089 aB	
Franco Argilo Arenosa	0,154 bA	0,122 aAB	0,090 abB	0,088 aAB	0,082 abB	0,073 abB	
Franco Arenosa	0,104 cB	0,073 aA	0,070 abA	0,070 aA	0,068 bcA	0,055 abA	
Areia Franca	0,093 bcA	0,064 aA	0,043 bA	0,051 aA	0,046 cA	0,041 bA	

médio (g kg<sup>-1</sup> solo) de N amino-açúcar.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, na coluna, e maiúsculas iguais, na linha, não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

## 5.0 CONCLUSÕES

Os teores totais de C e N variaram em função do uso do solo, da textura e da posição no relevo. De forma geral os teores foram maiores nos sistemas de uso mais conservativos (mata, sabiá e capoeira) e menores nas áreas de capineira, pastagem e roçado, independentemente de textura e posição no relevo. Os teores de Ct e Nt diminuíram com o aumento no teor de areia, independentemente de uso e posição, e, em relação à posição no relevo, foram menores nas áreas de pedimento. Os teores de Cox e Namino, de forma geral, acompanharam as variações nos teores de Ct e Nt. Por esse motivo as proporções Cox/Ct e Namino/Nt, embora tenham mudado significativamente com as variações de uso do solo, o fizeram em uma faixa muito estreita, originando dúvidas quanto ao potencial dessas frações para o diagnóstico da qualidade da matéria orgânica do solo.

## 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, G.D.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H; SILVA, V.M. Potencial de mineralização de N e de C em vinte solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 245-256, 1999.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- BAYER, C. e MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p.105-112, 1997.

- BAYER, C. e MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Ed. Gênese. Porto Alegre, p. 9-26. 1999.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, D.B.; LISLE, L. Soil carbon fractions, based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Aust. J. Agric. Res.** V.46, p.1459-1466, 1995.
- BREMNER, J. M. e MULVANEY, C. S. Nitrogen-total. In: Page, A. L., R. H. Miller e D. R. Keeney (Eds) **Methods of soil analysis**. Chemical and microbiological properties. SSSA, Madison, Part 2., p.595-624, 1982.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford, Clarendon Press, 1987. 193 p.
- CAMARGO, F. A. de O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio orgânico em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 575-580, 1997.
- CAMARGO, F. A. de O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, J. M.; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Ed. Gênese. Porto Alegre, p.117-137. 1999.
- CAMBARDELLA, C. A. e ELLIOTT, E.T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 58, p. 123-130, 1994.
- CARVALHO, M. G. R. F. **Estado da Paraíba: classificação geomorfológica**. Ed. Universitária UFPB, João Pessoa, 1982. 72 p.

- CARVALHO, O.S.; GASCÓ, J.M.; LOPEZ, F.G.; REQUEJO, A.S. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 497-503, 1998.
- CHAVES, I. B. **Erosividade das chuvas da microrregião homogênea. Nº 98 – Estado da Paraíba.**: ESALQ/USP, 1977. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- COLOZZI FILHO, A.; BALLOTA, E. L. e ANDRADE, D. S. Microbiologia e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E. e CARVALHO, J. G. (Eds.) **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS, Lavras, UFLA/DCS, 1999. p. 487-508.
- COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S. e BALLOTA, E. L. Atividade biológica no sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, 1., Ponta Grossa, 2000. **Anais...** Ponta Grossa, Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 55-69.
- CRASWELL, E. T. e LEFROY, R. D. B. The role and function of organic matter in tropical soils. In: Nutrient Cycling in Agroecosystems. C. Martius, H. Tiessen e P. L. G. Vlek (Eds.), v. 61, p. 7-18, 2001.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. In: Black, C. A. ed. **Methods of soil analysis**. Madison: Am. Soc. Agron. 1965. pte. 1, p. 545-567.
- DUXBURY, J. M., SMITH, M. S. e DORAN, J. W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. D.

- C. Coleman, J. M. Oades e G. Uehara (Eds.), University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, p. 33-67, 1989.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Serviço de Produção de Informação, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília – DF. 1999.
- FRAGA, V. da S. **Mudanças na matéria orgânica (C, N e P) de solos sob agricultura de subsistência**. 2002. 76 p. Tese (Doutorado em Tecnologias energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.
- FRAGA, V. da S. e SALCEDO, I. H. Frações da matéria orgânica determinadas por quatro métodos para avaliar mudanças no uso do solo. In: FertBio. **Anais...** Rio de Janeiro. 2002.
- FRANZLUEBBERS, A. J., HANEY, R.L., C.W. HONEYCUTT, SCHOMBERG, H.H., e HONS, F.M. Flush of carbon dioxide following rewetting of dried soil relates to active organic pools. **Soil Science Society American Journal**, v. 64, p. 613-623, 2000.
- GREGORICH, E. G.; GREER K.J.; ANDERSON, D.W.; LIANG B.C. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. **Soil e Tillage Research**, v. 47, p. 291-302, 1998.
- ISLAM, K. R. e WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical Forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 79, p. 9-16, 2000.
- KHAN, S. A.; MULVANEY, R. L.; HOEFT, R.G. A simple soil test for detecting sites that is nonresponsive to nitrogen fertilization. **Soil Science Society American Journal**, v. 65, p. 1751-1760, 2001.
- MARCHIORI JÚNIOR, M. e MELO, W. J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 257-263, 1999.

- MARTIN, J. P. e HAIDER, K. Influence of mineral colloids on turnover rates of soil organic carbon. In: HUANG, P. M. e SCHNITZER, M. (Eds.) **Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes**. SSSA, Madison, p. 283-304, 1986.
- MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant Soil**, v. 181, p. 83-93, 1996.
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Ed. Gênese. Porto Alegre, p. 01-08. 1999.
- MOREIRA, F. M. S. e SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, UFLA, 2002. 625 p.
- MULVANEY, R. L.; KHAN, S. A.; HOEFT, R. G.; BROWN, H. M. A soil organic nitrogen fraction that reduces the need for nitrogen fertilization. **Soil Science Society American Journal**, v. 65, p. 1164-1172, 2001.
- NEEDELMAN, B. A.; WANDER, M. M.; BOLLERO G. A.; BOAST, C. W.; SIMS, G. K.; BULLOCK, D. G. Interaction of tillage and soil texture: biologically active soil organic matter in Illinois. **Soil Science Society American Journal**, v. 63, p. 1326-1334, 1999.
- SÁ, J. C. M. Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização para produção de grãos no sistema plantio direto. **In: SEMINÁRIO SOBRE O SISTEMA PLANTIO DIRETO NA UFV, Resumo das palestras, Viçosa, UFV/DFT.**, p. 19-61, 1998.
- SAMPAIO, E. V. S. B. e SALCEDO, I. H. Efeito da adição de nitrogênio e palha-<sup>14</sup>C na liberação de CO<sub>2</sub> e formação de biomassa microbiana em latossolo vermelho amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, p. 177-181, 1982.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA, F. B. R. Fertilidade de solos do semi-árido do nordeste. **In: XXI REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E**



- NUTRIÇÃO DE PLANTAS. Fertilizantes: insumo básico para agricultura e combate à fome. EMBRAPA - CPATSA-SBCS, Petrolina, p. 51-72, 1995a.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA, V. M.; ALVES, G. D. Capacidade de suprimento de nitrogênio e resposta à fertilização de vinte solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 19, p. 269-279, 1995b.
- SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H. e CANDEIAS, A. L. B. Tematização do relevo da microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. Florianópolis, 2002.
- SCHOLES, M. C.; SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; SANCHEZ, P. A.; INGRAM, J. S. I.; DALAL, R. Soil fertility research in response to the demand for sustainability. In: WOOMER, P. L. e SWIFT, M. J. (Eds). **The Biological Management of Tropical Soil Fertility**, p. 1-14, 1994.
- SHANG, C. e TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density and magnetic fractionations. **Soil Science**, v. 162, p. 795-807, 1997.
- SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T. e COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. **Soil Science Society American Journal**, v. 64, p. 681-689, 2000.
- SNYDER, J. D. e TROFYMOW, J. A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, v. 15(5), p. 587-597, 1984.
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry – genesis, composition, reactions**. In: John Wiley e Sons (Eds.) Department of Agronomy, University Illinois, 1 ed., 1982. 443 p.
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry – genesis, composition, reactions**. In: John Wiley e Sons (Eds.), Department of Agronomy, University Illinois, 2 ed., 1994. 496 p.

- SURFER 7. **Golden Software, Inc.** Contouring and 3D surface mapping for Scientists and Engineers, 1999.
- TIESSEN, H; CUEVAS, E.; SALCEDO, I.H. Organic matter stability and nutrient availability under temperate and tropical conditions. **Advances in GeoEcology**, v. 31, p. 415-422, 1998.
- WOONER, P. L.; MARTIN, A.; ALBRECHT, A.; RESCK, D. V. S. e SCHARPENSEEL, H. W. The importance and management of soil organic matter in the tropics. In: **The Biological Management of Tropical Soil Fertility** WOOMER, P. L. e SWIFT, M. J. (Eds.), p. 47-80, 1994.
- WOODS, L. E. e SCHUMAN, G. E. Cultivation and slope position effects on soil organic matter. **Soil Science Society American Journal**, v. 52, p. 1371-1376, 1988.