

Indicadores ambientais do solo nas áreas de nascente da bacia hidrográfica do rio Piauitinga, Sergipe*

Environmental indicators of soil in the areas of the headwaters in Piauitinga river basin, Sergipe*

Antenor de Oliveira Aguiar Netto¹

Leila Thais Soares Magalhães²

Anderson Nascimento do Vasco^{3(**)}

João Bosco Vasconcelos Gomes⁴

Resumo

Com o objetivo de definir estratégias para recuperação de áreas degradadas nas nascentes da bacia hidrográfica do rio Piauitinga em Sergipe; foram utilizados indicadores ambientais: textura, matéria orgânica particulada, estabilidade de macro agregados, diâmetro médio de agregados, valor da cor, pH, carbono orgânico, Ca, Mg, Al, Na, K, P, H+Al, N, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação de bases e saturação de Al. Os atributos foram analisados em amostras nas profundidades de 0 a 0,1m e 0,1 a 0,3m. As nascentes foram previamente divididas em grupos de sítios, considerando sua posição na paisagem e características dos solos locais (BA, EA, EH, ES e SE). Foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson entre os eixos da ordenação por NMS e entre os diferentes atributos. Considerando o conjunto de variáveis analisadas, o ordenamento dos grupos foi mais efetivo a partir das amostras de 0m a 0,1m, relativamente as de 0,1 a 0,3m. O ordenamento realizado com 30 variáveis estudadas permitiu gerar um gradiente ambiental, com a qualidade dos solos decrescendo na seguinte sequência: baixada, encosta com hidromorfismo, encosta com horizonte A e encosta sem

1 * Artigo extraído da dissertação de mestrado do primeiro autor.

1 Dr.; Engenheiro Agrônomo; Professor Associado da Universidade Federal de Sergipe, UFS, e coordenador do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da UFS; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; Endereço: Avenida Marechal Rondon, s/nº, Rosa Elze, CEP: 49100-000, São Cristóvão, Sergipe, Brasil; E-mail: antenor.ufs@gmail.com

2 MSc.; Engenheira Agrônoma; Coordenadora do Projeto de Extensão Rural na PROSPERAR - Consultorias & Projetos Agrosustentáveis; Endereço: Rua Vila Cristina, 1051 - Bairro São José, CEP: 49020-150, Aracaju, Sergipe, Brasil; E-mail: leilath24@gmail.com

3 Dr.; Engenheiro Agrônomo; Professor Instituto Federal de Sergipe, IFS; Endereço: Cidade Universitária Professor José Aloísio de Campos, CEP: 49100-000, São Cristóvão, Sergipe, Brasil; E-mail: anderosasco@yahoo.com.br (***) Autor para correspondência

4 Dr.; Engenheiro Agrônomo; Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Florestas; Endereço: Estrada da Ribeira, km 111, Bairro Guaraituba, Caixa Postal: 319, CEP: 83411-000, Colombo, Paraná, Brasil; E-mail: jbvogomes@cnpf.embrapa.br

Recebido para publicação em 30/11/2014 e aceito em 14/05/2015

Ambiência Guarapuava (PR) v.11 n.2 p. 457 - 472 Jan./Abr. 2015 ISSN 1808 - 0251
DOI:10.5935/ambiencia.2015.02.13

horizonte A. As variáveis físicas e químicas estudadas dos solos das nascentes do alto curso do rio Piauitinga, por meio da análise multivariada, permitiram a construção de um gradiente ambiental, com a qualidade dos solos decrescente na sequência: baixada, encosta com hidromorfismo, encosta com horizonte A e encosta sem horizonte A.

Palavras-chave: monitoramento ambiental; recuperação de áreas degradadas; fertilidade do solo.

Abstract

This study aims at defining strategies for the recovery of degraded areas in water springs of the hydrographic basin of Piauitinga river in Sergipe. Thus, the following environmental indicators were used: texture, particulate organic matter, stability of macro aggregates, aggregates of average diameter, color value, pH, organic carbon, Ca, Mg, Al, Na, K, P, H + Al, N, sum of bases, cation exchange capacity, base saturation, Al saturation. The attributes were analyzed in samples from depths of 0 to 0.1 m and 0.1 to 0.3m. The water springs were previously divided into sites of groups, considering their position in the landscape and characteristics of local soils (BA, EA, EH, ES and SE). It was determined the Pearson correlation coefficients between the axes of ordination by NMS and between different attributes. Considering the variables analyzed, the arrangement of groups was more effective from the samples 0m to 0.1m, in comparison to 0.1 to 0.3m. The ordering conducted with 30 studied variables enabled to generate an environmental gradient, with the quality of soil decreasing in the following sequence: lowland, hydromorphic slope, slope with horizon A and slope without horizon A. The physical and chemical variables analyzed of the water spring soils of the high stream of Piauitinga river, by means of multivariate analysis, enabled the construction of an environmental gradient, with the quality of soil decreasing in the following sequence: lowland, hydromorphic slope, slope with horizon A and slope without horizon A.

Key words: environmental monitoring; recovery of degraded areas; soil fertility.

Introdução

O reconhecimento da importância da preservação ambiental não tem impedido que as necessidades humanas continuem sendo, muitas das vezes, satisfeitas em decorrência da exploração inadequada do meio ambiente. O processo de desmatamento é um dos expoentes dessa improfícua constatação,

que acompanha sociedades atuais e passadas (FOLEY et al., 2005).

No caso das florestas fluviais, ações de desmatamento são extremamente impactantes, considerando que essas cumprem importantes serviços ambientais, principalmente o de proteger o solo e corpos de água e todos os reflexos disso na vida da população, inclusive da população urbana.

A bacia hidrográfica do rio Piauitinga, localizada na porção centro-sul do estado de Sergipe e responsável pelo abastecimento de água de alguns dos municípios do estado (Estância, Salgado, Lagarto e Boquim), não foge dessa realidade, com suas terras, inclusive aquelas enquadradas conforme Lei nº 4.771/65 que instituiu o Código Florestal, quase em sua totalidade desmatadas (MOREIRA, 2008). Esse desmatamento tem causado problemas ambientais que comprometem o volume e a qualidade das águas geradas pela unidade de planejamento em questão.

Nascentes são locais onde a água subterrânea aflora através da superfície do solo, formando um curso d'água (PINTO et al., 2004), ou seja, um ponto de recarga dos canais de drenagem das sub-bacias. Essas características tornam comum a presença de hidromorfismo nos solos que envolvem as nascentes, sendo uma constante nas bacias de inundação dos vales fluviais e de outras superfícies rebaixadas que constituem a ligação entre rios, córregos e lagoas (CURCIO, 2006; MARTINS et al., 2006). De forma pontual, se o canal de drenagem que começa em uma nascente for muito encaixado, o vale fluvial pode não ocorrer localmente, ou ser muito estreito. À montante das nascentes, posições de paisagem erosionais convivem com solos de regime hídrico saturado e não-saturado, mas ganham importantes características de jovialidade (baixo grau de desenvolvimento) dos solos locais (MOTTA et al., 2002).

Os estudos para recuperação e manutenção de áreas de nascentes têm papel fundamental na conservação dos recursos hídricos (MAGALHÃES et al., 2012). Os atributos do solo são sensíveis aos impactos ambientais, ocasionados pelo

uso dos recursos naturais e, dessa forma, auxiliam junto aos estudos da qualidade de outros aspectos ambientais (água, fauna e flora), no monitoramento das condições locais. O estudo de propriedades do solo e a seleção de atributos indicadores auxiliam uma avaliação da qualidade do solo, na qual é possível mensurar as alterações da sua condição (DORAN; PARKIN, 1994), seja distanciando-se ou aproximando-se de uma condição desejada. Essa avaliação é complexa, devido à diversidade de uso da terra, às variadas interrelações dos fatores químicos, físicos e biológicos locais e aos aspectos relacionados à variação dos mesmos no tempo e no espaço (MENDES et al., 2006).

Considerando o atual estágio de degradação do conjunto de nascentes na bacia hidrográfica do rio Piauitinga, o presente estudo objetiva avaliar atributos químicos e físicos, para servir como comparação entre a qualidade dos solos antes e após o processo de recuperação ambiental.

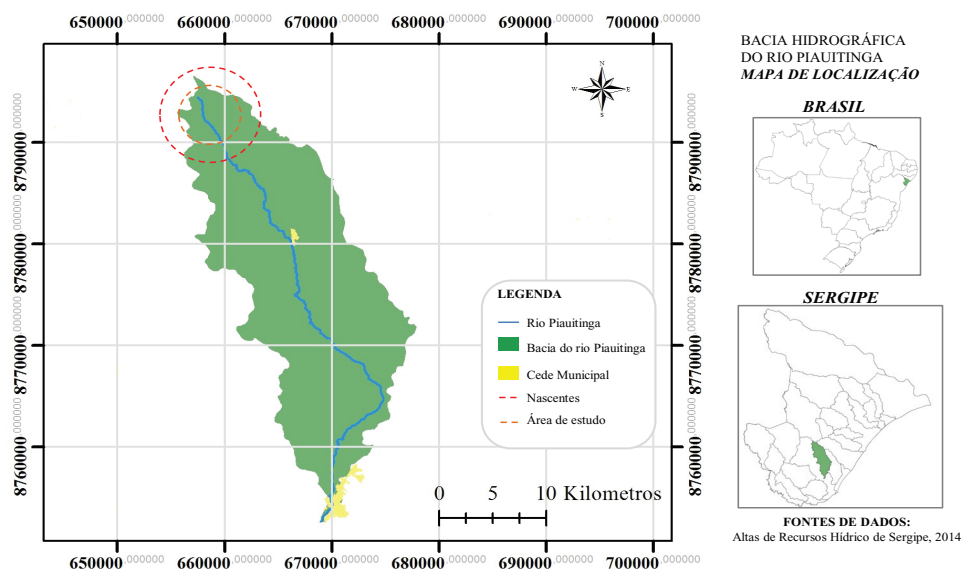
Material e Métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Piauitinga, afluente do rio Piauí, está situada no centro-sul do Estado, compreendendo os municípios de Boquim, Estância, Lagarto, Salgado e Itaporanga d'Ájuda. Ela integra a mesoregião geográfica do Agreste Sergipano (microrregião de Lagarto) e do Leste Sergipano (microrregiões de Boquim e Estância) (Figura 1) e está localizada entre as coordenadas UTM, Zona 24, 650^{000m} E ; 8780^{000m} N (SANTANA, 2004).

A bacia hidrográfica do rio Piauitinga compreende uma área de 411,98 km² e seu perímetro é de 121,22 km (MOREIRA, 2008).

Figura 1 - Nascentes do alto curso da bacia hidrográfica do rio Piauitinga, Lagarto-SE, englobadas pelo estudo (código das nascentes como números)



Fonte: Sergipe (2014).

Nota: origem da quilometragem: Equador e Meridiano 39°W. Gr. acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente, meridiano central: 45° W.

A nascente do principal curso d'água dessa unidade de planejamento está localizada no povoado Brasília, pertencente ao município de Lagarto. Esse curso recebe contribuição de 1.724 canais, com destaque para os riachos Grovão, Capivara, Riachão e Grilo. O rio Piauitinga possui 59,28 km de extensão e sua foz localiza-se próximo à sede do município de Estância, desembocando no rio Piauí.

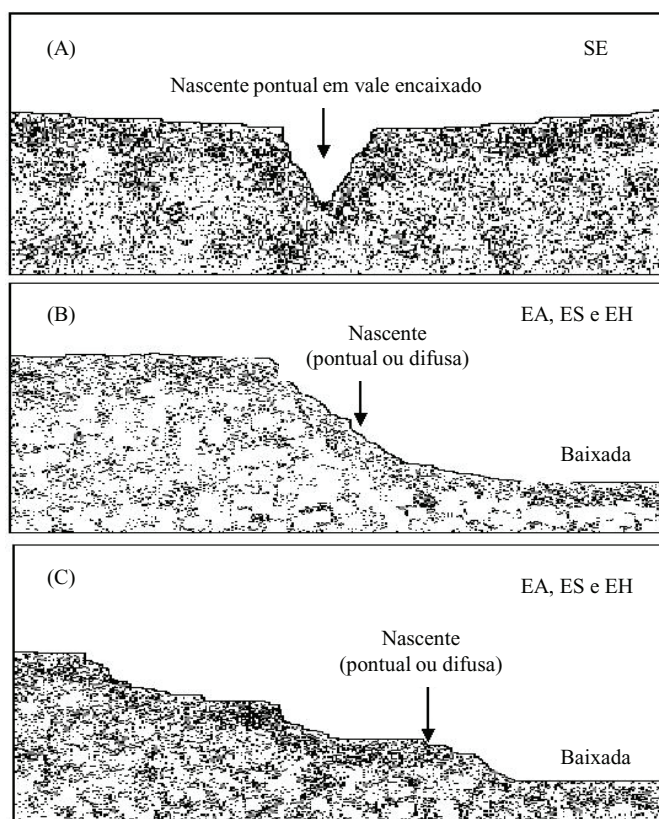
A região escolhida para o desenvolvimento desta pesquisa concentra-se no alto curso do rio Piauitinga na coordenada UTM, Zona 24, 650⁰⁰⁰m E; 8780⁰⁰⁰m N, estando contida em sua totalidade no município de Lagarto. O clima do município de Lagarto é classificado como Megatérmico Subúmido com temperatura média anual de 28 °C, variando de 22,3 °C para os meses mais chuvosos e frios (julho e agosto) a 30 °C

para o período mais seco e quente (dezembro e março). O valor médio da precipitação anual é de 1.182,8 mm (SERGIPE, 2013).

Para o estudo da qualidade dos solos locais foram selecionadas as áreas de vegetação de cada nascente (sítio). Se a nascente (de forma isolada, em dupla ou triplo) apresenta áreas de plantio de muda a montante e a jusante da nascente em si, ela foi subdividida em parte alta e parte baixa (caso das nascentes 3-4, 10, 12 e 19-20-21).

A nascente 22 aparece em vale muito estreito (encaixado), ao sopé da encosta suave de elevação, de topo amplo cultivada com citrus (Figura 2A). As outras nascentes ocorrem após quebra de relevo de elevações de tabuleiros costeiros. As encostas dessas quebras de relevo ocorrem em relevo ondulado a forte ondulado, podendo ocorrer,

Figura 2 - Esquemas mostrando as diferentes posições de amostragem na bacia hidrográfica do rio Piauitinga, Lagarto-SE, conforme a superfície geomorfológica. (A) Vale encaixado, que se origina em encosta suave de um topo amplo de elevação. (B) Vale aberto (com baixada), que se origina a partir de encosta que alcança o topo de elevação. (C) Vale aberto (com baixada), que se origina a partir de encosta que alcança nível intermediário entre o topo da paisagem e a baixada.



Fonte: Autores (2012).

em níveis intermediários, relevo plano a quase plano (Figuras 2B e 2C). Os vales tendem a ser abertos, com formação de baixadas com a presença de hidromorfismo.

As áreas de estudo foram reagrupadas a partir de suas posições na paisagem e das características dos solos locais em cinco grupos: baixada (BA), encosta com horizonte A (EA), encosta sem horizonte A (ES), encosta com hidromorfismo (EH) e sopé de encosta (SE), conforme a tabela 1.

Metodologia

A caracterização ambiental e pedológica dos sítios de estudo foi realizada pela observação da paisagem local, pela abertura de micro-trincheiras (0,5x0,5x0,5 m) e por tradagem dos solos. Os solos foram descritos morfologicamente conforme Santos et al. (2005) e classificados conforme Embrapa (2006), a partir das observações de campo, seguido da retirada de amostras de

Tabela 1 - Agrupamento dos pontos de amostragem das áreas do entorno das nascentes de acordo com suas posições na paisagem, bacia hidrográfica do rio Piauitinga, Lagarto-SE

Grupo	Sítios	Nascentes	Classificação do solo
Baixada (BA)	BA1	3 e 4 (parte baixa)	Gleissolo Háplico
	BA2	5 e 6	Gleissolo Melânico
	BA3	10 (parte baixa)	Gleissolo Háplico
	BA4	11	Gleissolo Háplico
	BA5	12 (parte baixa)	Cambissolo Háplico gleissólico
	BA6	19, 20 e 21 (parte baixa)	Gleissolo Háplico
Encosta com Horizonte A (EA)	EA1	1 e 2	Plintossolo Háplico
	EA2	10 (parte alta)	Plintossolo Háplico
	EA3	15 e 16	Cambissolo Háplico petroplântico
Encosta com Hidromorfismo (EH)	EH1	7	Gleissolo Háplico
	EH2	8 e 9	Cambissolo Háplico gleissólico
	EH3	17	Cambissolo Háplico gleissólico
	EH4	18	Gleissolo Háplico
Encosta sem Horizonte A (ES)	ES1	3 e 4 (parte alta)	Cambissolo fase erodida
	ES2	12 (parte alta)	Plintossolo fase erodida
	ES3	13 e 14	Plintossolo fase erodida
	ES4	19, 20 e 21 (parte alta)	Plintossolo fase erodida
Sopé de Encosta (SE)	SE	23	Argissolo Acinzentado

Fonte: Autores (2012).

solo deformadas nas profundidades 0 a 0,1m e 0,1 a 0,3m de profundidade, no mês de abril de 2008. As amostras foram levadas ao Instituto Tecnológico e de Pesquisa do Estado de Sergipe – ITPS e à Embrapa Tabuleiros Costeiros, para realização de análises.

As amostras utilizadas para realização das análises físicas e químicas foram secas ao ar. As seguintes análises químicas foram realizadas: pH, C orgânico (CO) (método volumétrico pelo dicromato de K), Ca+Mg (método complexométrico com emprego de

EDTA e por espectrofotometria de absorção atômica), Al (método volumétrico por titulação com hidróxido de sódio, após a extração de Al por KCl 1molL⁻¹) e Ca (método complexométrico com emprego de EDTA e ácido Calcon Carbônico), Na (método direto pelo espectrofotômetro de chama), K (método direto pelo espectrofotômetro de chama), P assimilável (espectrofotometria), H+Al (extração da acidez potencial com solução de acetato de Ca e titulação alcalimétrica do extrato) e N total (método Kjeldahl), todos conforme Embrapa (1997). Por cálculo foram determinados a soma de bases (SB), a coeficiente de troca catiônica (CTC), a saturação de bases (V), a saturação de Al (m) e o Mg.

Os solos foram classificados quanto à fertilidade com base nos critérios de interpretação de análise de solo para o estado de Sergipe (SIQUEIRA, 2007). As análises físicas realizadas foram granulometria, estabilidade de macroagregados, diâmetro médio ponderado de agregados e matéria orgânica particulada. A granulometria foi determinada pelo método do densímetro de Boyoucos. O diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água (DMA) foi determinado a partir do peneiramento úmido de 50g de amostra de solo previamente umedecida por capilaridade. Esse peneiramento foi realizado em um aparelho de oscilação vertical de acordo com Yoder (1936), onde as massas de solo ficaram retidas nas peneiras de 2,0; 1,0; 0,5 e 0,25mm de abertura. O DMA foi calculado pela seguinte equação:

$$DMA = \sum_{i=1}^n (X_i * W_i) \quad (1)$$

em que:

W_i = proporção de cada classe em relação ao total;

X_i = o diâmetro médio das classes de agregado (mm);

n = número de classes.

A determinação da estabilidade de macroagregados (EAG) foi feita de acordo com Yoder (1936), utilizando-se uma peneira a de 0,25mm para o peneiramento úmido e coleta de material após a dispersão química e mecânica.

A porcentagem de macroagregados estáveis (diâmetros maiores que 0,25mm) foi determinada a partir da determinação da massa de solo retida na peneira de malha 0,25mm, pela equação:

$$EAG = \frac{MS - wp_{0,25} - areia}{MS - areia} \quad (2)$$

em que:

EAG = porcentagem de macroagregados estáveis (%),

MS = a massa seca da amostra (g) e wp_{0,25} é a massa dos agregados da classe > 0,25mm (g).

A matéria orgânica particulada (MOP) foi determinada após dispersão das amostras de solo em hexametáfosfato de Na (5g L⁻¹), sob agitação (15 horas, 200 rpm), seguido de peneiramento úmido em malha de 53µm. O material retido foi secado (65 °C, 48 horas) e submetido à análise de C orgânico pelo método volumétrico do dicromato de K (EMBRAPA, 1997). O valor da cor foi determinado na amostra úmida, no momento da coleta das amostras, no campo, por meio da carta de cores de solos de Munsell.

O C e o N da biomassa microbiana (CBM e NBM) foram determinados pelo método de fumigação-extração (DE-POLLI; GUERRA, 1997). A colorimetria foi utilizada para a quantificação do C

existente nos extratos obtidos das amostras de solo fumigadas e não-fumigadas (BARTLETT; ROSS, 1988). O NBM foi determinado utilizando-se as alíquotas extraídas pelo método da fumigação-extração para análise do CBM. O N contido no extrato foi determinado pelo método da reação com ninidrina (JOERGENSEN; BROOKES, 1990).

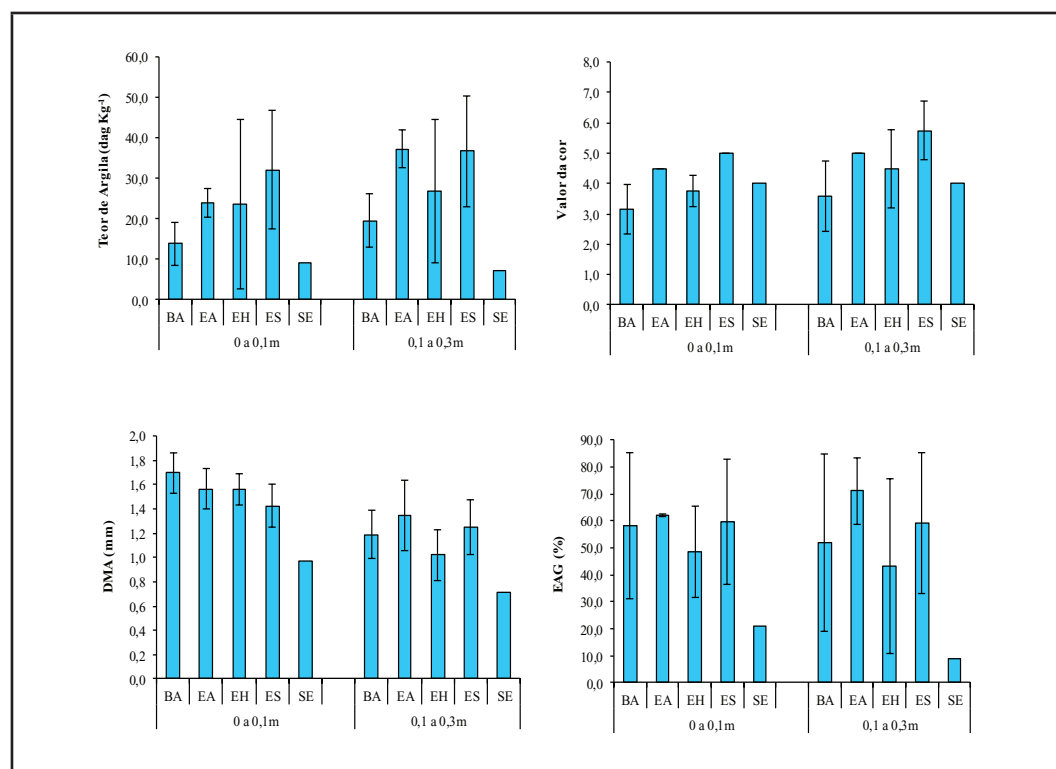
Determinaram-se os coeficientes de correlação de Pearson entre os eixos da ordenação por NMS e cada um dos atributos de solo estudados. Também foram realizadas as correlações lineares de Pearson entre os diferentes atributos (STATSOFT®, 2004).

Resultados e discussões

Variáveis físicas, matéria orgânica particulada e valor da cor

A textura média das amostras de 0 a 0,1m foi influenciada pela posição da paisagem dos grupos. Os sítios de baixada e o sítio SE, posições de paisagem mais estáveis, apresentam horizontes superficiais mais arenosos que os sítios dos grupos associados às quebras de relevo (EA, EH e ES) (Figura 3). As posições de paisagens dos sítios EA, EH e ES apresentam taxas de erosão suficientes para eliminar parte ou todo o horizonte superficial do solo, expondo o regolito relativamente mais argiloso. Além

Figura 3 - Valores médios e desvio padrão de alguns atributos físicos (argila, DMA e EAG) e do valor da cor das amostras nas profundidades de 0-0,1 e 0,1 a 0,3m, nos sítios estudados da bacia hidrográfica do rio Piauitinga-SE



Fonte: Autores (2012).

disso, as áreas das nascentes estudadas refletem, por vezes, intervenções antrópicas de grande impacto como a raspagem do solo superficial para a retirada de cascalho/calhau. Esses aspectos encontram no sítio ES sua máxima expressão, apresentando, em média, 32dag kg⁻¹ de argila contra 24dag kg⁻¹ dos sítios EA e EH.

Os valores de EAG foram influenciados pela textura dos sítios ($r = 0,54$, $p < 0,05$ entre EAG e teor de argila), aspecto esperado (BOIX-FAYOS et al., 2001), mas que prejudicou seu uso na comparação dos grupos. A MOP, embora tenha apresentado teores médios esperados nos grupos, correlacionou

apenas com o valor de cor ($r = -0,53$, $p < 0,05$), na profundidade de 0 a 0,1m. Solos mais claros (maiores valores) apresentam menor teor de CO e, por conseguinte, de MOP, ao subtraírem o poder corante da matéria orgânica (CANELLAS et al., 2000).

O DMA, embora correlacionado com EAG ($r = 0,54$, $p < 0,05$), não se correlacionou com nenhuma das frações da granulometria na profundidade de 0 a 0,1m. Tanto EAG e DMA correlacionaram com o CO ($r = 0,59$ e $r = 0,60$, $p < 0,05$, respectivamente). Wohlenberg et al. (2004) ressaltam a grande importância da matéria orgânica do solo (MOS) e do crescimento de raízes como

Tabela 2 - Correlação linear de Pearson, amostras na profundidade de 0 a 0,1m, dos solos das nascentes do alto curso do rio Piauitinga, Lagarto, SE

	CO ¹	Nsolo ¹	CTC ¹	Argila	DMA ¹	EAG ¹	CBM ¹	NBM ¹	FDA ¹
Valor_cor	-0,54*	-0,55	0,05	0,45	-0,46	-0,12	-0,28	-0,48*	-0,32
CO									
N solo	0,88**								
Al	-0,22	-0,11	0,28	0,55*	-0,01	0,35	-0,19	-0,25	-0,12
SB	0,22	0,19	0,69**	0,6**	-0,03	0,25	0,58*	0,22	0,37
CTC	-0,16	-0,16							
V	0,52*	0,46	0,06	0,24	0,07	0,27	0,63**	0,34	0,47*
m	-0,17	-0,08	-0,19	0,11	0,20	0,23	-0,49*	-0,17	-0,13
Argila	-0,09	-0,07	0,6**						
DMA	0,6**	0,59	-0,12	-0,10					
EAG	0,59**	0,55	0,15	0,54*	0,54				
MOP	0,03	0,04	0,16	-0,25	-0,03	-0,23	0,27	0,14	0,03
RM	0,50*	0,34	0,13	0,36	0,16	0,45	0,88**	0,42	0,76*
CBM	0,50*	0,35	0,29	0,23	0,18	0,39			
NBM	0,57*	0,48	0,00	0,01	0,59**	0,61**	0,51*		
FDA	0,6**	0,47	0,04	0,23	0,50*	0,45	0,71**	0,50*	

Fonte: Autores (2012).

Nota: (1) CO: carbono orgânico; Nsolo: nitrogênio total do solo; CTC: capacidade de troca catiônica; DMA: diâmetro médio ponderado de agregados; EAG: porcentagem de macroagregados estáveis; CBM: carbono da biomassa microbiana; NBM: nitrogênio da biomassa microbiana; FDA: diacetato de fluoresceína. (2) * : significante a 5%; **: significante a 1%.

agentes responsáveis pela formação de macroagregados. Pelos resultados, pode-se dizer que a porcentagem de EAG refletiu ambos, a influência da textura e da MOS, enquanto o DMA sofreu uma influência apenas da MOS. Segundo Dufranc et al. (2004) e Oliveira et al. (2008) a própria eficiência da MOS em construir agregados é maior quanto maior é o teor de argila de um solo, embora ambas ajam unindo as frações silte e areia.

O grupo ES, na profundidade de 0 a 0,1m, apresentou a maior média de valor da cor (5,0) e os grupos BA e EH as menores (3,2 e 3,8, respectivamente). A MOS, principalmente na sua fração húmica, exerce influência na cor do solo, tornando-o mais escuro (valores menores) (CANELLAS et al., 2000). Esse fato é corroborado pela correlação negativa e significativa do valor da cor com os teores de CO e MOP ($r = -0,54$ e $-0,53$, $p < 0,05$).

Apenas no sítio SE não ocorreu aumento do teor de argila em profundidade. Este sítio apresenta o horizonte A (superficial) mais arenoso, como também o dos mais espessos, comparável apenas a alguns dos sítios da baixada. Nos sítios de encosta, o perceptível maior teor de argila dos sítios ES na profundidade de 0 a 0,1m desaparece na profundidade de 0,1 a 0,3m. As amostras de 0,1 a 0,3m são formadas, basicamente, sem material do horizonte superficial estreito, e mais arenoso que ocorre nos sítios EA e EH (Figura 3).

De forma geral, DMA, EAG e MOP diminuíram com a profundidade. A EAG manteve a correlação com o teor de argila ($r = 0,78$, $p < 0,01$). As diferenças entre os grupos foram minimizadas, excluindo o sítio SE, que continua com valores de DMA e EAG inferiores às médias dos grupos.

O valor da cor na profundidade de 0,1 a 0,3m manteve a tendência entre grupos da profundidade 0 a 0,1m, com valores ligeiramente mais altos, pela diminuição em profundidade dos teores de MOS.

Variáveis químicas

Todos os sítios apresentam valores baixos de SB e CTC. Interessante notar que a CTC se correlaciona com a argila ($r = 0,60$, $p < 0,05$), mas não com o CO, como seria esperado (FELLER; BEARE, 1997) (Figura 4). Pode-se supor que a MO dos solos estudados, de uma forma geral, é em sua maior parte pouco ativa, cumprindo um importante papel apenas em atributos mecânicos (estabilidade de agregados, por exemplo) (BERTOL et al., 2000).

O Al foi visivelmente elevado no grupo ES, na profundidade de 0 a 0,1m, seguindo os maiores teores de argila do grupo. Al e argila apresentaram correlação positiva ($r = 0,55$, $p < 0,05$) (Tabela 3). O N do solo acompanhou os valores de CO ($r = 0,88$, $p < 0,01$), na profundidade de 0 a 0,1m, o que tornou a relação C:N dos diferentes sítios, de forma geral, bastante semelhantes. O teor elevado de P assimilável de SE ($37,4 \text{ mg dm}^{-3}$) supõe a contribuição de áreas adubadas a montante (plantio de laranja), considerando também a pouca mobilidade do elemento, ou seja, sua dificuldade em ser lixiviado.

Na profundidade de 0,1 a 0,3m, novamente não ocorreu uma correlação entre CO e os valores de argila e CTC. Entre argila e CTC a correlação foi positiva ($r = 0,57$, $p < 0,05$). O CO influenciando os valores de bases e N ($r = 0,48$, $p < 0,05$ e $r = 0,88$, $p < 0,01$, respectivamente) e a argila influenciando a própria CTC e, principalmente, o Al ($r = 0,79$, $p < 0,01$) entre os elementos do complexo sortivo (Tabela 3, Figura 4).

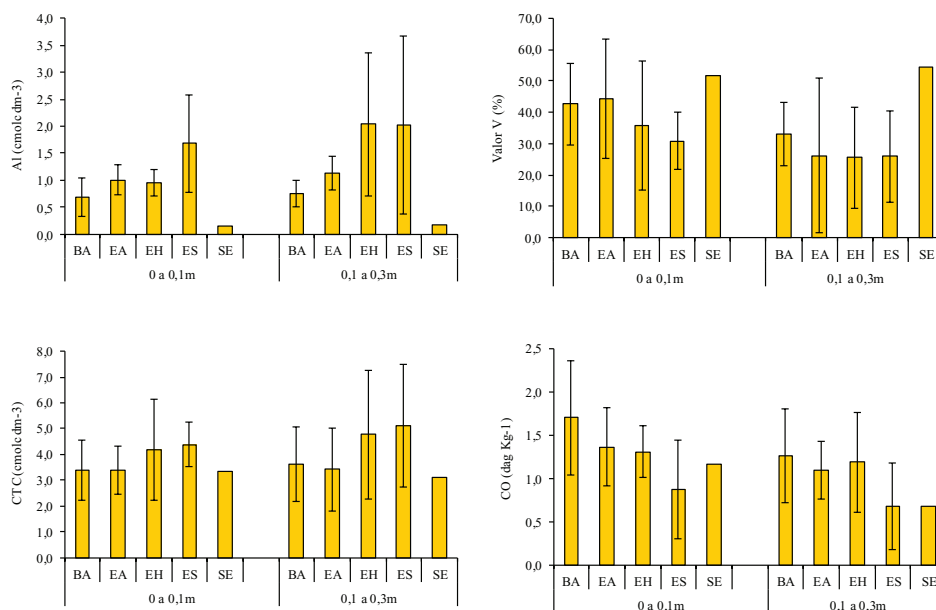
Tabela 3 - Correlação linear de Pearson na profundidade de 0,1 a 0,3m, solos das nascentes do alto curso do rio Piauitinga, Lagarto, SE

	CO ¹	Nsolo ¹	CTC ¹	Argila	DMA ¹	EAG ¹	CBM ¹	NBM ¹	FDA ¹
valor_cor	-0,37	-0,41	0,09	0,52*	0,08	0,06	0,08	-0,45	0,31
CO									
Nsolo	0,88**								
Al	0,06	0,13	0,79**	0,76**	0,04	0,47*	0,40	-0,09	0,56*
SB	0,48*	0,38	0,66**	0,32	0,16	0,34	-0,07	-0,32	0,48*
CTC	0,21	0,21							
V	0,33	0,24	0,14	-0,12	-0,01	-0,04	-0,17	-0,15	0,19
m	-0,23	-0,10	-0,03	0,44	0,00	0,22	0,20	0,31	0,14
Argila	0,14	0,26	0,57*						
DMA	0,37	0,41	0,08	0,40					
EAG	0,53*	0,65**	0,47*	0,78**	0,56*				
MOP	-0,29	-0,30	0,16	-0,13	0,03	-0,20	-0,17	-0,31	-0,44
RM	0,35	0,53*	-0,02	0,12	0,33	0,24	0,78**	0,16	0,22
CBM	0,14	0,34	0,31	0,35	0,16	0,31			
NBM	0,24	0,36	-0,34	-0,22	-0,13	-0,14	0,03		
FDA	0,38	0,44	0,46	0,67**	0,10	0,56*	0,32	-0,03	

Fonte: Autores (2012).

Nota: (1) CO: carbono orgânico; Nsolo: nitrogênio total do solo; CTC: capacidade de troca catiônica; DMA: diâmetro médio ponderado de agregados; EAG: porcentagem de macroagregados estáveis; CBM: carbono da biomassa microbiana; NBM: nitrogênio da biomassa microbiana; FDA: diacetato de fluoresceína. (2) * : significativa a 5%; **: significativa a 1%.

Figura 4 - Valores médios e desvio padrão de alguns atributos químicos (CO, Al, CTC e V), nas profundidades de 0 a 0,1 e 0,1 a 0,3m, nos sítios estudados da bacia hidrográfica do rio Piauitinga-S



Fonte: Autores (2012).

Classes de fertilidade

Predominam amplamente as classes consideradas desfavoráveis no diagnóstico, chegando ao extremo na soma de Ca + Mg, os resultados demonstram que 100% das amostras analisada na profundidade 0 a 0,1 m e 0,1 a 0,3 m foram classificadas como “baixa” para todas as situações. De qualquer forma, os resultados demonstram a baixa fertilidade natural dos sítios estudados e a baixa eficiência na reciclagem realizada pela vegetação local, principalmente nos sítios associados à ruptura de relevo EA, EH e ES (Tabela 4). Para a CTC, os resultados demonstram que 90% das amostras analisadas na profundidade de 0 a 0,1 e 0,1 m a 0,3 m foram classificadas como “baixo”. Uma das formas de aumentar a CTC é a calagem, pois proporciona o aumento das cargas negativas do solo, aumentando, assim, a sua CTC efetiva (SOUSA et al., 2007).

Aspectos de qualidade dos sítios

O universo das áreas de entorno de nascentes do rio Piauitinga mostrou uma diversidade de condições ambientais já expressa nos grupos delineados (baixada, encostas de quebra-de-relevo e sopé de encosta suave de elevação). O sítio SE se destacou por uma textura muito grosseira nas duas profundidades analisadas. Além disso, apresentou valores baixos de muitos atributos, principalmente DMA e FDA.

Para os outros grupos, o gradiente de comportamento foi visível, com a seguinte sequência dos grupos: BA, EH, EA e ES, sendo que, nas amostras da profundidade 0 a 0,1m, esse gradiente foi mais efetivo. As variáveis associadas à agregação ficaram muito influenciadas pelo teor de argila. Outra variável que mostrou grande coerência com

os grupos formados foi o valor da cor. A correlação entre a variável e o teor de CO e sua fácil percepção no campo, sugere seu uso como um atributo na construção de diagnósticos preliminares.

Os valores médios e o desvio padrão dentro dos grupos foram influenciados pela presença de amostras fora do padrão para o grupo do qual faz parte, principalmente o sítio ES4 no grupo ES.

Considerando os resultados obtidos, o grupo BA apresenta melhores valores absolutos de seus indicadores, principalmente aqueles indicados como mais efetivos (CO, N e variáveis biológicas). A sobreposição de comportamento com os grupos EH e EA é muito elevada. A distância de comportamento de ES para os outros grupos é até pequena, considerando o observado no campo (ausência de horizonte A nos sítios ES). O outlier ES4 contribuiu para essa menor diferença. De qualquer forma, fica evidente que, para alguns atributos, ES demonstra um grau de degradação maior. Lembrando-se de que as posições de quebra-de-relevo são naturalmente instáveis e erosionais (MOTTA et al., 2002) e que a ação antrópica está magnificando essa degradação.

Conclusões

As variáveis físicas e químicas estudadas dos solos das nascentes do alto curso do rio Piauitinga, por meio da análise multivariada, permitiram a construção de um gradiente ambiental, com a qualidade dos solos decrescente na sequência: baixada, encosta com hidromorfismo, encosta com horizonte A e encosta sem horizonte A.

É possível sugerir redefinições de estratégias para a revegetação das nascentes

Tabela 4 – Classificação dos valores médios para os grupos de atributos químicos, amostras de 0-10 e 0,1 a 0,3m, nos sítios estudados da bacia hidrográfica do rio Piauitinga-SE

Sítios	n	pH	CO	Argila	Ca + Mg	K	Al	CTC ¹	P	V ¹	m	Nº de classes desfavoráveis ²
		-----(dag Kg ⁻¹)----		----- (cmol _c dm ⁻³) -----		----- (mg Kg ⁻¹) -----		----- (%) -----				
Média BA	6	médio	médio	baixo	baixo	médio	médio	baixo	baixo	baixo	alto	6
	0 a 0,1m											
	0,1 a 0,3m											
Média EA	3	baixo	médio	médio	baixo	médio	alto	baixo	médio	baixo	alto	6
	0 a 0,1m											
	0,1 a 0,3m											
Média EH	4	baixo	médio	médio	baixo	baixo	médio	baixo	baixo	baixo	alto	7
	0											
	0,1 a 0,3m											
Média ES	4	baixo	médio	médio	baixo	baixo	alto	baixo	baixo	baixo	alto	8
	0 a 0,1m											
	0,1 a 0,3m											
SE	1	médio	baixo	baixo	baixo	baixo	baixo	baixo	alto	médio	médio	5
	0 a 0,1m											
	0,1 a 0,3m											

Fonte: Autores (2012).

Nota: (1) CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação da CTC por bases; m: saturação da CTC por alumínio. (2) Classes “alto” ou “baixo”, depende de variável.

do alto curso da bacia hidrográfica do rio Piauitinga, como por exemplo, a possível necessidade de aporte de matéria orgânica em geral. O estudo permite que seja possível extrapolar a qualidade do solo para áreas de

nascentes de cursos d'água, com características semelhantes e refletir sobre estratégias para restauração de áreas degradadas.

Apoio: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa.

Referencias

BARTLETTI, R. J.; ROSS, D. N. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solution. **Soil Science Society of America journal**, v. 52, p. 1191-1192, 1988.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 1047-1054, 2000.

BOIX-FAYOS, C. et al. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. **Catena**, v. 44, p. 47-67, 2001.

BRASIL. Lei Federal Nº 4771, de 15 de setembro de 1965. Código Florestal. Dispõe sobre a tutela e competência legislativa das florestas brasileiras. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 16 set. 1965.

CANELLAS, L. P. et al. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no estado do rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 133-143, jan. 2000.

CURCIO, G. R. **Relações entre geologia, geomorfologia, pedologia e fitossociologia nas planícies fluviais do rio Iguaçu, Paraná, Brasil**. 2006. 488 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo**. Método da fumigação-extração. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1997. Documento 37. p 10.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, n. 35, p. 3-22. 1994.

DUFRANC, G. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 505-517, 2004. ISSN 0100-0683.

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.
- FOLEY, J. A et al. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, p. 570-574, 2005.
- JOERGENSEN, R. G.; BROOKES, P. C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, n.8, p. 1023-1027, 1990.
- MAGALHAES, L. T. S. et al. Caracterização geo-pedológica das áreas de nascentes na bacia hidrográfica do rio Piauitinga, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, p. 169-181, 2012.
- MARTINS, A. K. E. et al. Relações solo-geoambiente em áreas de ocorrência de ipucas na planície do Médio Araguaia – estado de Tocantins. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 297-310, 2006.
- MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo de qualidade de áreas impactadas em Itajubá-MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n 3, p 211-220, 2006.
- MOREIRA, F. D. **Geotecnologia aplicada à sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga e suas relações ambientais**. 2008. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – NPGeo, Universidade Federal de Sergipe, UFS, São Cristóvão, 2008.
- MOTTA, P. E. F. et al. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área de Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 869-878, 2002.
- OLIVEIRA, J. T. de et al. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. Especial, p. 2821-2829, 2008. ISSN 0100-0683.
- PINTO, L. V. A. et al. Estudos das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 197-206, 2004.
- SANTANA, M. P. A. N. **Configurações ambientais do agreste sergipano: uma visão geográfica regional**. 2004. 107 f. 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia) – NPGeo, Universidade Federal de Sergipe / UFS, 2004.
- SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia – Superintendência de Recursos Hídricos. **Sergipe**: Atlas digital sobre recursos hídricos, 2013. 1- CD-ROM.

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de; OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.: il. cap. 5, p. 205-274.

SIQUEIRA, O. J. W. Diagnóstico da fertilidade dos solos do estado de Sergipe. In: **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes no estado de Sergipe**. Editado por SOBRAL, L. F. et al. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 251p.

STATSOFT®, Inc. Statistica (data analysis software system), version 7. 2004. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>. Acesso em: 30 nov. 2012.

WOHLENBERG, E. V. et al. Dinâmica da agregação de um solo francoarenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 891-900, 2004.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society of Agronomy**, v. 28, p. 337-557, 1936.