



## QUALIDADE E MOBILIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DE SISTEMAS ADJACENTES À LAGOA DE CIMA, CAMPOS DOS GOYTACAZES–RJ

L.M. Ribas<sup>1\*</sup>, M.A. Baldotto<sup>2\*\*</sup>, L.P. Canellas<sup>2\*\*</sup>, C.E. Rezende<sup>3\*\*\*</sup>

1- Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF)  
Darcy Ribeiro. Av. Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia,  
CEP: 28013-600, Campos dos Goytacazes, RJ.

2- Laboratório de Solos, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da UENF Darcy Ribeiro

3- Laboratório de Ciências Ambientais do Centro de Biociências e Biotecnologia da UENF Darcy Ribeiro  
E-mail: \*ligiamn@uenf.br; \*\*canellas@uenf.br; \*\*marihus@uenf.br; \*\*\*crezende@uenf.br

Recebido em 04/08, aceito para publicação em 10/08

### ABSTRACT

*The soil organic matter is the largest reservoir of carbon in the natural systems, where carbon stability can be evaluated by analyzing the increase of the concentration of humic fractions. This study analyzed the C transport from terrestrial to aquatic ecosystems in order to evaluate the quality and mobility of organic matter in different soil systems adjacent to “Lagoa de Cima” lake, an environmental protection area, in Campos of Goytacazes-Rio de Janeiro State, Brazil. The study started with the characterization of different soils under the following covers: Atlantic Forest, grass marginal vegetation, sugar-cane agriculture and pasture. In each system soil samples were collected for the chemical fractioning of the organic matter and for an experiment of carbon leaching in soil columns. The results indicated that the carbon quality and mobility were different depending on the system sampled. The carbon leaching was related to the presence of less humic forms of organic matter.*

### RESUMO

A matéria orgânica do solo é o maior reservatório de carbono nos sistemas naturais. Em tais sistemas a estabilidade do carbono pode ser estimada pelo aumento da concentração das frações humificadas. O presente trabalho analisa a problemática de transporte de carbono de sistemas terrestres aos aquáticos, tendo como objetivos a avaliação da qualidade e do potencial de lixiviação de carbono em sistemas solo-cobertura coletados em áreas adjacentes à área de proteção ambiental Lagoa de Cima, Campos dos Goytacazes-RJ, que se apresentam sob vegetação de Mata Atlântica, vegetação rasteira marginal, cultura de cana-de-açúcar e pastagem. Foram coletadas amostras de solo para o fracionamento químico da matéria orgânica (MO) e para um ensaio de lixiviação de carbono em colunas preenchidas com os solos desses sistemas. Os resultados indicaram que a qualidade da MO se modificou conforme o sistema solo-cobertura estudado e influenciou o potencial lixiviação de carbono.

## **INTRODUÇÃO**

A área de proteção ambiental (APA) Lagoa de Cima constitui um cenário geoquímico que engloba pequenas sub-bacias de drenagem, com características distintas, permitindo o estudo da matéria orgânica em escala reduzida. Adicionalmente, os principais usos do solo na região podem exercer uma influência significativa na biogeoquímica desta paisagem (Calasans *et al.*, 2003). As áreas de Mata Atlântica que cobriam as adjacências da lagoa vêm sendo substituídas por pastagens e cana-de-açúcar (Calasans, 1998; Pedrosa *et al.*, 2004). Ao derrubar a vegetação nativa para instalar plantações, há uma remoção de sistemas biológicos complexos, multi-estruturados, diversificados e estáveis. A sua substituição por sistemas simples e instáveis provoca variações na qualidade da matéria orgânica do solo (Pedrosa & Rezende, 2000; Canellas *et al.*, 2003). Assim, a qualidade do C e seu aporte à lagoa podem ser modificados pelo uso do solo.

A matéria orgânica do solo (MOS) pode ser caracterizada como um sistema complexo de substâncias, cuja qualidade é governada pela adição e pelas perdas de resíduos orgânicos de diversas naturezas. Tais processos envolvem contínuas transformações sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos (Stevenson, 1994; Camargo *et al.*, 1999). As diferentes frações da MOS apresentam características químicas, físicas e morfológicas diferenciadas entre si e, portanto, a distribuição dessas frações no solo pode informar sobre o seu processo de humificação, ou seja, sua estabilidade no sistema (Kononova, 1982; Stevenson, 1994; Camargo *et al.*, 1999; Canellas *et al.*, 2003).

As substâncias húmicas (SH) são consideradas o estágio final da evolução dos compostos de C no solo (Stevenson,

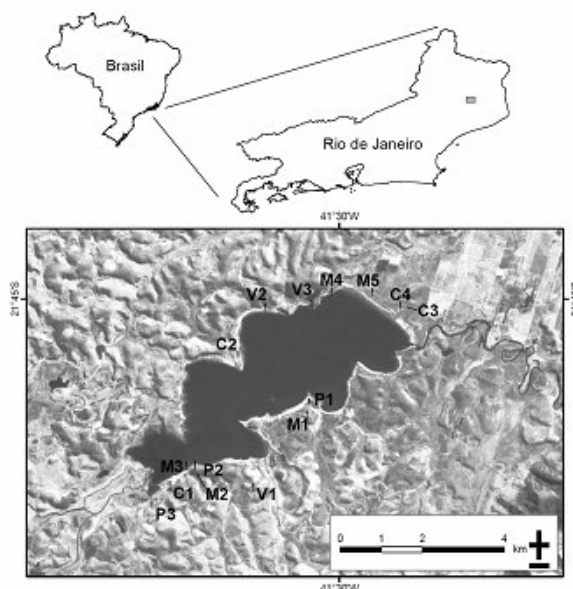
1994) e representam cerca de 30 a 85 % da MOS (Kononova, 1982). O termo SH é usado para descrever as frações obtidas com base em suas características de solubilidade: 1) ácidos fúlvicos livres (AFL), fração livre na solução do solo; 2) ácidos fúlvicos (AF), fração solúvel em qualquer valor de pH; 3) ácidos húmicos (AH), a fração solúvel em solução alcalina e insolúvel em meio fortemente ácido; 4) humina (H), a fração residual e, portanto, a fração insolúvel das SH (Camargo *et al.*, 1999). A humificação é caracterizada por um processo complexo baseado na síntese e/ou ressíntese dos produtos da mineralização dos compostos orgânicos que chegam ao solo (Camargo *et al.*, 1999). O húmus interage com o material mineral, interferindo na dinâmica de C nos sistemas naturais (Mendonça & Eowell, 1996). A quantificação das frações que compõem a matéria orgânica pode ser útil para monitorar os processos e as transformações da MOS, permitindo estimar a sua estabilidade e a saída de C do sistema (Peixoto, 1997). Geralmente, solos mais perturbados pelos sistemas de manejo apresentam maiores teores da fração residual (H) e das frações mais solúveis (AFL e AF). Assim, de maneira geral, quanto maior é a degradação do solo maior será o teor de H e menor será a relação AH/AF (Kononova, 1982).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a qualidade e a mobilidade da matéria orgânica em diferentes sistemas solo-cobertura adjacentes à área de proteção ambiental Lagoa de Cima, Campos dos Goytacazes–RJ.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A área selecionada para este estudo, a bacia hidrográfica da Lagoa de Cima, é uma APA localizada no município de Campos dos Goytacazes, na região norte do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1). O clima da região apresenta

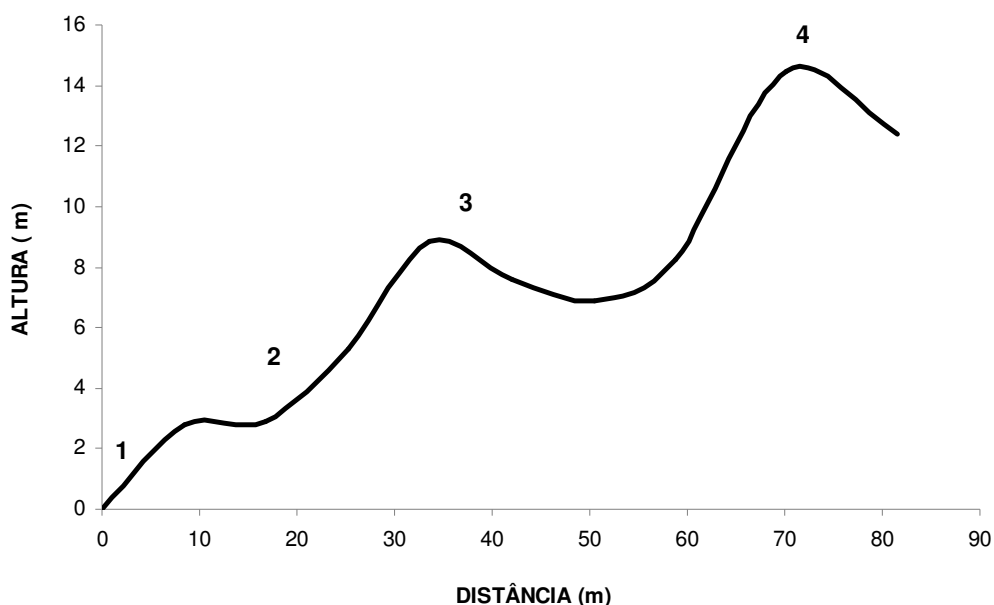
temperatura média anual em torno de 23 °C e precipitação média anual de 1.100 mm, sendo definida uma estação seca entre os meses de junho a agosto (CIDE, 1997).



**Figura 1:** Localização dos pontos de amostragem no entorno da Lagoa de Cima, Campos dos Goytacazes–RJ (C: Cana; M: Mata; V: Vegetação Rasteira Marginal e P: Pastagem/Fonte: Imagem de Satélite – 15/03/05).

Os sistemas solo-cobertura foram selecionados de acordo com sua localização e com o tipo de vegetação ou uso do solo. A Bacia de drenagem da Lagoa de Cima, coberta por mata Atlântica no passado, atualmente mostra um forte índice de alteração promovido pela atividade econômica, levando a substituição dessa vegetação nativa em mais de 60 % analisada. A ocupação da bacia é representada por 34 % de pastagens e 21 % de plantios de cana-de-açúcar (Rezende *et al.*, 2006). Foram realizadas a coleta e a caracterização de diferentes solos sob as seguintes coberturas: Mata Atlântica (mata), vegetação rasteira marginal composta predominantemente por macrófitas e por gramíneas do gênero *Brachiaria* (marginal), cana-de-açúcar (cana) e *B. brizantha* (pastagem), onde a pedofoma e a localização de cada sistema no entorno da lagoa dispõem-se conforme o esquema da Figura 2.

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 10 m em 15 pontos distribuídos na bacia de



**Figura 2:** Esquema ilustrando a pedoforma do entorno da Lagoa de Cima: 1. Lagoa; 2 e 3. Deposições do Quaternário, predominando de Neossolos Fúlvico com presença ou ausência de gleização sob cana-de-açúcar, braquiária ou vegetação marginal (altitude de até 10 m); 4. Formação do Período Terciário, com predomínio de Argissolos sob Mata Atlântica (aproximadamente 12 a 15 m acima do nível do espelho d'água da lagoa).

drenagem e nas margens da lagoa. Antes das análises, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm para uniformização.

O teor de MOS foi determinado por gravimetria após combustão a 550 °C por 1 hora de aproximadamente 3 g de solo. Os teores totais de carbono (Ct) e nitrogênio (Nt) foram determinados utilizando-se um analisador de elementos CHNS/O Perkin Elmer (2400 Series II). Neste equipamento a amostra foi oxidada a 925 °C em uma coluna de combustão e a mistura de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e H<sub>2</sub>O é carregada por He ultra-puro para a coluna de redução mantida a 640 °C. Em outro compartimento, os constituintes da mistura de gases foram separados através da coluna cromatográfica e, a seguir, foram detectados em função da termo-condutividade específica de cada elemento.

A área superficial específica (AS) da fração mineral do solo foi determinada com o analisador Nova 1200 (Quantacrome Corporation), baseando-se no método BET (Brunauer-Emmett-Teller) de adsorção e dessorção de nitrogênio por múltiplos pontos. Na análise, 10 g de amostra úmida foram congeladas e, posteriormente, uma alíquota de aproximadamente 5 g foi congelada em nitrogênio líquido, liofilizada e levada à mufla a 480 °C por 1 hora, com a finalidade de remover a matéria orgânica. Aproximadamente 1,5 g deste material foram levados à estação de degaseificação, a 200 °C, por no mínimo uma hora, com o objetivo de remover a água estrutural. A seguir a amostra foi transferida à estação de análise da AS.

O fracionamento da MOS foi realizado a partir da simplificação do método de Stevenson (1994) descrito detalhadamente por Guerra & Santos (1999). Foram obtidas cinco frações: matéria orgânica livre (MOL), ácidos

fúlvicos livres (AFL), ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e huminas (H). O teor de C de cada fração foi determinado por oxidação 680 °C com catalisador de platina, em equipamento TOC-5000 (Shimadzu). A amostra foi acidificada com HCl 2 mol.L<sup>-1</sup> e purgada com ar sintético ultrapuro. A dosagem foi realizada por meio de um detector dispersivo de infravermelho. O C residual (humina) foi determinado por combustão no analisador CHNS/O Perkin Elmer (2400 Series II).

A mobilidade da matéria orgânica dos sistemas solo-cobertura do entorno da Lagoa de Cima foi avaliada num experimento de lixiviação artificial em colunas de solo submetidas a diferentes regimes pluviométricos. Para tanto, os solos dos diferentes sistemas foram acondicionados em colunas de PVC de 0,05 m de diâmetro e 0,50 m de comprimento. As colunas foram preenchidas com camadas de solos coletadas em duas profundidades: 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. Adicionaram-se 2,0 L de água deionizada e o lixiviado das colunas foi coletado a cada 500 mL de água percolada, filtrado em *glass filter* de modo a serem simulados quatro regimes pluviométricos: 250; 500; 750 e 1.000 mm. Nesses lixiviados foram analisados o teor de C por oxidação catalítica (TOC-5000). De posse do total de C lixiviado acumulado para os 1.000 mm, foram obtidas as estimativas para tais teores corrigidos por massa de solo nas colunas e por massa de carbono no solo das colunas.

Foram obtidas as médias experimentais para cada sistema solo-cobertura e estimados os respectivos erros-padrão (erro-padrão da média é a relação entre o desvio-padrão e a raiz quadrada do número de observações). Ajustaram-se equações de regressão para os teores de C lixiviado em função da quantidade de água coletada após a sua percolação em colunas preenchidas

com solos provenientes dos diferentes sistemas amostrados no entorno da lagoa. Realizaram-se, também, os ajustes de correlações entre as variáveis de qualidade e mobilidade de C e de caracterização dos sistemas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na caracterização inicial, foram encontradas diferenças entre os sistemas solo-cobertura da APA Lagoa de Cima (Tabela 1). Os teores de MOS, Ct, Nt e AS apresentaram um entorno de lagoa com distintas situações biogeoquímicas. Tais variáveis assumiram maiores valores para os sistemas de cultivo com gramíneas (cana e pastagem) se comparados à Mata Atlântica. Os valores de MOS nos sistemas com cana e pastagem foram, em média, mais que duas vezes maiores que os determinados no solo de mata.

Com relação aos teores de Ct e Nt, os valores obtidos no presente estudo para os solos sob mata foram próximos aos encontrados por Mazurec (2003) e Calasans (1998), estudando esses mesmos sistemas na Baixada Campista.

Tais autores verificaram valores próximos a  $28 \text{ g.kg}^{-1}$  para Ct e em torno de  $23 \text{ g.kg}^{-1}$  para Nt. O teor de Ct determinado para o sistema mata foi comparável ao desses autores, de aproximadamente  $24 \text{ g.kg}^{-1}$ . No entanto, o teor de Nt foi menor, em torno de  $1,2 \text{ g.kg}^{-1}$ . Os sistemas sob cana-de-açúcar e pastagem apresentaram, em média, valores de Ct maiores aos encontrados pelos mesmos autores, ou seja, entre 40 e  $50 \text{ g.kg}^{-1}$  no presente estudo em comparação com valores situados entre 8 a  $50 \text{ g.kg}^{-1}$  nos trabalhos supracitados.

Para a AS, os valores apresentados por Mazurec (2003), medidos a mesma metodologia, em solos sob mata ( $41,2 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ) e pastagem ( $46,1 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ), foram maiores que os encontrados no presente estudo ( $8,28$  e  $15,8 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  para mata e cana, respectivamente). O mesmo não aconteceu para o solo sob cana-de-açúcar, que apresentou AS de  $22,8 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  em comparação aos  $17,2 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  encontrados pelo autor citado. Estas diferenças são atribuídas à variabilidade espacial no solo da região e também ao relevo entre as estações amostradas pelos dois autores. Por outro lado, vários estudos sobre textura do solo e

**Tabela 1:** Caracterização inicial dos sistemas solo-cobertura no entorno da Lagoa de Cima, Campos dos Goytacazes–RJ.

Sistema <sup>(1)</sup>	Amostras	Variáveis <sup>(2)</sup>			
		MOS	Ct	Nt	AS
	Nº	g.kg <sup>-1</sup>			m <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup>
Mata	5	45,0 ± 3,7	23,6 ± 1,8	1,2 ± 0,1	8,3 ± 0,8
Marginal	3	45,0 ± 3,8	21,8 ± 5,7	1,1 ± 0,3	12,6 ± 0,1
Pastagem	3	91,2 ± 2,6	41,2 ± 1,6	2,6 ± 0,1	15,8 ± 0,6
Cana	4	125,0 ± 5,3	49,5 ± 1,8	2,7 ± 0,8	22,8 ± 0,8

<sup>(1)</sup>Mata: remanescentes da Mata Atlântica; Marginal: vegetação marginal espontânea predominantemente composta por gramíneas; Pastagem: braquiária; Cana: cana-de-açúcar;

<sup>(2)</sup>MOS: matéria orgânica do solo; Ct: carbono total; Nt: nitrogênio total; AS: área superficial. As médias experimentais estão acompanhadas dos valores pelo seu erro-padrão da média.

concentração de C demonstraram que o conteúdo de argila controla as propriedades químicas, físicas e biológicas devido a sua elevada área superficial e os resultados do presente estudo refletem este padrão clássico descrito na literatura (Oades, 1995).

Quanto ao Ct, nas amostras de solo coletadas sob cana-de-açúcar e pastagem foram determinados teores mais elevados (entre 40 e 50 g.kg<sup>-1</sup>), quase o dobro do valor observado para solos de vegetação marginal e mata (em torno de 22 e 24 g.kg<sup>-1</sup>). A maior renovação das raízes pelas gramíneas, aliada ao uso de adubos e de irrigação no cultivo de cana-de-açúcar, pode ter proporcionado a maior produção de material orgânico e refletir em maior produção de biomassa e acúmulo de C no sistema. Esta renovação da biomassa subterrânea não tem sido muito abordada, mas representa uma importante fonte de C na formação da MOS. Outro aspecto que não se pode desconsiderar é o fato da AS dos solos sob pastagem e cana-de-açúcar assumirem valores 2 a 3 vezes maiores do que os solos das áreas de mata e vegetação marginal coletada neste estudo. O balanço isotópico realizado nos solos da região, onde ocorreu a substituição da vegetação C3 (Mata Atlântica Original) por pastagens e cana-de-açúcar (Plantas C4), mostrou um

nítido enriquecimento isotópico do C nos primeiros 20 cm, após o que, a composição isotópica do C permaneceu constante até 1,50 m (Mazurec, 2003). Na profundidade de 0,20 m houve uma mudança de 30 a 45 %, enquanto até 0,05 m a contribuição de C de plantas C4 variou de 65 a 75 % nos últimos 60 anos dentro da área estudada. Esta é a estimativa da substituição da vegetação original (C3) pela atual cobertura vegetal de pastagem e cana de açúcar que correspondem a 34 e 21 %, respectivamente, da área da bacia de drenagem do sistema Rio Imbé – Lagoa de Cima (Rezende *et al.*, 2006).

A distribuição das frações humificadas da matéria orgânica foi específica para cada sistema estudado, refletindo as características de sua formação (Tabela 2). Os teores de AFL modificaram-se de acordo com o sistema estudado. No entanto, os de AF foram semelhantes entre as amostras estudadas, exceto para a pastagem, que teve maior participação nessa fração. A maior participação dos AF nos solos sob pastagem pode ser atribuída ao intenso aporte de C no sistema radicular via exsudação de ácidos orgânicos, precursores dessa fração da MOS (Farias *et al.*, 2005). O teor de AF para o solo sob mata foi próximo ao valor encontrado por Loss *et al.* (2004) e maior que o apresentado por Fontana *et al.*

**Tabela 2:** Fracionamento da matéria orgânica em sistemas solo-cobertura no entorno da Lagoa de Cima, Campos dos Goytacazes–RJ.

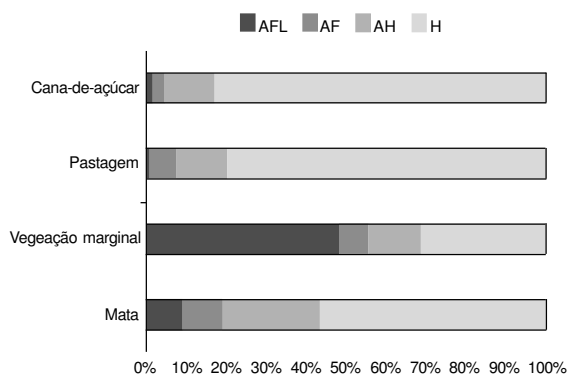
Sistema <sup>(1)</sup>	Frações <sup>(2)</sup>				
	MOL	AFL	AF	AH	H
	g.kg <sup>-1</sup>				
Mata	1,09 ± 0,51	1,19 ± 0,54	1,19 ± 0,25	2,92 ± 0,75	6,80 ± 1,45
Marginal	0,80 ± 0,55	8,92 ± 0,55	1,38 ± 0,35	2,38 ± 0,40	5,83 ± 0,20
Pastagem	0,27 ± 0,20	0,27 ± 0,22	2,81 ± 0,50	5,38 ± 1,35	33,46 ± 1,80
Cana	0,56 ± 0,04	0,56 ± 0,05	1,39 ± 0,20	5,26 ± 0,50	35,46 ± 3,11

<sup>(1)</sup>Mata: remanescentes da Mata Atlântica; Marginal: vegetação espontânea predominantemente composta por gramíneas; Pastagem: braquiária; Cana: cana-de-açúcar;

<sup>(2)</sup>MOL: matéria orgânica livre; AFL: ácidos fúlvicos livres; AF: ácidos fúlvicos; AH: ácidos húmicos; H: humina. As médias experimentais estão acompanhadas pelo seu erro-padrão.

(2001). Maiores teores de AH foram verificados nas amostras sob pastagem (5,38 g.kg<sup>-1</sup>) e cana-de-açúcar (5,26 g.kg<sup>-1</sup>) sendo aproximadamente 50 % maior que as demais coberturas vegetais.

Nas áreas com cana-de-açúcar e pastagem a fração reativa (AFL, AF e AH) é inferior a 20 % do carbono correspondendo a maior parte a fração inerte (humina) (Figura 3). Como a humina é caracterizada pela insolubilidade, sua alta porcentagem nos solos pode ser atribuída à rápida imobilização dos resíduos vegetais que chegam ao solo (Canellas *et al.*, 2003) e à interação com a fração mineral, uma vez que esta tem importante papel na estabilização organo-mineral. Tal fato é corroborado pelos maiores valores de superfícies específicas das frações minerais dos solos sob pastagem e cana, em especial desse último. Assim, no caso da cana maior presença de humina seria favorecida pela maior interação com a fração sólida inorgânica. Canellas *et al.* (2002), estudando as frações humificadas em solos sob cultivo de cana-de-açúcar e eucalipto, verificaram que a matéria orgânica do solo apresentou alto teor de substâncias húmicas, que pode ser devido à estabilização de compostos orgânicos via associação com a fração mineral. A maior porcentagem de AFL foi encontrada nos solos sob vegetação marginal (aproximadamente 45 %). A área na



**Figura 3:** Distribuição das frações orgânicas sistemas solo-cobertura no entorno da Lagoa de Cima, Campos dos Goytacazes–RJ. C<sub>AFL</sub>, C<sub>AF</sub>, C<sub>AH</sub>, C<sub>H</sub> representam os teores de carbono contido nas frações ácido fúlvico livre, ácido fúlvico, ácido húmico e humina, respectivamente (100%= C<sub>AFL</sub>+ C<sub>AF</sub>+ C<sub>AH</sub>+ C<sub>H</sub>).

margem da Lagoa de Cima é mais influenciada pela lâmina d’água da lagoa e onde mais se expressa o processo de gleização. Além disso, recebe materiais dos demais sistemas, que, nas condições citadas, relativamente limitantes às transformações biológicas, resulta em acúmulo das formas orgânicas não humificadas (Tabela 2) de maior solubilidade (Tabela 3).

Verificaram-se materiais mais solúveis no sistema marginal. Tal fato encontra suporte na menor relação AH/AF estimada para esse sistema em relação aos demais. Além disso, parte do C aportado nesse sistema deve provir das áreas ao seu entorno, uma vez que essa porção está localizada mais internamente, ou seja, mais próxima à lagoa.

**Tabela 3:** Qualidade da matéria orgânica em sistemas solo-cobertura no entorno da Lagoa de Cima, Campos dos Goytacazes–RJ.

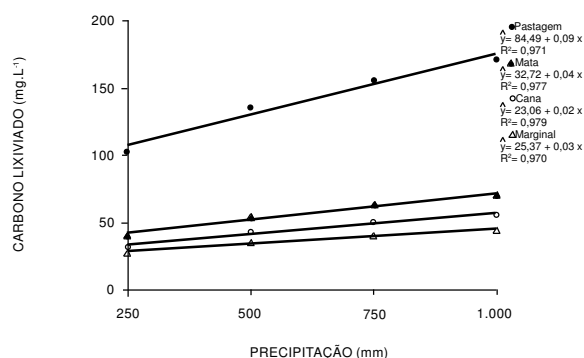
Sistema <sup>(1)</sup>	Variáveis <sup>(2)</sup>		
	AH/AF	IS	IH
		%	%
Mata	2,45	78	64
Marginal	1,72	217	90
Pastagem	1,91	25	105
Cana	3,78	20	83

<sup>(1)</sup>Mata: remanescentes da Mata Atlântica; Marginal: vegetação espontânea predominantemente composta por gramíneas; Pastagem: braquiária; Cana: cana-de-açúcar;

<sup>(2)</sup>AH/AF: relação ácidos húmicos/ácidos fúlvicos; IS= índice de solubilidade [(AFL+AF+AH/H)x100]; IH: índice de humificação [(AFL+AF+AH+H/Corg) x 100].

Os solos sob cobertura de pastagem, com maiores teores de C nas frações AFL e AF, podem contribuir em maior magnitude para a eutrofização das águas da Lagoa de Cima, pois essas frações da MOS são potencialmente as mais lixiviáveis, se comparadas aos AH. Adicionalmente, íons complexados com AFL e AF podem ser aportados na lagoa.

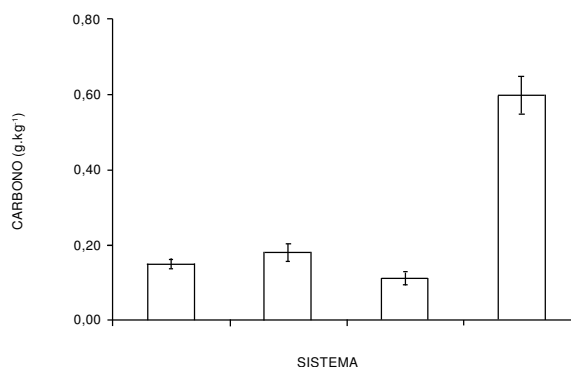
O experimento de lixiviação em colunas de solo mostrou maior mobilidade do C nas amostras sob pastagem e cana. Os solos sob pastagem apresentaram maior concentração de C lixiviado ( $\text{mg.L}^{-1}$  de C) de acordo com os diferentes regimes pluviométricos (Figura 4).



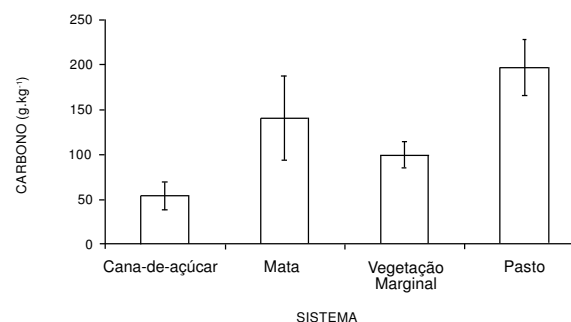
**Figura 4:** Carbono lixiviado em função da precipitação aplicada em colunas de solos dos diferentes sistemas solo-cobertura no entorno da Lagoa de Cima, Campos dos Goytacazes–RJ. Equações de regressão com estimadores dos parâmetros significativos a até 5 % de probabilidade.

As equações de regressão para o teor de C lixiviado em resposta à precipitação artificial mostraram taxas de mobilidade distintas. O alto valor do intercepto da reta ajustada para o sistema pastagem indica a presença de formas mais móveis de C. Tais formas resultariam da liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular na rizosfera dessas espécies, levando a uma maior proporção de AF. O potencial de aporte de C na lagoa é maior e mais rápido sob pastagem. As taxas de lixiviação verificadas para esse sistema são, em média, cerca de três vezes maiores que as demais avaliadas. As elevadas taxas de lixiviação de C para

pastagem resultaram em acumulados, para os 1.000 mm, significativamente maiores, mesmo quando corrigidos para os teores de Ct dos respectivos sistemas (Figuras 5 e 6).



**Figura 5:** Carbono lixiviado por massa de solo nas colunas (acumulado em 1.000 mm).



**Figura 6:** Carbono lixiviado por massa de carbono no solo nas colunas (acumulado em 1.000 mm).

A maior mobilidade do C da área sob pastagem está associada às frações solúveis em água da MOS, pois esses solos apresentaram maiores teores da fração AF. Os solos sob vegetação de mata mostraram, também, alta mobilidade do C lixiviado. No entanto, vale ressaltar, que aqueles solos apresentaram aproximadamente 40 % de frações solúveis do total das SH. Ainda pode-se argumentar que tais solos apresentaram menor área superficial, logo, uma menor capacidade de estabilizar C.

Os solos sob cana-de-açúcar mostraram menor C lixiviável, o que está de acordo com a alta porcentagem de humina presentes nestes solos. Como a humina é uma fração insolúvel, grande parte do C fica retido nos solos devido à



estabilização organo-mineral. De forma geral, os solos com menor AS apresentaram reduzida capacidade de retenção de C dissolvido. As frações solúveis da matéria orgânica interagem com a água proveniente da precipitação e são facilmente lixiviadas para o ambiente aquático adjacente. Mazurec (2003) observou para os solos sob cana-de-açúcar uma associação positiva e significativa entre MO e AS.

A presença de materiais mais solúveis (AFL) foram relacionadas positivamente ( $r=0,98$ ,  $P<0,01$ ) ao índice de solubilidade (IS), apresentado na Tabela 3. Adicionalmente, o IS diminuiu com o aumento da proporção de AH em relação aos AF ( $r=-0,93$ ,  $P<0,01$ ) e foi também observado que o aumento do teor de AF é acompanhado por maiores taxas de lixiviação de C ( $r=0,94$ ,  $P<0,01$ ).

O teor de C lixiviado por massa de C na coluna de solo aumentou com a maior proporção de AF na MOS ( $r=0,97$ ,  $P<0,01$ ), não apresentando correlação significativa com as frações AH e huminas. Notadamente, os teores de AF seguem a seguinte seqüência: pastagem > marginal ~ cana > mata.

O aumento da AS resulta em incremento no C lixiviado, tanto corrigido para a massa de solo na coluna ( $r=0,83$ ,  $P<0,05$ ), quanto para o teor de C no solo ( $r=0,88$ ,  $P<0,05$ ). No entanto, tal mobilidade advém de sistemas que possuem maiores teores de Ct e MOS (cana e pastagem). AS e MOS, assim, apresentaram estreita correlação ( $r=0,95$ ,  $P<0,01$ ), indicando que a

concentração de C está relacionada à presença de uma matriz mineral mais reativa.

## **CONCLUSÕES**

Os resultados apontam que o fracionamento químico da MOS se modificou conforme o sistema solo-cobertura estudado. Dentre os sistemas estudados, o sistema mata apresentou maior equilíbrio entre as formas de C, com maior estabilidade da MOS. A mobilidade do C variou de acordo com a distribuição das frações da MOS. Sistemas onde predominaram formas mais solúveis e menos humificadas apresentaram mais C lixiviável.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao técnico de nível médio Arizoli Antônio Gobo Rosa e ao aluno de iniciação científica Renato Gobo Rosa pelo auxílio nas análises. Este estudo fez parte do Projeto Instituto do Milênio Estuários (CNPq Proc. 420050/2005-1) e contou, ainda, com recursos do CER Proc. 521965/969, aos quais agradecemos. O Dr. Carlos E. Rezende é Professor Colaborador do Programa de Estudos Ambientais da Washington & Lee University e Pesquisador Afiliado do Programa de Estudos Ambientais para América Latina e Caribe da Fairfield University. Este trabalho é uma contribuição do Programa de Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- CALASANS, C.V.C. (1998). Origem e dinâmica da matéria orgânica em um sistema fluvio lacustre da região Norte Fluminense. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense, 100p.
- CALASANS, C.; PEDROSA, P.; REZENDE, C.E. (2003). Annual dynamics of dissolved and particulate organic matter in a tropical fluvial-lacustrine system (Cima Lake,

- Brazil). *Geochim. Brasiliensis*, **17**: 26-36.
- CAMARGO, A.O.; SANTOS, G.A.; GUERRA, J.G.M. (1999). Macromoléculas e Substâncias Húmicas. In: Santos, G.A. & Camargo, A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 1 ed. Porto Alegre, Ed. Gênese, 489p.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; RUMJANEK, V.M.; GURIDI, F.; OLIVARES, F.L.; SANTOS, G.A.; BRAZ-FILHO, R. (2002). Distribution of the humified fractions and characteristics of the humic acids of an ultisol under cultivation of eucalyptus and sugar cane. *Terra*, **20**: 371-381.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. (2003). Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhiço e adição de vinhaça por longo tempo. *Rev. Bras. Cien. Solo*, **27**: 935-944.
- CIDE (1997). Fundação Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro, 80p.
- FARIAS, P.E.; ZONTA, E.; CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. (2005). Aporte de Carbono Solúvel pelo Sistema Radicular de Arroz e sua Influência nos Teores de Substâncias Húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. *Rev. Bras. Cien. Solo*, **29**: 875-882.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, G.B.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G. (2001). Matéria orgânica em solos de tabuleiro na Região Norte Fluminense, RJ. *Flor. Amb.*, **8**: 114-119.
- KONONOVA, M.M. (1982). *Materia Orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Barcelona, Oikos-tau, 364p.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; BRITO, R.J.; DEARINELLI, G.P. (2004). Caracterização da matéria orgânica sob diferentes sistemas de manejo agrícola e cobertura vegetal em solos de tabuleiro, no estado do Rio de Janeiro. *Agron.*, **38**: 47-50.
- MAZUREC, A.P. (2003). Alterações na matéria orgânica e na fertilidade dos solos submetidos a diferentes usos da terra: uma região de Mata Atlântica no Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense, 115p.
- MENDONÇA, E.S. & EOWELL, D.L. (1996). Mineral and organic fractions of two oxisols and their influence on effective cation-exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **60**: 188-192.
- OADES J.M. (1995). Recent advances in organomineral interactions: implications for carbon cycling and soil structure. In.: Huang, P.M.; Berthelin, J.; Bollag, J.M.; McGill, W.B.; Page, A.L. (eds.) *Environmental impact of soil component interactions*. v. 1. (CRC Publisher), pp. 119-134.
- PEDROSA, P.; REZENDE, C.E. (2000). Dissolved inorganic carbon and metabolism of an eutrophic lacustrine system: variations from a 36 h study. *Rev. Bras. Biol.*, **60**: 607-614.
- PEDROSA, P.; TOTTI, M.E.F.; REZENDE, C.E. (2004). Environmental sustainability at the hierarchical level of lake systems. *Intern. J. Sust. Dev.*, **7**: 185-199.
- PEIXOTO, R.T.G. (1997). Matéria orgânica e a dinâmica das cargas elétricas dos solos: processos e conseqüências. In: Congr. Brasil. Ciênc. Solo, **26**, 1997, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SBCS/Embrapa-CNPS, 32p. CDROM.
- REZENDE, C.E.; OVALLE, A.R.C.; PEDROSA, P.; NASCIMENTO, M.T.; SUZUKI, M.S.; MIRANDA, C.R.R.; MONTEIRO, L.R.; PEDLOWKI, M.A.; MAZUREC, A.P.; ERBESDOBLER, E.; KRISTOSCHI, G.C. (2006). Diagnóstico ambiental da área de proteção ambiental da Lagoa de Cima. (Orgs. Rezende, C.E.; Monteiro, L.R.; Di Benedetto, A.P.M.). 1 ed. Campos dos Goytacazes. Ed. Série Ciências Ambientais v. II: 148p.
- STEVENSON, F.J. (1994). *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. New York: John Wiley & Sons.