



## Qualidade de solo sob diferentes usos e manejos no Perímetro Irrigado Jaguaribe/Apodi, CE<sup>1</sup>

**Joana d’Arc N. Dantas<sup>2</sup>, Teógenes S. Oliveira<sup>2</sup>,  
Eduardo S. Mendonça<sup>3</sup> & Cristiane P. Assis<sup>4</sup>**

### RESUMO

A qualidade do solo reflete sua capacidade em atuar de forma positiva na regulação do fluxo energético dentro de um agroecossistema. Considerando o impacto da produção agrícola nas áreas de perímetros irrigados, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade de um Cambissolo Háplico Eutrófico típico sob diferentes usos e manejos, no Perímetro Irrigado Jaguaribe/Apodi, CE, Brasil. Os sistemas de produção avaliados foram o de cultivo perene de banana irrigada (CPB) e o de cultivo anual de milho irrigado (CAMI) além de áreas de referência sob vegetação natural. Coletaram-se amostras de solo nas camadas entre 0-5, 5-15, 15-25 e 25-40 cm de profundidade, avaliando-se os atributos físicos (densidade do solo - Ds, densidade de partículas - Dp, condutividade hidráulica - Ks, estabilidade dos agregados em água) e químicos (pH em H<sub>2</sub>O, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, COT, NT, CTC a pH 7.0, SB – soma de bases, V – saturação de bases). A área sob CAMI apresentou maiores impactos negativos sobre Ds, Ks, Dp quando comparada com as dos demais usos, sendo Ds e Ks mais sensíveis na avaliação do impacto do uso do solo. Os teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> foram maiores nas áreas cultivadas. Na área cultivada com bananeiras houve redução nos teores de K<sup>+</sup> em função, provavelmente, da depleção deste elemento com a colheita dos frutos. No geral, ocorreu degradação da qualidade física e química do solo com o cultivo, resultando na redução da estabilidade estrutural, na percolação de água no solo e em impacto negativo sobre a matéria orgânica do solo.

**Palavras-chave:** agricultura irrigada, indicadores de qualidade do solo, manejo e conservação do solo, semiárido

## Soil quality under different land use and management in the Irrigated Perimeter of Jaguaribe/Apodi, Brazil

### ABSTRACT

The soil quality reflects its ability in regulating the energy flux into an agroecosystem. Considering the impact of agricultural production in the irrigated areas, the objective of this study was to evaluate the physical and chemical changes of a Typic Inceptisol under different uses and managements in the Irrigated Perimeter Jaguaribe / Apodi, CE, Brazil. Production systems were evaluated with the use of perennial irrigated banana crop (CPB) and annual crops irrigated corn (CAMI) and references in areas under natural vegetation. Soil samples were collected in 0-5, 5-15, 15-25 and 25-40 cm depth. The physical proprieties (soil bulk density - Ds, soil particles density - Dp, hydraulic conductivity - Ks, water stability of aggregates) and chemical proprieties (pH in water, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, COT, NT, CTC at pH 7.0, SB – sum of bases, V – base saturation) were evaluated. The area under CAMI showed more negative impacts on Ds, Ks, Dp when compared to other uses, the Ds and Ks were more sensitive in evaluating the impact of land use. The levels of Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> were higher in cultivated areas. There was a reduction in the K<sup>+</sup> levels in the area cultivated with bananas, probably, due to the depletion of this element with the fruit harvesting. In general, there was degradation of soil quality with cultivation, mainly by reducing structural stability, soil water percolation and the negative impact on soil organic matter.

**Key words:** irrigated agriculture, indicators of soil quality, management and soil conservation, semi-arid

<sup>1</sup> Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora, apresentada na Universidade Federal do Ceará

<sup>2</sup> DCS/UFC, Campus do Pici, CP 12168, Bloco 807, CEP 60455-970, Fortaleza, CE. Fone: (85) 3366-9693. E-mail: [jdndantas@yahoo.com.br](mailto:jdndantas@yahoo.com.br); [teo@ufc.br](mailto:teo@ufc.br)

<sup>3</sup> DPV/UFES; PPG/UFV, CEP 29500-000, Alegre, ES Fone: (28) 3552-8921. E-mail: [esmjplia@gmail.com](mailto:esmjplia@gmail.com)

<sup>4</sup> UNIVASF/CEAGRO. Rod. BR 401, km 12, CEP 56300-000, Petrolina, PE. Fone: (87) 2101-4833 E-mail: [cristiane.assis@univasf.edu.br](mailto:cristiane.assis@univasf.edu.br)

## INTRODUÇÃO

O crescimento populacional tem apontado estimativas da necessidade mundial em aumentar a produção de alimentos em até 50% em 2025, dos quais 80% serão provenientes da agricultura irrigada (FAO, 2003). Dentro deste contexto a prática da irrigação nas regiões áridas e semiáridas tem sido considerada alternativa de garantia na produção agrícola (Khan et al., 2006; Fernández-Cirelli et al., 2009).

No Brasil, o potencial de água para o desenvolvimento da irrigação é estimado em 29,5 milhões de ha (Christofidis, 1999). No Estado do Ceará aproximadamente 52 mil ha são cultivados sob irrigação, tendo potencial para irrigar cerca de 162 mil hectares (Girão et al., 2001). Além do aumento na produtividade deve-se levar em consideração que a intensificação no uso das áreas sob irrigação poderá afetar a qualidade do solo (Mandal et al., 2008; Srinivasan & McDowell, 2009).

Vários são os perímetros irrigados no Nordeste brasileiro que apresentam problemas de degradação física e química dos solos (Meireles et al., 2003; Aguiar Netto et al., 2007) indicando que, além de quesitos sociais e econômicos, a expansão da agricultura irrigada deve considerar aspectos relacionados à qualidade no manejo da água e do solo (Hren & Feltz, 1998; Deng et al., 2006). Alguns índices que avaliam a degradação e a produtividade nos agroecossistemas têm sido baseados no monitoramento de alguns atributos físicos e químicos do solo (Doran & Parkin, 1994; van Diepeningen et al., 2006).

Dentre os atributos físicos podem ser destacadas densidade do solo, densidade de partícula, porosidade total, argila dispersa em água, condutividade hidráulica, distribuição e estabilidade de agregados (Jury & Horton, 2004). Alterações nesses atributos podem afetar a qualidade do solo uma vez que influencia na atividade biológica, disponibilidade de nutrientes e decomposição da matéria orgânica do solo (Dexter, 2004). Avaliando diferentes sistemas de manejo, Klein & Libardi (2002) constataram que em área irrigada houve maiores valores de densidade do solo que aquelas sob mata e sequeiro. Por sua vez, Michelon et al. (2009) encontraram, através de atributos como densidade e macroporosidade do solo, indícios de compactação em várias áreas irrigadas do Brasil Central.

Alguns atributos químicos também são afetados pela prática de irrigação, dentre os quais se tem o pH, capacidade de troca catiônica e cátions trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ) e matéria orgânica do solo (Lima et al., 2009; Assis et al., 2010).

A avaliação da qualidade do solo através do comportamento dos atributos físicos e químicos em diferentes situações de dimensionamento e tipos de irrigação, práticas de manejo, qualidade de água e especificidades das culturas, constitui a base para a identificação de alternativas sustentáveis ajustadas à condição semiárida.

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar alterações nos atributos físicos e químicos de um Cambissolo Vermelho Amarelo eutrófico típico, sob diferentes usos e manejos, no Perímetro Irrigado Jaguaribe/Apodi, Ceará, Brasil.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no perímetro irrigado localizado na Chapada do Apodi, situada ao norte do estado do Ceará, no município de Limoeiro do Norte, cujas coordenadas geográficas são  $5^{\circ} 10'$  de latitude sul e  $37^{\circ} 59'$  de longitude oeste. O clima da região é do tipo BSw'h', segundo Köppen, e caracterizado como quente e semiárido. A temperatura média anual é de  $28,5^{\circ}\text{C}$ , com temperaturas máxima e mínima anuais de  $36$  e  $22^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. A precipitação média anual é de  $772$  mm com umidade relativa anual em torno de  $62\%$ . O relevo é praticamente plano, com altitudes variando de  $100$  a  $130$  m. O material de origem provém de calcário arenítico e arenito calcífero da Formação Jandaíra, referidos ao cretáceo superior (Brasil, 1981). O solo em estudo foi classificado como Cambissolo Vermelho Amarelo eutrófico típico.

Foram selecionadas e coletadas áreas sob sistemas de cultivo anual e perene irrigados pertencentes à Fazenda Frutacor ( $5^{\circ} 09' \text{ S}$  e  $37^{\circ} 59' \text{ W}$ ) e Fazenda Faedo ( $5^{\circ} 10' \text{ S}$  e  $37^{\circ} 59' \text{ W}$ ). Como testemunha foram coletadas amostras de solo, em área sob vegetação natural adjacente a cada sistema de cultivo. A localização, o tipo de solo e histórico do manejo, estão apresentados na Tabela 1. Amostras foram coletadas em cada área sendo abertas, aleatoriamente, quatro trincheiras, nas profundidades de  $0-5$ ,  $5-15$ ,  $15-25$  e  $25-40$  cm. Parte das amostras foi secada ao ar, destorroadada e peneirada em malha de  $2$  mm, e outra parte destinada à separação em diferentes classes de agregados. Adicionalmente, amostras indeformadas foram coletadas nas profundidades de  $0-20$  e  $21-40$  cm, em quatro repetições, perfazendo o total de  $32$  amostras.

As análises físicas do solo incluíram: densidade do solo, densidade de partículas, condutividade hidráulica, porosidade total, argila dispersa em água, estabilidade e distribuição percentual dos agregados em classes de diâmetro de  $4,00-2,00$ ,  $2,00-1,00$ ,  $1,00-0,50$  e  $0,50-0,25$  mm. Realizaram-se as seguintes análises químicas: pH em água ( $1:2,5$ ) determinado por potenciometria,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  trocáveis extraídos com acetato de amônio, sendo  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  quantificados por titulometria com EDTA  $0.0125 \text{ M}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  por fotometria de chama, capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação de bases (V%). As análises físicas e químicas supracitadas foram realizadas de acordo com os métodos descritos pela EMBRAPA (1997).

O carbono orgânico total do solo (COT) foi quantificado de acordo com o método Walkley-Black (Yeomans & Bremner, 1988) e nitrogênio total (NT) do solo, por digestão sulfúrica e destilação Kjeldahl (Bremner, 1996).

Os dados foram analisados seguindo-se o delineamento inteiramente casualizado com o uso de parcelas subdivididas no espaço. Os resultados foram submetidos a análise de variância para verificação de efeitos significativos e comparação de médias pelo teste de Student Newman Keuls ( $p < 0,10$ ), utilizando-se o programa estatístico SAEG 5.0 (FUNARBE, 1993).

A partir dos atributos físicos e químicos avaliados determinaram-se índices de qualidade do solo (IQS) de acordo com modelo proposto por Karlen & Stott (1994). Utilizaram-se,

**Tabela 1.** Uso, localização e histórico das áreas de estudo no perímetro irrigado Jaguaribe/Apodi

Uso	Coordenadas geográficas	Histórico de manejo
Cultivo perene irrigado com banana (CPIB)	5° 09' S 37° 59' W	Após o desmate foram cultivados tomate, melão e outras culturas de sequeiro, como milho e feijão. Em 1998 iniciou-se o cultivo de banana irrigada por microaspersão, com espaçamento de 2.4 m entre plantas, sendo 2,0 e 4,0 m entre fileiras simples e duplas, respectivamente. Anualmente é feita fosfatagem. Como adubação orgânica se utilizam esterco caprino (20 L planta <sup>-1</sup> semana <sup>-1</sup> ) e compostagem líquida (600 L planta <sup>-1</sup> semana <sup>-1</sup> ). É feito o controle químico de pragas e doenças e de plantas espontâneas. A adubação química é feita mensalmente, com uréia e sulfato de potássio e magnésio. A cada 10 anos são utilizados na área grade e subsolador. A produtividade média é de 32 t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> .
Cultivo anual irrigado com milho/soja (CAMI)	5° 10' S 37° 59' W	Após o desmate foram cultivados feijão, algodão e tomate. Em 1984 se iniciou o cultivo com milho. Para o preparo do solo foram realizados gradagem, subsolagem e nivelamento. Na adubação de implantação foram aplicados 400 kg de NPK (10-28-20) e, na de cobertura 400 kg de uréia e 200 kg de sulfato de amônio. Utilizaram-se herbicidas no preplantio e pulverizações de inseticida, fungicida e adubos foliares (micronutrientes) durante a condução da cultura. A irrigação é realizada por pivô central. Tem-se realizado, nos últimos dois anos, sucessão soja/milho, sendo o cultivo da soja convencional seguido do plantio do milho sobre a palhada da soja. O espaçamento foi de 90 cm entre linhas e 20 cm entre plantas para o milho e de 45 cm entre linhas e 12 cm entre plantas para a soja. A produtividade média do milho foi estimada em aproximadamente 30 000 espigas ha <sup>-1</sup> e para soja em torno de 3 t ha <sup>-1</sup> . No momento da amostragem a área estava cultivada com milho.
Vegetação natural próximo à banana irrigada (VNBI)	5° 09' S 38° 00' W	Vegetação natural preservada com característica de Savana Estépica (Caatinga) formada por espécies arbustivas, de porte baixo e estrato herbáceo estacional entre espécies perenes, espinhosas e caducifólias.
Vegetação natural próximo ao milho irrigado (VNMI)	5° 10' S 37° 59' W	Idem VNBI.

também, as seguintes funções principais do solo: retenção de água no solo (RA), suprimento de nutrientes (ASN) e resistência à degradação (RD). Obteve-se a contribuição de cada função no cálculo do IQS (Eq. 1):

$$q = A_1 \times W_1 + \dots + A_n \times W_n \quad (1)$$

onde:

q - refere à contribuição de cada função principal (RA, SN e RD)

A<sub>n</sub> - valores dos atributos relacionados com a função avaliada

W<sub>n</sub> - pesos atribuídos para cada atributo

Considerou-se 1/A<sub>n</sub> para aqueles atributos cujos valores menores foram considerados melhores para a qualidade do solo (densidade do solo e argila dispersa em água).

Obteve-se o IQS a partir do somatório da contribuição de cada função considerando-se, para cada qual, seu peso ponderado:

$$IQS = (qRA \times wRA) + (qSN \times wSN) + (qRD \times wRD) \quad (2)$$

em que:

q - refere ao valor ponderado obtido da Eq. 1 para retenção de água (RA), suprimento de nutrientes (SN) e resistência à degradação (RD).

Os índices IQS das áreas sob vegetação natural foram utilizados como referência na comparação com aqueles obtidos nas áreas cultivadas. Na Tabela 2 se encontram as principais funções e seus respectivos ponderadores e atributos relacionados.

**Tabela 2.** Funções, ponderadores e atributos físicos e químicos utilizados na avaliação da qualidade de um Cambissolo Vermelho Amarelo eutrófico típico sob sistemas de cultivo anual e perene, no Perímetro Irrigado Jaguaribe/Apodi

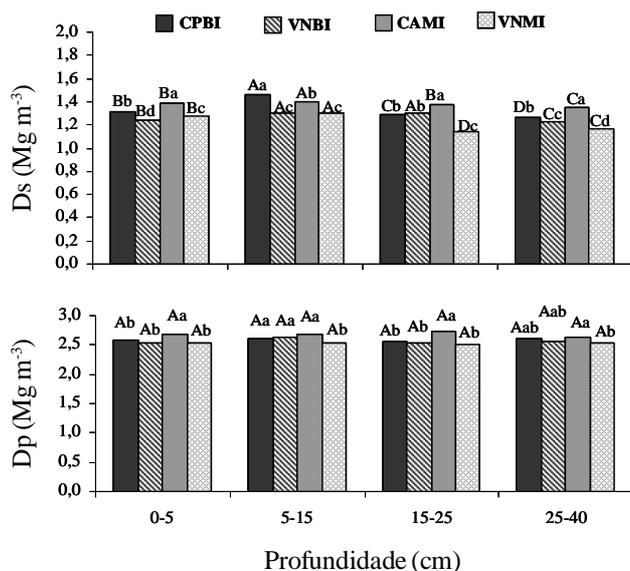
Função	Ponderador da função	Atributos <sup>(1)</sup>	Ponderador do atributo
Retenção de água (RA)	0,50	Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	0,25
		Ks (cm h <sup>-1</sup> )	0,50
		Pt (%)	0,25
Suprimento de nutrientes (SN)	0,25	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,250
		SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,125
		K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,125
		COT (dag kg <sup>-1</sup> )	0,250
Resistência à degradação (RD)	0,25	NT (dag kg <sup>-1</sup> )	0,250
		AEA (%)	0,75
		ADA (g kg <sup>-1</sup> )	0,25

(1) Ds: densidade do solo; Ks: condutividade hidráulica; Pt: porosidade total; K<sup>+</sup>: potássio trocável; COT: carbono orgânico total; NT: nitrogênio total; AEA: porcentagem de agregados estáveis em água maiores que 1.00 mm; ADA: argila dispersa em água

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Atributos de qualidade física do solo

A densidade do solo (Ds) variou significativamente entre os diferentes tipos de manejo e profundidade (Figura 1). No geral, ocorreu aumento da densidade do solo (Ds) com o cultivo do solo, sendo que o aumento da Ds nas áreas cultivadas pode estar associado à compactação pelo tráfego de máquinas e implementos e à menor estabilidade da estrutura do solo (Cavenage et al., 1999; Mazurana et al., 2011). Comparando-se CPBI e VNBI observaram-se diferenças na Ds em quase todas as profundidades, exceto na profundidade entre 15-25 cm.



Obs.: CPBI: área de cultivo perene com banana irrigada; VNBI: área de vegetação natural próximo à área de cultivo perene com cultivo de banana irrigada; CAMI: área de cultivo anual com milho irrigado e VNMI: área de vegetação natural próximo à área de cultivo anual irrigado com milho. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre profundidades e minúscula entre sistemas de manejo, não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls ( $p < 0,10$ )

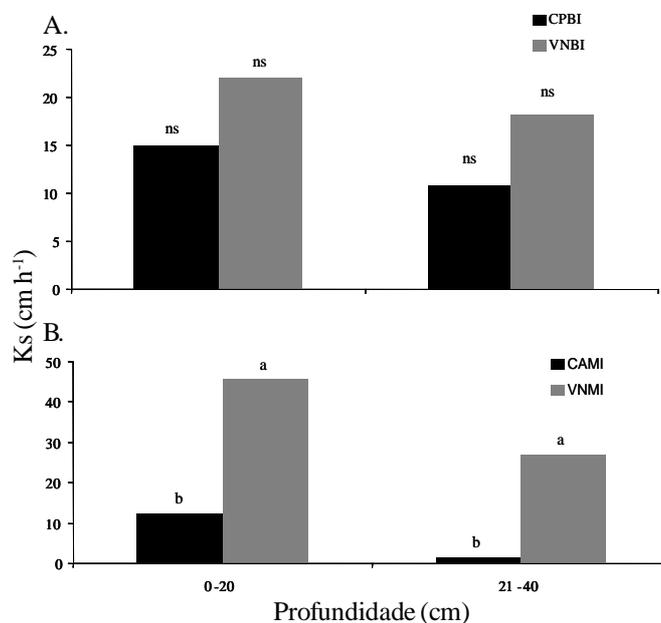
**Figura 1.** Médias das densidades de solo ( $D_s$ ) e de partícula ( $D_p$ ) de um Cambissolo Vermelho Amarelo eutrófico típico sob sistemas de cultivo irrigado perene e anual e sob vegetação natural, no Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi, Limeiro do Norte, CE

Para CAMI, o comportamento verificado foi semelhante ao do CPBI, com diferença significativa ( $p < 0,10$ ) em todas as profundidades do solo estudadas, com valores de  $D_s$  para CAMI superiores aos obtidos na mata nativa (VNMI). O aumento da  $D_s$  poderá influenciar negativamente no desenvolvimento de raízes finas nas camadas superficiais e subsuperficiais resultando em prováveis perdas na produtividade das culturas (Freddi et al., 2007). Em detrimento da vegetação natural, CAMI aumentou mais a  $D_s$  que em CPBI. Entre 0-15 cm de profundidade houve, em média, incremento em 8% no valor da  $D_s$ ; já entre 15-40 cm este aumento chegou a 18%, o que se pode caracterizar como efeito da menor produção de resíduos (superfície) e maior revolvimento do solo (subs superfície) em comparação com CPBI. Por ser cultivo perene, em CPBI há menor revolvimento do solo e maior retorno de resíduos ao solo considerando-se que, para bananeira, aproximadamente 66% da massa vegetativa são devolvidos ao solo, na forma de pseudocaules, folhas e rizomas (Borges et al., 2008).

A densidade de partícula ( $D_p$ ) não diferiu entre CPBI e a VNBI, porém maiores valores foram observados para CAMI em relação à VNMI. Esta variável ( $D_p$ ) praticamente não é influenciada por alterações no manejo podendo estar relacionada com a composição mineralógica e com o conteúdo de matéria orgânica (Rühlmann et al., 2006).

A área CPBI não apresentou diferenças significativas nos valores de condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ) do solo quando comparada com a VNBI, apesar da tendência de redução com o cultivo e profundidade (Figura 2A).

Para a CAMI foram encontrados menores valores de  $K_s$  em relação a VNMI (Figura 2B), associadas, provavelmente, ao aumento da  $D_s$  (Figura 1) além de redução na porosidade total (Tabela 3). Por sua vez, a presença de raízes e mesofauna em solos sob vegetação natural pode favorecer a formação de biocanais no solo, facilitando a percolação da água no perfil (Schaefer et al., 2001).



Obs.: CPBI (cultivo permanente com banana irrigada); VNBI (vegetação natural próximo à área de banana irrigada); CAMI (cultivo anual com milho irrigado) e VNMI (vegetação natural próximo à área de milho irrigado). Colunas seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste Student-Newman-Keuls ( $p < 0,10$ ), donde ns - não significativo

**Figura 2.** Condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ) de um Cambissolo Vermelho Amarelo eutrófico típico, submetido a diferentes tipos de uso

**Tabela 3.** Argila dispersa em água e porosidade total de um Cambissolo Vermelho Amarelo eutrófico típico, sob sistemas de cultivo irrigado perene e anual e sob vegetação natural\*, no Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi

Camada (cm)	Tipos de uso			
	CPBI	VNBI	CAMI	VNMI
	Argila dispersa em água, g kg <sup>-1</sup>			
0-5	50,0	70,0	62,5	27,5
5-15	82,5	70,0	100,0	40,0
15-25	105,0	60,0	65,0	70,0
25-40	60,0	45,0	50,0	42,5
	Porosidade Total, %			
0-5	49,40	50,99	48,13	49,41
5-15	51,70	50,57	47,76	48,62
15-25	49,40	48,82	49,26	54,58
25-40	51,72	51,95	48,86	53,75

\*CPBI - área de cultivo perene com banana irrigada; VNBI: área de vegetação natural próximo à área de cultivo perene com cultivo de banana irrigada; CAMI - área de cultivo anual com milho irrigado e VNMI - área de vegetação natural perto da área de cultivo anual irrigado com milho

Os valores de argila dispersa em água (ADA) variaram de 27,5 (VNMI) até 100,5 g kg<sup>-1</sup> (CPBI) (Tabela 3); entretanto, em termos absolutos maiores valores foram encontrados nas áreas cultivadas quando comparadas com suas respectivas matas nativas. Constatou-se tendência da área do CAMI apresentar,

nos primeiros 15 cm de profundidade, maiores valores de ADA quando comparada com a do CPBI. Esses resultados indicaram possibilidade de maior dispersão de argilas em áreas cultivadas irrigadas, sendo que sob cultivo anual o solo apresentou maior dispersão que quando cultivado com cultura perene. De acordo com Levy et al. (1993), a ADA é um atributo que influencia o encrostamento superficial e a taxa de infiltração e que, em solos com valores elevados, há diminuição da porosidade do solo com consequente restrição na movimentação de água no perfil. Neste sentido também foi possível observar menores valores de porosidade total na área sob CAMI.

Pela avaliação da distribuição percentual de agregados estáveis em água (Tabela 4) os solos cultivados apresentaram, em geral, menores proporções de agregados estáveis de diâmetros maiores (C1 - 4,00 a 2,00 mm; C2 - 2,00 a 1,00 mm) e maiores proporções daqueles de menores diâmetros (C3-1,00 a 0,50 mm; C4 - 0,50 a 0,25 mm).

**Tabela 4.** Médias das porcentagens de agregados estáveis em água em diferentes classes de diâmetro de um Cambissolo Vermelho Amarelo Eutrófico sob sistemas de cultivo irrigado perene e anual e sob vegetação natural, no Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi

Profundidades (cm)	Tipos de uso <sup>(1)</sup>			
	CPBI	VNBI	CAMI	VNMI
Agregados de 4,00 a 2,00 mm (C1)				
0-5	41,7 Ab	52,5 Aa	12,9 BCc	37,5 Ab
5-15	34,1 Bb	60,1 Aa	18,9 Bc	13,3 Bc
15-25	22,5 Cc	53,3 Aa	36,2 Ab	6,8 Bd
25-40	19,9 Ca	23,4 Ba	8,6 Cb	4,2 Bb
Agregados de 2,00 a 1,00 mm (C2)				
0-5	23,8 Abc	20,7 Ac	27,5 Bb	35,7 Aa
5-15	25,9 Ab	24,4 Ab	32,7 Aa	21,6 Bb
15-25	28,8 Aa	24,2 Aa	27,4 ABa	13,5 Cb
25-40	24,1 Aa	23,6 Aa	20,0 Cab	15,3 Cb
Agregados de 1,00 – 0,50 mm (C3)				
0-5	10,8 Bb	6,6 Bc	26,1 Ba	9,3 Cbc
5-15	14,1 Bb	4,6 Bc	24,4 Ba	22,1 Ba
15-25	18,6 Ab	7,6 Bc	18,2 Cb	24,5 Aba
25-40	18,9 Ab	21,1 Ab	29,7 Aa	26,9 Aa
Agregados de 0,50 – 0,25 mm (C4)				
0-5	5,6 Bb	3,5 Bb	12,7 Ba	4,5 Cb
5-15	6,7 Bb	2,2 Bc	8,7 Cb	18,0 Ba
15-25	9,7 Ab	3,8 Bd	6,9 Cc	22,4 Aa
25-40	11,3 Ac	15,3 Ab	18,8 Aa	20,8 Aa

<sup>(1)</sup> CPBI - área de cultivo perene com banana irrigada; VNBI: área de vegetação natural próximo à área de cultivo perene com cultivo de banana irrigada; CAMI - área de cultivo anual com milho irrigado e VNMI - área de vegetação natural perto da área de cultivo anual irrigado com milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls ( $p < 0,10$ )

Percebe-se, então, tendência clara de concentração nas classes de menores diâmetros nas áreas com maior influência antrópica. Agregados de diâmetro acima de 0,5 mm podem ser considerados resistentes à desagregação e dispersão, sendo bons condutores de ar e água, dependendo do manejo a que são submetidos (Jury & Horton, 2004). Os resultados indicam que o cultivo do solo pode estar afetando a difusão de gases, diminuindo a condutividade hidráulica (Figura 2) e aumentando a erodibilidade desses solos. Concatenando com os resultados de ADA e porosidade, a redução de agregados estáveis em água

nas classes de maiores diâmetros, principalmente na área de CAMI, explica a degradação na estrutura do solo com o cultivo.

A área irrigada sob CPBI apresentou menor percentual de agregados na classe C1 (4,00 a 2,00 mm), na profundidade entre 0-5 cm, em relação ao percentual obtido na área de VNBI. Houve maior predomínio na superfície dessa classe de diâmetro (C1) em relação às demais, representando 41,7 e 52,5% dos agregados em CPBI e VNBI, respectivamente. É importante destacar que em VNMI os percentuais de agregados entre 4,00-2,00 mm e entre 2,00-1,00 mm, na camada superficial (0-5 cm) foram superiores aos obtidos nas camadas inferiores o que se deve, provavelmente, à ausência de revolvimento do solo e à maior presença de raízes nesta área. A ação das plantas na formação e estabilização de agregados tem sido amplamente ressaltada por pesquisadores (Harris et al., 1966; Tisdall & Oades, 1982; Abiven et al., 2009), exercendo as raízes papel importante na formação de macroagregados. Neste processo de estabilização as raízes podem produzir agregados estáveis pelo suprimento de resíduos orgânicos pela decomposição, exsudações de substâncias orgânicas e envolvimento físico de microagregados do solo (Pohl et al., 2009). Na área sob VNBI observou-se maior proporção de agregados entre 4,00 e 1,00 mm (C1 e C2), tendendo a apresentar maior estabilidade estrutural que os solos cultivados, fato que indica efeito positivo da vegetação nativa sobre a estrutura do solo, e aponta para a necessidade de se buscar alternativas de uso da terra que mantenham ao máximo as características do sistema natural.

A área sob CAMI apresentou os menores percentuais de agregados nas classes C1 e C2 e os maiores nas classes C3 e C4, na profundidade entre 0-5 cm, diferindo da VNMI. Na área cultivada as classes C2 e C3 predominaram sobre as classes C1 e C4, sendo que a classe C1 representou apenas 12,97% dos agregados em superfície. A redução da proporção de agregados maiores que 2 mm está relacionada principalmente à ação de revolvimento do solo, o qual propicia quebra dos macroagregados do solo, em especial na camada superficial (Tisdall & Oades, 1982). Além disso, o sistema de irrigação por pivô central aliado à ausência de cobertura do solo, favorece maior impacto das gotas d'água, aumento de quebra de agregados superficiais e argila dispersa (Tabela 3), resultado que também está relacionado com o aumento na densidade do solo em subsuperfície (Figura 1) em função do entupimento de poros com a argila dispersa iluviada do horizonte superficial e consequente redução na condutividade hidráulica (Figura 2).

Nas profundidades entre 5-15 e 15-25 cm o sistema sob CAMI apresentou maiores percentuais de agregados nas classes de maior diâmetro (C1 e C2) e os menores na classe C4, quando comparado com a VNMI. Na profundidade de 5-15 cm notou-se tendência de concentração de agregados na classe C2 e na profundidade de 15-25 cm, maior proporção na classe C1, indicando que pode estar havendo aumento de agregados das classes de maior diâmetro com a profundidade. A explicação para tal comportamento pode ser a estabilização dos agregados a partir da junção das partículas minerais (sobretudo silte e argila) em função da pressão mecânica exercida pelo uso de máquinas e implementos agrícolas, podendo favorecer a formação de complexos minerais mais estáveis pelo ajustamento preferencial entre partículas de silte e argila (Harris et al., 1966).

### Atributos de qualidade química do solo

Os atributos químicos do solo foram avaliados de acordo com Ceará (1993). O pH das áreas variou de ácido a alcalino, com predominância de pH ligeiramente alcalino nas áreas sob CPBI e CAMI e aproximadamente neutro nas áreas sob VNBI e VNMI (Tabela 5).

**Tabela 5.** Médias de pH em água,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  trocáveis, COT (Carbono Orgânico Total) e NT (Nitrogênio Total) de um Cambissolo Vermelho Amarelo eutrófico típico sob sistemas de cultivo irrigado perene e anual e sob vegetação natural no Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi

Profundidades (cm)	Tipos de uso <sup>(1)</sup>			
	CPBI	VNBI	CAMI	VNMI
pH em água				
0-5	7,85 Aa	6,77 Ad	7,25 Bb	7,05 Ac
5-15	7,47 Ba	6,67 ABd	7,32 Bb	6,92 Ac
15-25	7,35 Ba	6,55 Bb	7,47 Aa	6,40 Bc
25-40	7,42 Bb	6,57 Bc	7,60 Aa	5,60 Cd
$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$				
0-5	12,13 Aa	8,28 Ab	14,33 Aa	7,3 Ab
5-15	7,53 Ba	5,73 Bb	11,25 Bb	7,7 Aa
15-25	7,33 Ba	4,88 Bb	11,88 Bb	7,3 Aa
25-40	6,73 Ba	5,13 Bb	11,93 Ba	7,3 Aa
$\text{Mg}^{2+}$ , $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$				
0-5	4,85 Aa	3,10 Ab	4,77 Aa	2,77 Bb
5-15	4,02 Ba	2,70 Ab	3,90 Ba	1,62 Cc
15-25	2,92 Cbc	3,27 Ab	4,10 Ba	2,35 Bc
25-40	3,77 Ba	3,52 Aa	3,55 Ba	3,60 Aa
$\text{Na}^+$ , $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$				
0-5	0,27 Ca	0,17 Bb	0,27 Da	0,17 Ab
5-15	0,26 Db	0,16 Cc	0,29 Ca	0,15 Bc
15-25	0,33 Ba	0,16 Bcc	0,32 Bb	0,14 Bd
25-40	0,39 Aa	0,19 Ac	0,35 Ab	0,14 Bd
$\text{K}^+$ , $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$				
0-5	0,53 Ac	0,89 ABa	0,86 ABa	0,68 Bb
5-15	0,35 Cc	0,93 Aa	0,89 Aa	0,75 Ab
15-25	0,37 BCc	0,87 Ba	0,86 ABa	0,67 Bb
25-40	0,41 Bd	0,71 Cb	0,82 Ba	0,50 Cc
COT, $\text{dag kg}^{-1}$				
0-5	2,20 Ab	2,72 Aa	1,40 Ac	2,34 Ab
5-15	1,19 Ba	1,23 Ba	1,23 Ba	1,00 Bb
15-25	0,78 Ca	0,93 Ca	0,95 Ca	0,76 Ca
25-40	0,64 Ca	0,73 Da	0,65 Da	0,58 Da
NT, $\text{dag kg}^{-1}$				
0-5	0,15 Ab	0,21 Aa	0,10 Ac	0,16 Ab
5-15	0,09 Ba	0,10 Ba	0,09 Aa	0,07 Bb
15-25	0,07 Ca	0,07 Ca	0,07 Ba	0,06 Ca
25-40	0,05 Db	0,06 Ca	0,06 Ba	0,04 Db

<sup>(1)</sup> CPBI - área de cultivo perene com banana irrigada; VNBI - área de vegetação natural próximo à área de cultivo perene com cultivo de banana irrigada; CAMI - área de cultivo anual com milho irrigado e VNMI - área de vegetação natural próximo à área de cultivo anual irrigado com milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls ( $p < 0,10$ )

Nas áreas cultivadas os valores de pH variaram de 7.2 a 7.8 representando certa alcalinidade em relação às áreas sob mata. Esta elevação do pH nas áreas cultivadas (Tabela 1) pode ser resultado da hidrólise de fertilizantes como, por exemplo, a uréia, muito utilizado pelos agricultores (Longo & Melo, 2005). Em termos de qualidade química do solo, o aumento do pH pode favorecer processos de mineralização da MOS, nitrificação e fixação biológica do nitrogênio (Mengel et al., 2001). Por

outro lado, pH alcalino pode afetar o desenvolvimento das culturas devido à redução na disponibilidade de micronutrientes, como manganês, cobre, zinco e ferro (He et al., 2005).

Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram considerados altos em todas as áreas, o que pode ser explicado pela origem calcária desses solos (Brasil, 1981). No CPBI esses teores foram quase sempre superiores aos valores obtidos em VNBI, exceção apenas para o  $\text{Mg}^{2+}$  nas profundidades entre 15-25 e 25-40 cm. Quanto à distribuição desses elementos em profundidade, os maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$  se concentraram nos primeiros 5 cm do solo, decorrentes da maior quantidade de material orgânico nessa primeira camada de solo e/ou à baixa mobilidade deste elemento no solo. Os valores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  resultaram em valores elevados de soma de bases, dando ao solo dessas áreas caráter eutrófico. Independente do sistema de manejo e área, os valores de V% variaram de 69 a 97% o que, para obter boas produtividades, satisfaz as exigências das principais culturas da região (Ceará, 1993).

Os teores de sódio trocável ( $\text{Na}^+$ ), tanto em CPBI quanto para CAMI, foram superiores aos de suas respectivas áreas de referência e os maiores valores se concentraram nas camadas mais profundas. Considerando-se ser esta profundidade parte da zona radicular, o acúmulo de  $\text{Na}^+$  pode representar limitação ao desenvolvimento das plantas (Maireles et al., 2003). O uso contínuo da irrigação pode estar favorecendo a lixiviação do  $\text{Na}^+$  e seu subsequente acúmulo em profundidade no solo. Para que este  $\text{Na}^+$  não aumente de forma continuada no solo e, futuramente, cause problemas de produtividade nas áreas cultivadas, torna-se necessário um manejo efetivo da lâmina de irrigação utilizada.

Os teores de  $\text{K}^+$  variaram de 0,35 a 0,93  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , sendo os maiores valores observados para CAMI e VNBI. Para todas as profundidades analisadas a área sob CAMI apresentou, em relação à sua respectiva área sob vegetação natural, maiores valores de  $\text{K}^+$ . A área sob CPBI, mesmo recebendo adubação com fonte de potássio, apresentou os menores teores de  $\text{K}^+$  quando comparada com VNBI. O  $\text{K}^+$  é altamente consumido pela bananeira (Teixeira et al., 2008), de modo que sua concentração no solo, em determinados períodos, seja insuficiente para suprir a nutrição desta cultura. Teixeira et al. (2001) também verificaram, avaliando ciclos de produção de bananeiras irrigadas, reduções significativas nos teores de  $\text{K}^+$  trocável do solo sob irrigação. Há, ainda, a possibilidade de perda de  $\text{K}^+$  por lixiviação, o que não foi observado no presente estudo.

O cultivo do solo reduziu os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), nos primeiros 5 cm de profundidade (Tabela 3). Em geral, deu-se tendência de decréscimo nos teores desses elementos com a profundidade. Para CPBI, verificou-se que entre 0-5 cm de profundidade houve redução de 19% do COT em relação à VNBI. Na área de CAMI esta redução chegou a 40% quando comparada com VNMI. Fialho et al. (2006) verificaram, nesta mesma área de estudo, aumento do quociente microbiano nas áreas cultivadas com banana. De acordo com os autores, este incremento favoreceu o decréscimo do COT no solo quando comparado com os valores obtidos para área com vegetação natural. A redução do COT com o cultivo tem efeito negativo sobre a qualidade do solo, refletindo na ciclagem de

nutrientes, atividade da biota e estabilidade de agregados (Reicosky et al., 1995; Leite et al., 2010).

No geral, os teores de NT apresentam comportamento semelhante aos observados para o COT, ou seja, redução superficial com o cultivo e maiores valores para a área sob VNBI. Este comportamento similar entre os teores de NT e COT, reflete modificações na dinâmica da MO com o uso do solo, em que o aumento na taxa de decomposição da MO com a irrigação pode ter favorecido o decréscimo nos valores de COT e NT na camada superficial. Resultados semelhantes obtiveram De Bona et al. (2006) quando avaliaram o efeito da irrigação por aspersão sobre a dinâmica da MO de um Argissolo Vermelho da Depressão Central do Rio Grande Sul e verificaram aumento da taxa de decomposição da MO. À medida em que houve redução nos valores de COT e NT, também se verificou diminuição na proporção de agregados estáveis > 1,00 mm (Tabela 2). A quebra dos macroagregados com o cultivo do solo favorece a exposição da matéria orgânica à ação dos micro-organismos aumentando sua taxa de decomposição e o declínio no solo (Harris et al., 1966; Bronick & Lal, 2005).

A capacidade de troca catiônica (CTC) do solo não apresentou variação a partir dos 5 cm de profundidade, com exceção da área sob CAMI quando, até os 25 cm, não foram observadas diferenças significativas em comparação com a camada mais superficial (0-5 cm) (Tabela 6).

**Tabela 6.** Médias da capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB) e saturação de bases (V) de um Cambissolo Vermelho Amarelo eutrófico típico sob sistemas de cultivo irrigado, perene e anual, e sob vegetação natural no Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi

Profundidades (cm)	Tipos de uso <sup>(1)</sup>			
	CPBI	VNBI	CAMI	VNMI
	CTC, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-1</sup>			
0-5	18,17 Aa	14,10 Ab	14,62 Ab	14,32 Ab
5-15	13,07 Ba	11,05 Bb	14,00 ABa	11,25 Bb
15-25	11,85 Bb	10,50 Bb	13,75 ABa	11,87 Bb
25-40	12,35 Ba	10,45 Bb	12,75 Ba	11,92 Ba
	SB, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
0-5	17,77 Aa	12,30 Ab	13,27 Ab	12,22 Ab
5-15	12,20 Ba	9,52 Bb	12,80 Aa	9,47 Bb
15-25	10,95 Bb	9,15 Bc	12,65 Aa	8,75 Bc
25-40	11,30 Ba	9,52 Bb	12,07 Aa	8,32 Bc
	V %			
0-5	97,75 Aa	87,00 Ab	90,75 Ab	86,00 Ab
5-15	93,00 Aa	86,25 Aa	91,50 Aa	84,50 Aa
15-25	92,50 Aa	87,50 Aa	92,00 Aa	73,50 Bb
25-40	91,50 Aa	91,50 Aa	94,75 Aa	69,75 Bb

<sup>(1)</sup>CPBI - área de cultivo perene com banana irrigada; VNBI - área de vegetação natural próximo à área de cultivo perene com cultivo de banana irrigada; CAMI - área de cultivo anual com milho irrigado e VNMI - área de vegetação natural próximo à área de cultivo anual irrigado com milho. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (p < 0,10)

Comparado com as áreas sob vegetação natural, o uso com CPBI favoreceu o aumento da CTC do solo em superfície, sendo que para CAMI este efeito foi observado entre 5-15 e 15-25 cm de profundidade. O revolvimento do solo em CAMI está favorecendo a incorporação de material orgânico em profundidade elevando, desta forma, os valores de CTC do mesmo. Tanto os valores de SB quanto de V% aumentaram

com o cultivo do solo. Em média, para SB os incrementos foram de 29 e 31% para CPBI e CAMI, respectivamente. Os resultados para Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, apresentados na Tabela 3, evidenciam a contribuição desses elementos no incremento dos valores de SB nas áreas cultivadas; já para V% os incrementos observados foram mais discretos, ou seja, de 6 e 17% para CPBI e CAMI, respectivamente.

### Índices de qualidade do solo

A partir das equações (1) e (2) obtiveram-se índices de qualidade do solo (IQS) para as áreas cultivadas e sob vegetação natural, sendo que para essas últimas os valores obtidos foram considerados de referência. Com base nesta referência os IQS das áreas cultivadas foram ponderados numa escala de 0 a 1 (Tabela 4). Observa-se que todos os valores de IQS das áreas cultivadas foram menores que 1, evidenciando que ocorreu perda da qualidade do solo com o cultivo (Tabela 7).

**Tabela 7.** Índice de qualidade do solo (IQS) para um Cambissolo Vermelho Amarelo eutrófico típico sob sistemas de cultivo com banana (CPBI) e milho (CAMI) no perímetro irrigado Jaguaribe/Apodi

Camadas (cm)	Tipos de uso	
	CPBI	CAMI
0-5	0,90	0,56
5-15	0,79	0,63
15-25	0,77	0,98
25-40	0,90	0,59

Em média, a redução no IQS dos solos cultivados foi devida às funções RA (retenção de água) e RD (resistência a degradação), as quais foram responsáveis em 46 e 45% na determinação do IQS para CPBI e CAMI, respectivamente. Para essas funções os atributos Ks (condutividade hidráulica) e AEA (agregados estáveis em água > 1,00 mm) foram os que mais responderam ao uso do solo, com importantes reduções em seus valores com o cultivo. Neste sentido se constatam importantes perdas na qualidade física, em termos de movimentação de água no solo (redução de Ks) e perdas na estabilidade estrutural (redução de AEA).

Das três funções analisadas, a função SN, relacionada ao suprimento de nutrientes, teve a menor contribuição (~ 9%) para IQS. Provavelmente a prática de adubação nas áreas cultivadas, aliada à eutrofia natural do solo em estudo, favoreceu com que os valores desta função fossem similares e/ou superiores aos das áreas de referência. Por outro lado, Melo Filho et al. (2007) encontraram, na função SN, um fator limitante para qualidade de um Latossolo Amarelo coeso argissólico indicando, para este solo, necessidade de melhoria na oferta de nutrientes.

Ressalta-se, como discutido anteriormente, que a redução da MO do solo (COT e NT) observada nos solos cultivados (Tabela 3), pode vir a influenciar na ciclagem e disponibilidade desses nutrientes no solo (Manlay et al., 2007).

## CONCLUSÕES

1. O cultivo anual e perene do solo no perímetro irrigado Jaguaribe/Apodi modificou a qualidade física e química do solo.

2. As áreas sob cultivo anual mostraram maior degradação física em detrimento da área sob cultivo perene, evidenciada pela redução na condutividade hidráulica do solo, diminuição na estabilidade de agregados maiores que 2,00 mm e aumento na densidade do solo.

3. Com o cultivo houve impacto negativo sobre a matéria orgânica do solo e positivo sobre as demais características químicas, com exceção do potássio na área com banana irrigada.

4. Os índices de qualidade evidenciaram necessidade da adoção de práticas de manejo que favoreçam a infiltração da água no solo, em conjunto com aquelas que incrementam os teores de MO para que a qualidade do solo seja recuperada.

#### AGRADECIMENTOS

À CAPES-PROCAD, pelo financiamento deste trabalho; ao CNPq e CAPES-PNPD, pelas bolsas concedidas; ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa e da Universidade Federal do Ceará, pela infraestrutura necessária à realização deste trabalho e às Fazendas Frutacor e Faedo, pela concessão das áreas de estudo.

#### LITERATURA CITADA

- Abiven, S.; Menasseri, S.; Chenu, C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, v.41, p.1-12, 2009.
- Aguiar Netto, A. O.; Gomes, C. C. S.; Lins, C. C. V.; Barros, A. C.; Campeche, L. F. S. M.; Blanco, F. F. Características químicas e salino-sodicidade dos solos do perímetro irrigado Califórnia, SE, Brasil. *Ciência Rural*, v.37, p.1640-1645, 2007.
- Assis, C. P.; Oliveira, T. S.; Dantas, J. N.; Mendonça, E. S. Organic matter and phosphorus fractions in irrigated agroecosystems in a semi-arid region of Northeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.138, p.74-82, 2010.
- Borges, A. L.; Souza, L. S.; Peixoto, C. A. B.; Santos Júnior, J. L. C. Distribuição do sistema radicular da bananeira ‘Prata-Anã’ em duas frequências de fertirrigação com uréia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.30, p.259-262, 2008.
- Brasil. Ministério das Minas e Energias. Secretaria-Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981. 744p.
- Bremner, J. M. Nitrogen-total. In: Sparks, D. L. (ed.), *Methods of soil analysis*. Part 3. Madison: American Society of Agronomy, 1996. p.1085-1121.
- Bronick, C. J.; Lal, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, v.124, p. 3-22, 2005.
- Cavenage, A.; Moraes, M. L. T.; Alves, M. C.; Carvalho, M. A. C.; Freitas, M. L. M.; Buzetti, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.997-1003, 1999.
- Ceará. Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará. Fortaleza, Departamento de Ciências do Solo, 1993. 248p.
- Christofidís, D. Recursos hídricos e irrigação no Brasil. In: *Workshop Disponibilidade de Água e Irrigação no Nordeste*, Brasília. Texto... Brasília: ISPN, 1999, 34p.
- De Bona, F. D.; Bayer, C.; Bergamaschi, H.; Dieckow, J. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.911-920, 2006.
- Deng, X.; Shan, L.; Zhang, H.; Turner, N. C. Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China. *Agricultural Water Management*, v.80, p.23-40, 2006.
- Dexter, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, v.120, p.201-214, 2004.
- 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*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise do solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2003. *World Agriculture towards 2015/2030*. FAO/Earthscan. Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/004/Y3557E/Y3557E00.HTM>. 14 Ago. 2009
- Fernández-Cirelli, A.; Arumí, J. L.; Rivera, D.; Boochs, P. W. Environmental effects of irrigation in arid and semi-arid regions. *Chilean Journal of Agricultural Research*, v.69, p.27-40, 2009.
- Fialho, J. S.; Gomes, V. F. F.; Oliveira, T. S.; Silva Júnior, J. M. T. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. *Revista Ciência Agronômica*, v.37, p.250-257, 2006.
- Freddi, O. S.; Centurion, J. F.; Beutler, A. N.; Aratani, R. G.; Leonel, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.627-636, 2007.
- FUNARBE - Fundação Arthur Bernardes - SAEG - Sistema para análise estatística. Versão 5.0. Viçosa: FUNARBE, 1993.
- Girão, A. R.; Dutra, I.; Souza, F. Área irrigada e métodos de irrigação no Estado do Ceará, segundo o Censo Agropecuário de 1995-1996. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, p.161-165, 2001.
- Harris, R. F.; Chesters, G.; Allen, O. N. Dynamics of soil aggregation. *Advances in Agronomy*, v.18, p.107-169, 1966.
- He, Z. L.; Yang, X. E.; Stoffella, P. J. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, v.19, p.125-140, 2005.
- Hren, J.; Feltz, H. Effects of irrigation on the environment of selected areas of the western united states and implications to world population growth and food production. *Journal of Environmental Management*, v.52, p.353-360, 1998.

- Jury, W.A.; Horton, R. Soil physics. New York: John Wiley & Sons, 2004. 370p
- Karlen, D. L.; Stott, D. E. A framework for evaluating physics and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bezdicek, D. F.; Stewart, B. A. (ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of American, 1994, p.53-71.
- Khan, S.; Tariq, R.; Yuanlai, C.; Blackwell, J. Can irrigation be sustainable? *Agricultural Water Management*, v.80, p.87-99, 2006.
- Klein, V. A.; Libardi, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.857-867, 2002.
- Leite, L. F. C.; Galvão, S. R. S.; Holanda Neto, M. R.; Araújo, F. S.; Iwata, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p. 1273-1280, 2010.
- Levy, G. J.; Eisenberg, H.; Shainberg, I. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. *Soil Science*, v.155, p.15-22, 1993.
- Lima, M. E.; Carvalho, D. F.; Souza, A. P.; Guerra, J. G. M.; Ribeiro, R. L. D. Desempenho da alfaca em cultivo orgânico com e sem cobertura morta e diferentes lâminas d'água. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, p.1503-1510, 2009.
- Longo, R. M.; Melo, W. J. Hidrólise da uréia em latossolos: Efeito da concentração de uréia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.651-657, 2005.
- Mandal, U. K.; Warrington, D. N.; Bhardwaj, A. K.; Bar-Tal, A.; Kautsky, L.; Minz, D.; Levy, G. J. Evaluating impact of irrigation water quality on a calcareous clay soil using principal component analysis. *Geoderma*, v.144, p.189-197, 2008.
- Manlay, R. J.; Feller, C.; Swift, M. J. Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.119, p.217-233, 2007.
- Mazurana, M.; Levien, R.; Müller, J.; Conte, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1197-1206, 2011.
- Meireles, A. C. M.; Andrade, E. M.; Cruz, M. G. M.; Lemos Filho, L. C. A. Avaliação do impacto da fertirrigação em cambissolos na Chapada do Apodi, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v.34, p.207-212, 2003.
- Melo Filho, J. F.; Souza, A. L. V.; Souza, L. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob Floresta Natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1599-1608, 2007.
- Mengel, K.; Kirkby, E.A.; Kosegarten, H.; Appel, T. Principles of plant nutrition. 5.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.
- Michelon, C. J.; Carlesso, R.; Petry, M. T.; Melo, G. L.; Spöhe, R. B.; Andrade, J. G. Qualidade física dos solos irrigados de algumas regiões do Brasil Central. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.39-45, 2009.
- Pohl, M.; Alig, D.; Körner, C.; Rixen, C. Higher plant diversity enhances soil stability in disturbed alpine ecosystems. *Plant and Soil*, v.324, p.91-102, 2009.
- Reicosky, D. C.; Kemper, W. D.; Langdale, G. W.; Douglas, C. L.; Rasmussen, P. E. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.50, p.253-261, 1995.
- Rühlmann, J.; Körschens, M.; Graefe, J. A new approach to calculate the particle density of soils considering properties of the soil organic matter and the mineral matrix. *Geoderma*, v.30, p.272-283, 2006.
- Schaefer, C. E. G. R.; Souza, C. M.; Vallejos, F. J.; Viana, J. H. M.; Galvao, J. C. C.; Ribeiro, L. M. Características da propriedade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.765-769, 2001.
- Srinivasan, M. S.; McDowell, R. W. Irrigation and soil physical quality: An investigation at a long-term irrigation site. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v.52, p. 113-121, 2009.
- Teixeira, L. A. J.; Natale, W.; Ruggiero, C. Alterações em alguns atributos químicos do solo decorrentes da irrigação e adubação nitrogenada e potássica em bananeira após dois ciclos de cultivo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.23, p.684-689, 2001.
- Tisdall, J. M.; Oades, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, v.33, p.141-163, 1982.
- van Diepeningen A. D.; Vos O. J. de; Korthals, G. W.; van Bruggen, A. H. C. Effects of organic versus conventional management on chemical and biological parameters in agricultural soils. *Applied Soil Ecology*, v.31, p.120-135, 2006.
- Yeomans, J. C.; Bremner, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1998.