

## Atributos físicos, químicos e microbiológicos dos solos sob diferentes usos em topossequências no Noroeste Fluminense

Emanuela Forestieri Gama-Rodrigues<sup>1</sup>, Stefânia Palma Araújo<sup>2</sup>, Lucas Luís Faustino<sup>1</sup>, Renato Valadares de Sousa Moreira<sup>3</sup>, Vanderlan de Oliveira Paulucio<sup>4</sup>, Antônio Carlos Gama-Rodrigues<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Laboratório de Solos, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. E-mail: emanuela@uenf.br (ORCID: 0000-0002-2949-1072); lucasfaustino1987@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0002-5038-4378); tonygama@uenf.br (ORCID: 0000-0003-2070-7743)

<sup>2</sup> Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo, Brasília, DF, Brasil. E-mail: stefania.araujo@agricultura.gov.br (ORCID: 0000-0002-2597-2143)

<sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, São Gabriel da Cachoeira, AM, Brasil. E-mail: renato\_vsm@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0002-4685-6846)

<sup>4</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Agropecuário, Centro de Ciências Agrárias, Alegre, ES, Brasil. E-mail: vopaulucio@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0001-7655-6791)

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi avaliar as inter-relações entre uso do solo, posição na paisagem (posição na topossequência) e seus efeitos sobre atributos físicos, químicos e microbiológicos em solos sob diferentes sistemas de uso da terra em duas topossequências no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. A primeira topossequência consistiu de vegetação espontânea no terço superior e plantio de pupunha nos terços médio e inferior; a segunda topossequência consistiu de pasto nos três terços. Os atributos edáficos determinados foram: densidade do solo, porosidade total e teor de argila; teores de P, Ca, Mg, K, Al e pH; carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração acumulada, C orgânico e N total. A análise de agrupamento de Tocher e análise de componentes principais (ACP) foram realizadas para diferentes grupos de variáveis. Inicialmente utilizaram-se os atributos físicos e alguns atributos químicos e depois os atributos microbiológicos, C orgânico e N total. O conjunto dos atributos físicos e químicos foram mais sensíveis que o COS, Nt e atributos microbiológicos em explicar a similaridade e, ou, dissimilaridade decorrentes tanto da posição na topossequência quanto da substituição na cobertura vegetal. Os atributos microbiológicos, COS e Nt evidenciaram a influência da substituição da cobertura vegetal e práticas (e, ou ausência) de manejo na dissimilaridade entre os sistemas de uso da terra. A relevância de atributos físicos, químicos e, ou, microbiológicos na distinção de sistemas de uso da terra vai depender das fontes de variação dos ambientes em que estes sistemas estão sendo estudados.

**Palavras-chave:** análise de agrupamento; análise de componentes principais; método de Tocher; pastagem; pupunha

## Physical, chemical and microbiological attributes of soils under different land uses in a toposequence in the northwest fluminense

**ABSTRACT:** The objective of this study was to evaluate the interrelationships between land use, landscape position (position in a toposequence) and its effects on physical, chemical and microbiological attributes in soils under different land use systems in two toposequences in Northwest of Rio de Janeiro State. The toposequence 1 consisted of spontaneous vegetation in the summit and pupunha palm plantation in the backslope and footslope; Toposequence 2 consisted of pasture in the three positions. The following variables were determined: bulk density, total porosity and clay content; P, Ca, Mg, K, Al content and pH; microbial biomass carbon and nitrogen, microbial respiration, organic C and total N. Tocher method and principal component analysis (PCA) were performed for different groups of variables. Initially the physical attributes and some chemical attributes and then the microbiological attributes, organic C and total N were used. The groups formed by the Tocher method for the two sets of variables used were confirmed by the PCA. The set of physical and chemical attributes were more sensitive than COS, Nt and microbiological attributes to explain the similarity and, or, dissimilarity due to both toposequence positions and vegetal cover conversion. The microbiological attributes, COS and Nt showed the influence of vegetal cover conversion and management practices (and, or absence) in the dissimilarity between land use systems. The relevance of physical, chemical and, or, microbiological attributes to distinguish land use systems will depend on the variation sources of the environments in which these systems are being studied.

**Key words:** cluster analysis; principal component analysis; Tocher's method; pasture; pupunha palm

## Introdução

O Brasil possui a maior diversidade biológica do planeta, que ocorre em uma ampla variedade de biomas e de solos. Um dos biomas mais importantes do país é a Mata Atlântica. Este bioma tem sua extensão compreendida entre os Estados do Ceará e o Rio Grande do Sul, cobrindo uma área de 100 a 120 milhões de ha. Atualmente, existe apenas 1% a 5% da cobertura original. No Estado do Rio de Janeiro, a situação é ainda mais grave, devido ao longo período de atividades agropecuárias. O uso da terra foi caracterizado pelos cultivos do café e da cana-de-açúcar desde o século XIX, que após a decadência deles, foi substituído por pastagens, constituindo na principal atividade rural até o presente momento. Em algumas áreas, as pastagens não são renovadas, gerando condições para o aparecimento de uma regeneração natural. Em outras áreas a pressão de uso ainda é elevada, levando à queimada induzida da vegetação em regeneração e mesmo da floresta, para o aumento da área de pastagem. Isto resultou não apenas na drástica redução do maciço florestal, mas também em um elevado grau de degradação dos solos (Gama-Rodrigues & May, 2001). Adicionalmente, a região apresenta diferentes feições do relevo, intensidade e duração dos processos pedológicos que aceleram o processo de degradação do solo, aumentando os problemas na produtividade agrícola. Hattar et al. (2010) relataram que as variações de algumas propriedades químicas e mineralógicas dos solos podem ser relacionadas com o declive, o comprimento, a curvatura e a localização relativa numa topossequência. Modificações nos atributos do solo, tais como nível de fertilidade, teor de matéria orgânica, densidade do solo, fluxo de ar e água podem ocorrer de acordo com a posição do solo na paisagem, drenagem do terreno, processos de erosão e deposição e, desenvolvimento da vegetação (Meireles et al., 2012).

Para reverter este cenário de degradação da região Norte/Noroeste fluminense os produtores têm buscado desenvolver práticas conservacionistas do solo e que também possam aumentar a renda e melhorar a qualidade de vida. Como exemplo, tem-se o cultivo de pupunha, uma cultura perene que com o manejo da poda, pode proporcionar aumento no teor de matéria orgânica, proteção do solo à ação erosiva da chuva, manutenção da temperatura e disponibilidade de água, favorecendo a biota do solo. Além disso, pode proporcionar melhoria das características físicas do solo, como redução da densidade do solo, aumento da porosidade e retenção de água (Neves et al., 2007).

Diante desta complexidade é necessária uma abordagem holística, ou seja, o estudo das inter-relações relevo e cobertura vegetal e seus efeitos sobre os atributos físicos, químicos e microbiológicos como base para um melhor entendimento das alterações ocorridas no sistema solo. Neste sentido, a quantificação da biomassa e atividade microbiana do solo é fundamental para o entendimento da dinâmica do C e N, pois além de ser o compartimento central do ciclo desses nutrientes, apresenta uma rápida ciclagem.

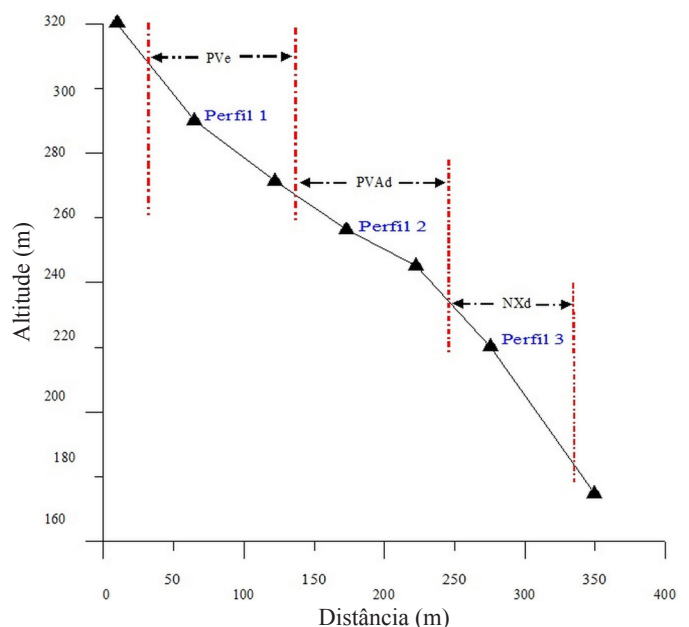
Estas quantificações devem estar associadas aos atributos químicos e físicos do solo, para uma avaliação sistêmica do manejo adotado (Barreto et al., 2012; 2008). Assim, o presente trabalho foi realizado a fim de avaliar as inter-relações entre uso do solo, posição na paisagem (posição na topossequência) e seus efeitos sobre atributos físicos, químicos e microbiológicos em solos sob diferentes sistemas de uso da terra em duas topossequências no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro.

## Material e Métodos

### Descrição da área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido na região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, no município de Miracema, na propriedade rural Venda das Flores com 21°21' de latitude Sul e 42°51' de longitude. O clima da região pela classificação de Köppen é do tipo Am, quente e úmido. A temperatura média é de 23°C e a precipitação média anual é de 1.247 mm. Os solos foram classificados como Argissolo Vermelho eutrófico latossólico no terço superior da encosta, Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico no terço médio e Nitossolo Háptico distrófico latossólico no terço inferior (Figura 1).

As áreas estudadas consistiram em duas topossequências, dispostas lado a lado, com 100 m de distância entre elas e sob condições similares de relevo, solo e clima. Cada encosta, com declividade média de 28%, foi dividida em três terços: o terço superior caracterizado por um perfil similar a pedofoma linear, com uma altitude de 286,2 m; o terço médio pedofoma côncava e altitude de 256,2 m; e o terço inferior pedofoma convexa, com altitude de 207,9 m.



**Figura 1.** Representação esquemática, da pedoforma da encosta e os pontos onde estão localizados os perfis estudados com as respectivas classes de solos. PVe, Argissolo Vermelho eutrófico; PVAd, Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico; NXd, Nitossolo Háptico distrófico.

### Uso e manejo dos solos nas duas topossequências

A cobertura vegetal presente na topossequência 1 foi a vegetação espontânea no terço superior e plantio de pupunha nos terços médio e inferior. A vegetação espontânea se desenvolveu em uma área anteriormente ocupada com pastagem, caracterizada principalmente por vegetação herbácea, com aproximadamente um metro e meio de altura. No local, havia predomínio de gramíneas, mas observou-se também a presença de invasoras de outras espécies, como a puerária (*Pueraria phaseoloides*), comum na região. O cultivo da pupunha foi realizado em terraços com plantio em contorno, com espaçamento de 1 x 2 m (5000 plantas ha<sup>-1</sup>) em uma área de 4 ha, substituindo a vegetação espontânea. No momento da instalação da cultura, o local foi arado e recebeu, aproximadamente, 2t de calcário/ha. Foram aplicados, em cada cova, 40 g de FTE BR12, 10 litros de esterco, 100 g de KCl, 100 g de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 150 g de superfosfato simples. No primeiro ano da cultura durante 3 meses foi realizada adubação de cobertura, aplicando-se fonte de nitrogênio (uréia ou sulfato de amônia, 150 g), 100 g de calcário, 150 g de KCl e 200 g de superfosfato simples. Nesse período, também foi realizado consórcio com feijão, aplicando-se 5 g de 4:14:8 por planta. Durante o período seco, a pupunha foi irrigada diariamente à noite por trinta minutos e na estação chuvosa, após dez dias sem chuva. A irrigação foi realizada pelo método do gotejamento, sendo utilizados dois gotejadores por cova com vazão de 3,7 litros hora. Durante a colheita, o pseudocaule da planta recebeu uma limpeza preliminar e os restos da cultura não aproveitados, folhas principalmente, foram mantidas na entrelinha cobrindo o solo.

A topossequência 2 consistiu de pasto degradado nos três terços composto por *Brachiaria decumbens*, sem adubações de reposição, sistema de pastejo extensivo e alta densidade animal (comunicação pessoal).

### Coleta e tratamento das amostras de solos

As amostras foram coletadas na profundidade de 0-10 cm com o auxílio de um trado, em pontos de amostragem escolhidos aleatoriamente. Na pupunha as amostras foram coletadas nas entrelinhas da cultura. Formaram-se quatro amostras compostas, provenientes de 15 (análises químicas e granulometria) e 20 amostras simples (análises microbiológicas) em uma área de 100 m<sup>2</sup> nos três terços de ambas as topossequências. Também foram coletadas amostras não deformadas na mesma profundidade, com o auxílio de um anel volumétrico para análise da densidade do solo.

As amostras para análises microbiológicas foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração a 4°C por 15 dias. As amostras foram destorroadas, e passadas em peneira com 2 mm de malha e homogeneizadas, retirando-se as raízes e os resíduos visíveis de plantas e animais do solo. Para eliminar o efeito do peneiramento, antes das análises microbianas, as amostras de solo foram incubadas em recipientes fechados, em temperatura entre

22 e 25 °C, no escuro, por sete dias, contendo um frasco com água e outro com NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, para absorver o CO<sub>2</sub> liberado do solo. Após essa pré-incubação, padronizou-se a umidade para 40 % da capacidade máxima de saturação do solo (Barreto et al., 2008).

### Análises físicas e químicas dos solos

Determinaram-se, de acordo com os métodos descritos por Embrapa (1997), as seguintes análises físicas e químicas: granulometria pelo método da pipeta e densidade do solo (DS) pelo método do anel volumétrico; porosidade total (PT) a partir dos valores de densidade do solo e densidade de partícula; pH (H<sub>2</sub>O); P e K extraíveis, por Mehlich-1 e determinados, respectivamente, por colorimetria e fotometria de chama; Ca e Mg, por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, sendo Ca e Mg determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O N total foi determinado pelo método Kjeldahl, e o C orgânico, por oxidação com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1,25 mol L<sup>-1</sup> em meio ácido (Anderson & Ingram, 1993).

### Análises microbiológicas

O carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM, respectivamente) foram determinados pelo método da fumigação-extração proposto por Tate et al. (1988). Foram utilizadas seis amostras de 20 g cada, três fumigadas e três não fumigadas. As amostras foram fumigadas com clorofórmio livres de álcool durante 24 horas, e posteriormente foram submetidas à extração direta com K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> por 30 minutos. A extração das amostras não fumigadas foi realizada simultaneamente à fumigação.

O CBM foi determinado por colorimetria por meio da metodologia de Bartlett & Ross (1988). O NBM foi determinado por meio de método N-reativo de ninidrina (Joergensen & Brookes, 1990). A respiração acumulada (RAS) foi estimada pela quantidade de CO<sub>2</sub> liberado durante seis dias de incubação a 25 °C. De cada amostra composta três subamostras de 50 g de solo foram incubadas, cada uma, em recipiente plástico contendo um frasco com 10 ml de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, mantido hermeticamente fechado. Após o período de incubação, o NaOH foi titulado com HCl, 0,5 mol L<sup>-1</sup> (Jenkinson & Powlson 1976). O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), foi calculado pela relação entre a respiração acumulada e o C da biomassa microbiana.

### Análise estatística

Inicialmente os dados foram submetidos às análises de normalidade (Teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Teste de Bartlett). Atendendo as pressuposições de normalidade e homogeneidade foi realizada a análise de variância considerando-se o delineamento inteiramente casualizado com três repetições. As variáveis que tiveram diferença significativa pelo teste F (p < 0,05), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p < 0,05). Os dados também foram submetidos à análise multivariada por meio do método de Tocher (técnica de agrupamento) e análise de componentes principais (ACP), que possibilitam o estudo da

similaridade ou dissimilaridade inter e intragrupos e também a avaliação da importância de cada variável sobre a variação total disponível entre os sistemas de uso da terra estudados (Cruz et al., 2004). A análise por componentes principais (ACP) consistiu em transformar um conjunto original de variáveis em outro conjunto de dimensão equivalente que correspondem à sua projeção nos eixos de ordenação, ou autovetores que representa o peso de cada variável em cada componente (eixos) e funciona como coeficiente de correlação, variando de -1 até +1. Os componentes principais são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação em termos de variação total contida nos dados iniciais (Cruz et al., 2004). O número de componentes utilizados para explicar a variação dos dados pode igualar-se ao número de variáveis, porém os eixos posteriores contribuem cada vez menos para explicar os dados. Neste trabalho, apenas os dois primeiros componentes foram utilizados, pois são considerados suficientes para explicar os dados e também porque facilita a interpretação do gráfico em duas dimensões (Gomes et al., 2004). O método de Tocher foi realizado por meio do programa Genes (Cruz, 2013) e a ACP, utilizando o R 3.2.1 (R Core Team, 2015) e o pacote vegan (Oksanen et al., 2016).

## Resultados e Discussão

### Caracterização química e física dos solos sob diferentes usos nas duas topossequências

A textura variou ligeiramente dentro e entre as topossequências e a densidade (DS) foi em geral alta, com

maiores valores nos pastos (topossequência 2). Os valores de porosidade total acompanharam a variação no teor de argila em ambas as topossequências (Tabela 1). Os solos apresentaram nível de fertilidade médio. Os terços superior e médio de ambas as topossequências apresentaram acidez moderada. Já nos solos dos terços inferiores o pH foi fortemente ácido, o que está relacionado com a variação no teor das bases trocáveis, que apresentou tendência de diminuir ao longo da topossequência. Esta redução das bases trocáveis pode ser decorrente da translocação ao longo do perfil, principalmente K e Mg (Paulucio, 2003). Os valores de P foram muito baixos, as áreas com as plantações de pupunha apresentaram os maiores valores, provavelmente decorrente da adubação. A variação do COS e do N total não apresentou uma tendência definida com a posição na topossequência, porém se podem observar variações decorrentes da substituição na cobertura vegetal dentro de cada terço (Tabela 2).

### Inter-relações entre uso do solo, posição na paisagem (posição na topossequências) e seus efeitos sobre atributos físicos, químicos e microbiológicos dos solos

Os atributos físicos (DS, PT e teor de argila) e químicos do solo (pH, P e soma de bases - SB) com base no método de Tocher, permitiram que os sistemas fossem distribuídos em três grupos: o primeiro formado pelos pastos dos terços superior e médio; o segundo pela vegetação espontânea (terço superior) e plantio de pupunha terço médio e o terceiro grupo formado pelos plantio de pupunha e pasto ambos do terço inferior. O P contribuiu com 21% para a distinção entre

**Tabela 1.** Atributos físicos nos horizontes superficiais de solos sob diferentes sistemas de uso da terra numa topossequência<sup>(1)</sup>.

Cobertura vegetal	Areia	Silte	Argila	DS	PT	Classe textural
	(g kg <sup>-1</sup> )			(kg m <sup>-3</sup> )	(%)	
Topossequência 1						
Vegetação espontânea	403	360	237	1,21 aB	50,71 a <sup>ns</sup>	Franca
Pupunha terço médio	515	170	315	1,30 aB	50,87 aA	Franco argilo arenosa
Pupunha terço inferior	469	118	413	1,23 aB	54,42 aA	Argila arenosa
Topossequência 2						
Pasto terço superior	487	359	154	1,48 aA	44,97 a <sup>ns</sup>	Franca
Pasto terço médio	563	173	264	1,44 aA	46,83 aB	Franco argilo arenosa
Pasto terço inferior	514	106	380	1,32 aA	50,54 aB	Franco argilo arenosa

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas dentro da mesma topossequência não diferem entre si. Letras maiúsculas iguais na coluna comparam as áreas do mesmo terço do declive, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. ns, não significativo. DS: densidade do solo; PT: porosidade total.

**Tabela 2.** Atributos químicos nos horizontes superficiais de solos sob diferentes sistemas de uso da terra numa topossequência<sup>(1)</sup>.

Cobertura vegetal	pH	P	Al <sup>3+</sup>	SB	COS	Nt
		(mg dm <sup>-3</sup> )	(cmolc. dm <sup>-3</sup> )			(g kg <sup>-1</sup> )
Topossequência 1						
Vegetação espontânea	6,00 aB	1,54 b <sup>ns</sup>	0,26 aA	2,91 a <sup>ns</sup>	9,88 abB	1,64 aA
Pupunha terço médio	6,34 aA	4,34 aA	0,13 b <sup>ns</sup>	3,77 aA	10,90 aB	1,50 ab <sup>ns</sup>
Pupunha terço inferior	5,43 bA	4,88 aA	0,20 ab <sup>ns</sup>	2,30 aA	9,30 bB	1,08 bA
Topossequência 2						
Pasto terço superior	6,49 aA	1,68 a <sup>ns</sup>	0,10 bB	3,62 a <sup>ns</sup>	12,37 bA	1,41 aB
Pasto terço médio	5,63 bB	1,48 aB	0,13 b <sup>ns</sup>	3,80 aA	13,83 aA	1,33 a <sup>ns</sup>
Pasto terço inferior	4,8 cB	2,33 aB	0,70 a <sup>ns</sup>	1,58 aB	13,59 abA	1,24 aA

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas dentro da mesma topossequência não diferem entre si. Letras maiúsculas iguais na coluna comparam as áreas do mesmo terço do declive, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. ns, não significativo. COS: C orgânico do solo; Nt: N total



os grupos, seguido da DS e SB (18%), as demais variáveis contribuíram, aproximadamente, entre 13 e 15%.

Estes mesmos atributos estiveram associados em dois componentes principais que explicaram aproximadamente 88% da variação total entre os sistemas estudados, sendo 66% para o componente principal 1 (CP1) (Figura 2a). Os atributos do solo mais correlacionados a CP1 e que, portanto, melhor explicaram a variação total dos dados foram os atributos físicos (teor de argila e PT). A translocação de argila das partes mais elevadas para as mais baixas favoreceu o aumento da porosidade total e consequentemente a redução da densidade no terço inferior destas topossequências (Soares et al., 2005). O pH, P e SB foram responsáveis pela variação ao longo do segundo eixo, que são considerados como de menor relevância para explicar a variação dos dados, ou seja, explicaram 22% da variação entre os sistemas (Tabela 3).

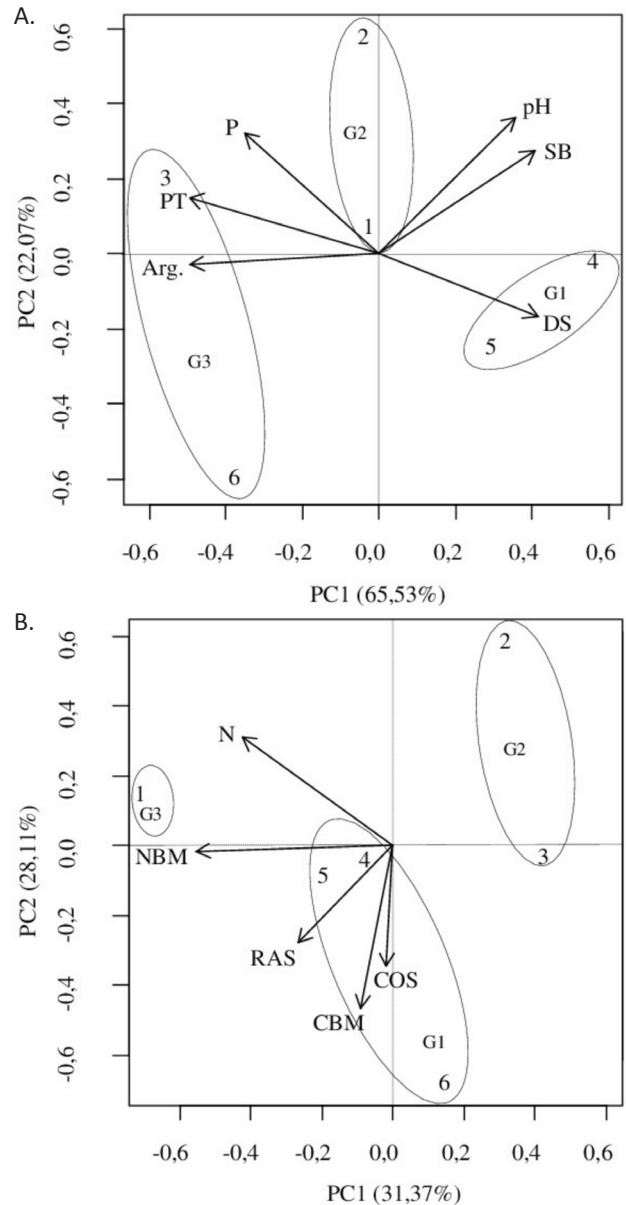
Os grupos formados pelo método de Tocher foram, em parte, confirmados por meio da ACP (Figura 1): os pastos superior e médio, que compõem o grupo 1, localizaram-se a direita do diagrama inferior, próximo do componente principal 1 (CP1). A semelhança de cobertura vegetal entre estes dois terços da topossequência 2 favoreceu a similaridade entre ambos. Já no grupo 2, foi possível perceber uma baixa similaridade entre os indivíduos (vegetação espontânea no terço superior e o plantio de pupunha do terço médio) deste grupo, localizados ligeiramente a esquerda do diagrama superior, porém próximos a CP2. Pode-se sugerir que a conversão da vegetação espontânea em pupunha (topossequência 1), que recebeu adubação, estaria promovendo uma alteração no status químico deste

**Tabela 3.** Carga relativa das diferentes variáveis associadas aos componentes principais extraídas dos atributos físicos, químicos e microbiológicos nos horizontes superficiais de solos sob diferentes sistemas de uso da terra numa topossequência.

Componente da variância	CP1	CP2
Variáveis da ACP (Figura a)		
DS	0,39	-0,27
Argila	-0,48	-0,04
PT	-0,48	0,25
pH	0,34	0,61
P	-0,38	0,53
SB	0,39	0,46
Autovalores	1,98	1,15
Variância explicada	0,66	0,22
Variáveis da ACP (Figura b)		
CBM	-0,12	-0,65
NBM	-0,73	-0,02
RAS	-0,37	-0,38
COS	-0,26	-0,48
Nt	-0,56	0,43
Autovalores	1,25	1,18
Variância explicada	0,31	0,28

ACP, análise de componentes principais; DS, densidade do solo; PT, porosidade total; SB, soma de bases; CBM, carbono da biomassa microbiana; NBM, nitrogênio da biomassa microbiana; RAS, respiração acumulada do solo; COS, carbono orgânico do solo; Nt, N total; CP1, componente principal 1; CP2, componente principal 2.

solo; assim como, mudança do material orgânico depositado e sua taxa de decomposição que também alteraria a ciclagem de nutrientes e, consequentemente, promoveria mudanças nos atributos do solo (Li et al., 2015). O grupo 3 foi composto pelo plantio de pupunha e o pasto, ambos do terço inferior, que se localizaram a esquerda do diagrama: o plantio de pupunha próximo de CP1 e o pasto próximo de CP2 (Figura 2a). Estes indivíduos apesar de terem sido considerados pelo



**Figura 2.** Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais dos atributos físicos e químicos (a) e microbiológicos, C orgânico e N total nos horizontes superficiais dos solos (b). DS, densidade do solo; SB, soma de bases; Arg, argila; PT, porosidade total; CBM, carbono da biomassa microbiana; NBM, nitrogênio da biomassa microbiana; RAS, respiração acumulada do solo; COS, carbono orgânico do solo. (1), vegetação espontânea; (2), pupunha médio; (3), pupunha inferior; (4), pasto superior; (5), pasto médio; (6), pasto inferior; G1, grupo 1; G2, grupo 2; G3, grupo 3.

método de Tocher do mesmo grupo, provavelmente por serem pertencentes ao mesmo terço, apresentaram baixa similaridade entre si. Mais uma vez, fica claro a influência da substituição da cobertura vegetal aliada a diferença de manejo (adubação no plantio de pupunha no terço inferior da topossequência 1 e a ausência de manejo no pasto da topossequência 2) na baixa similaridade entre os indivíduos do grupo 3. Da mesma forma, a dissimilaridade entre os grupos 1 e 2 pode ser explicada pela diferença na cobertura vegetal e manejo, como explicado anteriormente, entre os terços superior e médio das duas topossequências. Já a dissimilaridade do grupo 3 em relação aos demais grupos seria decorrente da diferença de posição na paisagem.

Tanto a substituição da cobertura vegetal de pasto para vegetação espontânea e pupunha, quanto à aração e a adubação realizadas na implantação da pupunha foram os responsáveis pela dissimilaridade entre os grupos 1 e 2. A diferença na cobertura vegetal e nas práticas de manejo entre estes grupos alteraram de forma significativa o conjunto de atributos do solo avaliados (DS, PT, pH, P e SB). Diferentes práticas de manejo contribuem para as distinções entre sistemas da mesma forma que a ausência de manejo, pois o preparo do solo difere essencialmente, quanto ao grau de mobilização e à forma de disposição dos resíduos vegetais no solo (Lisboa et al., 2012). Além disso, é reconhecido, que as pastagens apresentam elevado aporte de resíduos, principalmente raízes, com volume e extensão lateral significativos nos primeiros 10 cm (Gazolla et al., 2015), o que pode promover aumento na acumulação de C orgânico do solo, como pode ser observado na Tabela 2. Ademais, o superpastejo na área de pastagem, leva ao aumento da compactação e, conseqüente, da DS (Orgill et al., 2015), o que explica a estreita correlação do grupo 1 com a DS, conforme observado no diagrama da ACP (Figura 1 a).

A dissimilaridade do grupo 3 em relação aos grupos 1 e 2 estaria em função da posição na topossequência independente da cobertura vegetal ou manejo. Isto fica evidente quando se observa que os terços inferiores de ambas as topossequências, que compõem o grupo 3, foram correlacionados com o teor de argila e a porosidade total de acordo com a ACP (Figura 2a). Sabe-se que o ao longo da

topossequência materiais orgânicos, minerais e nutrientes são translocados o que neste caso levou a um aumento no teor de argila, tendência de redução da DS, do pH e da SB e aumento da PT (Sousa et al., 2012).

Os valores de C orgânico do solo, N total, CBM, NBM, RAS e o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) variaram entre os sistemas estudados. Na topossequência 1, pode-se observar que o COS foi estatisticamente menor no terço inferior que diferiu apenas do terço médio e que o Nt apresentou tendência de decréscimo ao longo da topossequência. Já o CBM, NBM e RAS tenderam a decrescer do terço superior para o médio e voltaram a aumentar no terço inferior e o  $qCO_2$  não variou entre os terços desta topossequência (Tabelas 2 e 4).

Na topossequência 2, observa-se que o COS foi significativamente menor no terço superior em relação ao terço médio e o terço inferior não diferiu dos dois terços acima. O Nt, por outro lado, não diferiu entre os terços. O CBM decresceu significativamente do terço superior para o médio e voltou a aumentar no terço inferior e o NBM não variou entre os terços. A RAS foi significativamente menor no terço superior e os demais terços não diferiram entre si. O  $qCO_2$  foi significativamente menor nos terços superior e inferior em relação ao terço médio (Tabelas 3 e 4). Pode-se destacar também que o COS e CBM, em geral, apresentaram valores significativamente superiores na topossequência 2 (dos pastos) quando comparado a topossequência 1. Maior quantidade de matéria orgânica no pasto funcionou como fonte de nutrientes e energia que refletiu neste caso, na maior eficiência da microbiota em imobilizar C.

Estes atributos, exceto  $qCO_2$  a fim de se evitar multicolinearidade, também foram submetidos ao método de Tocher e permitiram que os diferentes sistemas estudados fossem distribuídos em três grupos: o primeiro, formado pelos pastos (terços superior, médio e inferior da topossequência 2); o segundo pelos plantios de pupunha (terço médio e inferior da topossequência 1) e o terceiro grupo pela vegetação espontânea (terço superior da topossequência 1). O COS contribuiu com 23% para a distinção entre as coberturas, seguido da RAS e NBM, ambos com aproximadamente 22% e por último o CBM com 19% e o N total com 16% (Figura 2 b).

**Tabela 4.** Atributos microbiológicos nos horizontes superficiais de solos sob diferentes sistemas de uso da terra numa topossequência<sup>(1)</sup>.

Cobertura vegetal	CBM ( $\mu\text{g g}^{-1}$ de solo)	NBM	RAS ( $\mu\text{gC-CO}_2$ de solo $\text{dia}^{-1}$ )	Quociente metabólico ( $\text{mgC-CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{CBM dia}^{-1}$ )
Topossequência 1				
Vegetação espontânea	279,30 a <sup>ns</sup>	202,90 a <sup>ns</sup>	88,69 aA	52,92 aA
Pupunha terço médio	77,09 bB	80,89 bB	59,06 bB	127,68 aA
Pupunha terço inferior	207,91 aB	102,56 ab <sup>ns</sup>	78,47 aA	62,90 aA
Topossequência 2				
Pasto terço superior	355,12 b <sup>ns</sup>	168,63 a <sup>ns</sup>	57,10 bB	26,80 bB
Pasto terço médio	111,55 cA	175,70 aA	80,80 aA	120,72 aA
Pasto terço inferior	453,36 aA	100,11 a <sup>ns</sup>	82,75 aA	30,42 bB

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas dentro da mesma topossequência não diferem entre si. Letras maiúsculas iguais na coluna comparam as áreas do mesmo terço do declive, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. ns, não significativo. CBM, carbono da biomassa microbiana; NBM, nitrogênio da biomassa microbiana; RAS, respiração acumulada do solo.

A ACP também foi utilizada para os atributos microbianos (CBM, NBM e RAS), C orgânico e N total e explicou quase 60% da dissimilaridade entre os sistemas por meio de dois componentes principais (Figura 1b). Os atributos mais associados ao CP1 foram NBM e N total e explicaram 31% da dissimilaridade entre os sistemas. O COS e o CBM foram os atributos mais associados ao CP2 e explicaram 28%. Estes resultados reforçam o papel da matéria orgânica como fonte de substrato para o metabolismo microbiano. Já a RAS foi o atributo mais correlacionado ao CP3 e, explicou 21%, porém não foi considerado no gráfico de dispersão (Tabela 3).

A dispersão gráfica dos sistemas estudados em relação aos eixos desta ACP confirmou os grupos formados pelo método de Tocher: os pastos dos terços superior e médio localizaram-se a esquerda do quadrante inferior, enquanto o pasto do terço inferior localizou-se a direita, o que sugere uma baixa similaridade deste pasto em relação aos demais indivíduos que formam o grupo 1. Os dados indicam que a biomassa microbiana do pasto do terço inferior seria menos eficiente em imobilizar o N da matéria orgânica, quando comparada à biomassa microbiana dos terços superior e médio, apesar de ter apresentado maior imobilização de C (Tabela 4). Apesar da estreita associação entre carbono e nitrogênio apresentada na literatura (Kassa et al., 2017; Barreto et al., 2010), não se observou esta tendência no presente trabalho. Adicionalmente, as variáveis utilizadas no presente trabalho não permitem explicar esta diferença na imobilização de C e N pela biomassa microbiana. Pode-se sugerir que a posição no terço inferior da topossequência favoreceria o maior acúmulo de água e menor disponibilidade de oxigênio e, como consequência uma redução na eficiência da biomassa microbiana na transformação do N orgânico deste solo (Muhr et al., 2010).

Os plantios de pupunha localizaram-se a direita do quadrante superior, a pupunha do terço médio próximo a CP2 e a do terço inferior próximo a CP1, o que sugere também baixa similaridade entre os indivíduos deste grupo (Figura 2b). Pelos resultados percebe-se que a biomassa microbiana, neste caso, foi eficiente tanto na imobilização do C quanto do N, expresso pelos aumentos de CBM e NBM e redução de COS e Nt (Tabelas 3 e 4). A vegetação espontânea, por sua vez, localizou-se a esquerda do quadrante superior e próxima de CP1, constituindo o grupo 3 (Figura 1b). A dissimilaridade da vegetação espontânea em relação aos demais grupos pode ser explicada pela diferença de espécies vegetais presentes nesta área que contribuem para a produção da serapilheira, conferindo-lhes qualidades distintas em relação aos demais grupos o que reflete nos atributos microbiológicos do solo (Gama-Rodrigues et al., 2008).

Estes resultados confirmam a influência do tipo de cobertura vegetal, mais do que a posição na topossequência, para a distinção dos grupos formados quando se utilizou os atributos microbiológicos, COS e Nt. Estes atributos utilizados são fortemente influenciados pela cobertura vegetal, uma vez que têm sido sugeridos como indicadores do processo de decomposição da serapilheira e dos níveis de matéria orgânica do solo e são considerados como atributos sensíveis aos impactos causados pelo manejo do solo (Zhang et al., 2013).

De acordo com o conjunto de atributos utilizados para a distinção entre os sistemas estudados foi possível perceber variações na distribuição dos grupos, nos quadrantes dos diagramas de ordenação, de acordo com suas similaridades e, ou, dissimilaridades. Mudanças na cobertura do solo, práticas agrícolas e posição na paisagem podem provocar alterações, favoráveis ou não, nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo e que poderão ser monitoradas ao longo do tempo. Assim, para avaliação de sistemas distintos, um conjunto de atributos é necessário para o melhor entendimento dos impactos ou benefícios promovidos pelas práticas de manejo adotadas, na qualidade do solo (Doran & Zeiss, 2000). As análises multivariadas para os diferentes grupos de variáveis permitiram sintetizar a variação multidimensional dos dados de acordo com suas similaridades e, ou, dissimilaridades, em torno das variáveis utilizadas e da inter-relação entre as mesmas. O que garantiu, portanto, uma interpretação mais integral dos sistemas estudados nas duas topossequências.

## Conclusões

O conjunto dos atributos físicos e químicos foram mais sensíveis que o COS, Nt e atributos microbiológicos em explicar a similaridade e, ou, dissimilaridade decorrentes tanto da posição na topossequência quanto da substituição na cobertura vegetal.

Os atributos microbiológicos, COS e Nt evidenciaram a influência da substituição da cobertura vegetal e práticas (e, ou ausência) de manejo na dissimilaridade entre os sistemas de uso da terra.

A relevância de atributos físicos, químicos e, ou, microbiológicos na distinção de sistemas de uso da terra vai depender das fontes de variação dos ambientes em que estes sistemas estão sendo estudados.

## Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro. Ao proprietário da Fazenda Venda das Flores pelo apoio logístico de campo. A Kátia R. Sales e Vanilda Ribeiro pelo suporte nas análises químicas e físicas do solo. Aos Revisores anônimos pelas sugestões.

## Literatura Citada

- Anderson, J.D.; Ingram, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2.ed. Wallingford: CAB International, 1993. 171p.
- Barreto, P.A.B.; Gama-Rodrigues, E.F.; Gama-Rodrigues, A.C.; Barros, N.F.; Alves, B.J.R.; Fonseca, S. Mineralização de nitrogênio e carbono em solos sob plantações de eucalipto, em uma sequência de idades. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, n.3, p.735-745, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300015>.

- Barreto, P.A.B; Gama-Rodrigues, E.F; Gama-Rodrigues, E.F; Barros, N.F; Fonseca, S. Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em sequência de idades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n. 2, p.611-619, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200016>.
- Bartlett, R.J.; Ross, D.S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. *Soil Science Society of American Journal*, v.52, n.4, p.1191-1192, 1988. <https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200040055x>.
- Cruz, C.D. Genes - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.35, n.3, p.271-276, 2013. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.
- Cruz, C.D.; Regazzi, A.J.; Carneiro, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: Ed. da UFV, 2004. v.1, 480p.
- Doran, J.W.; Zeiss, M.R. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, v.15, n. 1, p.3-11, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.
- Gama-Rodrigues, A.C., May, P. SAF e o planejamento do uso da terra: experiência na região Norte Fluminense-RJ. In: Macêdo, J.L.V.; Wandelli, E.V.; Silva J., J.P. (Eds.). *Sistemas agroflorestais: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural*; Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 3., 2001, Manaus. Anais. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001. p.130-145. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 17).
- Gama-Rodrigues, E.F.; Barros, N.F.; Viana, A.P.; Santos, G.A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.4, p.1489-1499, 2008b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400013>.
- Gazolla, P.R.; Guareschi, R.F.; Perin, A.; Pereira, M.G.; Rossi, C.Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n.2, p. 693-704. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p693>.
- Gomes, J.B.V.; Curi, N.; Motta, P.E.F.; Ker, J.C.; Marques, J.J.G.S.M.; Schulze, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.1, p.137-154, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000100014>.
- Hattar, B.I.; Taimeh, A.Y.; Ziadat, F.M. Variation in soil chemical properties along toposequences in an arid region of the Levant. *Catena*, v.83, n.1, p.34-45, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.07.002>.
- Jenkinson, D.S., and Powlson, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 8, n. 3, p.209-213, 1976. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5).
- Joergensen, R.G.; Brookes, P.C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0,5 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> soil extracts. *Soil Biology and Biochemistry*, v.22, n.8, p.1033-1027, 1990. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90027-W](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90027-W).
- Kassa, H.; Dondeyne, S.; Poesen, J.; Frankl, A.; Nyssen, J. Impact of deforestation on soil fertility, soil carbon and nitrogen stocks: the case of the Gacheb catchment in the White Nile Basin, Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* v. 247, p. 273-282, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.034>.
- Li, C.; Shi, LL.; Ostermann, A.; Xu, Jianchu.; Li, Yunju.; Mortimer, P. E. Indigenous trees restore soil microbial biomass at faster rates than exotic species. *Plant and Soil*, v.396, n. 1-2, p.151-161, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2570-x>.
- Lisboa, B.B.; Vargas, L.K.; Silveira, A.O.; Martins, A.F.; Selbach, P.A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.1, p.45-55, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100004>.
- Meireles, H.T.; Júnior, J.M.; Campos, M.C.C.; Pereira, G.T. Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.42, n.2, p. 129-136, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200001>.
- Muhr, J.; Franke, J.; Borken, W. Dryin-gerewetting events reduce C and N losses from a Norway spruce forest floor. *Soil Biology and Biochemistry*, v.42, n. 8, p.1303-1312, 2010. <https://doi-org.ez81.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.soilbio.2010.03.024>.
- Neves, E.J.M.; Santos, A.F.; Rodigheri, H.R.; Corrêa Júnior, C.; Bellettini, S.; Tassmann, D.J. Cultivo da pupunheira para palmito nas Regiões Sudeste e Sul do Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 9p. (Embrapa Florestas. Circular Técnica, 143). <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/42550/1/Circular143.pdf>. 22 Jun. 2017.
- Oksanen, J.; Blanchet, F.G.; Friendly, M.; Kindt, R.; Legendre, P.; Mcglinn, D.; Minchin, P.R.; O'hara, R.B.; simpson, G.L.; Solymos, P.; M. Stevens, M.H.; Szoecs, E.; Wagner, H. *vegan: Community Ecology Package*. R package version. 2.4-0, 2016.
- Orgill, S.E.; Spoljaric, N.; Kelly, G. Soil carbon under perennial pastures; benchmarking the influence of pasture age and management. *Soil Change Matters*, v.25, p. 1-4, 2015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/25/1/012018>.
- Paulucio, V.O. Caracterização física e química do solo de uma topossequência sob diferentes coberturas vegetais no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2003. 75p. Dissertação Mestrado.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015.
- Soares, J.L.N.; Espíndola, C.R.; Castro, S.S. Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n. 6, p. 1005-1014, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000600018>.
- Sousa, G.B.; Martins Filho, M.V.; Matias, S.S.R. Perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente coberta com diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em Guariba-SP. *Engenharia Agrícola*, v.32, n.3, p.490-500, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000300008>.



Tate, K.R.; Ross, D.J.; Feltham, C.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Effects of experimental variables and some different calibration procedures. *Soil Biology and Biochemistry*, v.20, n.3, p.329-335, 1988. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90013-2).

Zhang, S.; Li, Q.; Lü, Y.; Zhang, X.; Liang, W. Contributions of soil biota to C sequestration varied with aggregate fractions under different tillage systems. *Soil Biology and Biochemistry*. v. 62, p.147-156, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.03.023>.