



ARTIGO CIENTÍFICO

**Atributos do solo em sistemas de cultivo irrigado agroecológico e convencional no Semiárido do Rio Grande do Norte**

***Soil attributes in systems agroecological and conventional irrigated cropping systems in Rio Grande do Norte Semiarid, Brazil***

Fábio dos Santos Santiago<sup>1</sup>, Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>2</sup>, Maria Rafaela de Almeida Pinheiro<sup>3</sup>

**Resumo:** A sustentabilidade dos sistemas agrícolas irrigados na região semiárida passa pela manutenção da capacidade produtiva. O objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade do solo em áreas irrigadas agroecológica e convencional, localizadas na comunidade de Sombras Grandes, Caraúbas, Rio Grande do Norte. Foram coletadas amostras simples de solo (0-20 cm e 20-40 cm) de 2009 a 2012. Utilizaram-se indicadores: físicos: densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), resistência à penetração (RP), relação de água disponível e porosidade total (AD/PT), relação da umidade volumétrica na capacidade de campo e a porosidade total (Uvcc/PT), grau de floculação (GF) e argila dispersa em água (ADA); químicos: pH, fósforo (P), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V), soma de bases (SB), carbono orgânico total (COT), estoque de carbono (Est C), cálcio (Ca<sup>+2</sup>), magnésio (Mg<sup>+2</sup>), potássio (K<sup>+</sup>), sódio (Na<sup>+</sup>), (percentagem de sódio trocável) PST e condutividade elétrica (CE). O teste não paramétrico de Kruskal Wallis, a correlação de Pearson e a análise de componentes principais foram usados para avaliar a qualidade do solo. A SB apresentou correlação significativa e positiva na área agroecológica com V, COT e CTC e na área convencional com V e CTC. A Ds, PT, ADA e GF, COT e Al + H diferiram significativamente e melhores resultados de qualidade do solo foram verificados na área agroecológica (0-20 cm). O Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, CTC, P e SB não foram diferentes e os valores altos verificados mantiveram a fertilidade do solo em ambas as áreas estudadas. A capacidade produtiva do solo é mantida na área agroecológica, sem aplicação de adubos químicos sintéticos.

**Palavras-chave:** Qualidade do solo; Análise multivariada; Indicadores químicos; Indicadores físicos; Agroecologia.

**Abstract:** The sustainability of irrigated agricultural systems in semiarid region is based on the maintenance of its production capacity. The objective of this work was to evaluate soil quality in agroecological and conventional irrigated areas, located in the community of Sombras Grandes, Caraúbas, Rio Grande do Norte. Simple soil samples were collected (at 0-20 cm and 20-40 cm depths) from 2009 to 2012. The quality indicators used were: physical: Bulk density (Bd), Total Porosity (TP), Penetration Resistance (PR), relation of available water soil and total porosity (AWS/TP), relation of MR/TP, Flocculation Degree (FD) and Clay dispersed in water (CDW); chemicals: Hydrogen potential (pH), Phosphorus (P), Cation Exchange Capacity (CEC), Bases Saturation (V), Base Sum (BS), Total Organic Carbon (TOC), Carbon Stock (CS), Calcium (Ca<sup>+2</sup>), Magnesium (Mg<sup>+2</sup>), Potassium (K<sup>+</sup>), Sodium (Na<sup>+</sup>), Exchangeable Sodium Percentage (ESP) and Electric Conductivity (EC). The nonparametric Kruskal Wallis, Pearson's correlation and principal component analysis were used to evaluate soil quality. BS showed significant positive difference in agroecological area with V, TOC and CEC and in conventional area with V and CEC. The Bd, TP, CDW and FD, TOC and Al+H differed significantly and the best soil quality results were found in the agroecological area (0-20 cm). Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, CEC, P and BS were not different and the high values recorded maintained soil fertility in both areas studied. The soil productive capacity in area agroecological was maintained, without the need for chemical fertilizer.

**Key-words:** Soil quality; Multivariate analysis; Chemical indicators; Physical indicators; Agroecology.

\*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 16/10/2017; aprovado em 30/03/2018

<sup>1</sup>Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Coordenador Técnico do Projeto Dom Helder Câmara-Ministério do Desenvolvimento Agrário /Fundo Internacional para Desenvolvimento da Agricultura. Rua Doutor Silva Ferreira, 122, Santo Amaro, CEP 50040130 – Recife, (81)996011716, [fabioirriga@hotmail.com](mailto:fabioirriga@hotmail.com).

<sup>2</sup>PhD em Engenharia Civil pela University of Newcastle Upon Tyne, Professora do Departamento de Engenharia Civil e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco, [suzanam.ufpe@gmail.com](mailto:suzanam.ufpe@gmail.com)

<sup>3</sup>Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Monitora Ambiental do Projeto Dom Helder Câmara-Ministério do Desenvolvimento Agrário/Fundo Internacional para Desenvolvimento da Agricultura, [m.rafaelapinheiro@yahoo.com.br](mailto:m.rafaelapinheiro@yahoo.com.br).



## INTRODUÇÃO

O Semiárido do Nordeste é caracterizado por apresentar balanço hídrico anual deficitário, temperaturas elevadas, solos sensíveis à perda da fertilidade, erosão, salinização e/ou sodificação e compactação. Normalmente os solos são pobres em matéria orgânica e a sua perda contínua acelera os processos de degradação (SANTIAGO, 2015).

Na tentativa de reverter a uma tendência de declínio da qualidade do solo, pesquisadores vêm tentando identificar práticas de manejo do solo adequadas (FREITAS et al., 2012; SOUZA et al., 2013; RAHMANIPOUR et al., 2014). Ferramentas para avaliar a qualidade do solo são necessárias para garantir uma agricultura sustentável e avaliar os efeitos das práticas de gestão sobre os processos do solo (CÂNDIDO, 2014).

Como indicadores de qualidade do solo, linhas de pesquisa têm estudado e proposto: avaliação de atributos químicos e físicos (MATIAS et al., 2012; DANTAS et al., 2012; SILVA et al., 2013; CÂNDIDO, 2014).

A transição de sistemas agrícolas irrigados no Semiárido brasileiro de convencionais para agroecológicos se torna estratégico para resiliência, manutenção e/ou elevação da capacidade produtiva do solo e menor pressão sobre novas áreas da caatinga. As práticas agroecológicas excluem o uso de insumos sintéticos, prevenindo os riscos de intoxicação humana e contaminação dos recursos naturais; e um manejo do solo baseado na fixação de carbono orgânico, ciclagem de nutrientes, proteção e diversidade de cultivo (SANTIAGO, 2015).

Os sistemas agroecológicos são baseados na produção de alimentos saudáveis e na geração de benefícios sociais e econômicos, e vêm se tornando uma alternativa para vários segmentos agrícolas, principalmente aqueles de caráter familiar. Os objetivos desses sistemas são desenvolver ambientes equilibrados com produções sustentáveis, que requeiram baixa utilização de insumos externos, promovendo a fertilidade do solo por meio de sua dinamização biológica e da diversificação dos agroecossistemas. Incluem-se estratégias, como rotações, cultivos de cobertura, consórcios e associações de lavouras com animais (ALTIERI, 2012).

Mota et al (2013), evidenciaram que o decréscimo do teor de matéria orgânica em solos na Chapada do Apodi/RN a partir de diferentes usos e manejos em Cambissolo é elemento sinalizador da necessidade de adoção de práticas agrícolas que evitem o desencadeamento da degradação do solo. Kuwano et al. (2014) observaram que a intensidade do uso do solo pode afetar a capacidade do solo em manter a produtividade do sistema, carbono orgânico e ciclagem de nutrientes. Existem poucos trabalhos científicos que possam comparar a qualidade do solo de sistemas de cultivo irrigado em área de agricultura familiar no Semiárido nordestino. Neste contexto, esse estudo teve como objetivo avaliar a qualidade do solo em sistemas de cultivo irrigado agroecológico comparativamente ao convencional.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi constituído de duas áreas irrigadas de produção agrícola: uma agroecológica e a outra convencional. As áreas estão localizadas na comunidade de agricultores familiares de Sombras Grandes, Caraúbas/RN, latitude de 5° 37'7548" S e longitude de 37° 26'43" W. Os

solos nas áreas experimentais são originados do sedimentar calcário e de acordo com a EMBRAPA (2006) classificados de Cambissolos. A região possui clima semiárido do tipo BShw', com curta estação chuvosa no verão-outono e maiores precipitações nos meses de março e abril e precipitação média anual de 400 a 600 mm (LIRA et al., 2012). As áreas agroecológica e convencional apresentaram água de irrigação classificada em C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>, ou seja, água de salinidade alta e alcalinidade baixa (RICHARDS, 1954). Seguem os históricos das áreas estudadas:

Área agroecológica - Em meados 2006 foi iniciada a produção irrigada agroecológica de hortaliças e frutas em 0,8 ha, com a utilização do sistema de irrigação por microaspersão. Utilizaram-se as seguintes práticas agroecológicas: preparo da terra com arado de aiveca/tração animal e enxada nos canteiros; aplicação de 10 t composto ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 4 t de esterco de gado ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; cobertura morta (palhadas de carnaúba e capim elefante); controle de pragas e doenças com biofertilizante (5%) e urina de vaca (1%); rotação de culturas; pousio e adubação verde; e diversidade de cultivo;

Área convencional - Em 2007 começou a produção de hortaliças irrigadas numa área de 1,0 ha através de sistema de irrigação por aspersão. O uso do trator com grade mecânica foi utilizado anualmente para revolvimento do solo e confecção dos canteiros. Houve aplicação anual de adubo químico com 180 Kg de N ha<sup>-1</sup>, 120 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, utilizando como fontes ureia, cloreto de potássio e superfosfato simples, respectivamente. Anualmente aplicaram-se em média 2 t de esterco bovino. No controle de pragas e doenças foram utilizados os agrotóxicos Deltametrina (Decis) e Folidol.

No período de 2009 a 2012, utilizou-se uma malha amostral de 0,5 ha tanto para a área agroecológica quanto para a área convencional. Foram coletadas amostras simples de solo (deformadas e indeformadas) em 5 pontos equidistantes entre si (10 metros), georreferenciados, em transecto, a cada ano, totalizando 40 amostras de solo nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm para cada uma das áreas em estudo.

Alguns dos indicadores não apresentaram distribuição normal, então, foi utilizado o teste estatístico não paramétrico, com auxílio do STATISTICA 10, através da análise de variância pelo método de Kruskal Wallis com 5% e 1% de significância, em que a fonte de variação foi relativa aos tratamentos (áreas agroecológica e convencional).

A correlação de Pearson foi usada para verificar a associação entre indicadores partir dos históricos das áreas. Complementarmente, foi aplicada a técnica de análise de componentes principais (PC) da estatística multivariada, com objetivo de verificar simultaneamente os indicadores que foram mais sensíveis. Foram considerados para efeito de avaliação dos PCs que apresentaram autovalores ( $\lambda$ )  $\geq 1$  e variação acumulada  $\geq 70\%$ . Os autovalores ( $v$ ) representam a variação da combinação linear de todos os indicadores num PC. Os autovetores se associam aos coeficientes de variabilidade do indicador (variável transformada) dentro de um PC, e serão considerados de elevada relevância aqueles que forem  $\geq 0,7$  em valor absoluto. Estes parâmetros foram adaptados aos utilizados por Rahmanipour et al. (2014).

Foram utilizados os indicadores de qualidade: físicos: composição granulométrica, densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), argila dispersa em água (ADA), grau

de floculação (GF), resistência à penetração (RP), água disponível (AD), armazenamento de água no solo (AD/PT) e retenção de água em -33Kp (U<sub>vcc</sub>/PT); e químicos: pH, Ca, Mg, K, Na, P assimilável, soma de bases (SB), acidez potencial (Al + H), saturação de bases (V), capacidade de troca catiônica (CTC), carbono orgânico total (COT), condutividade elétrica (CE) e percentagem de sódio trocável (PST).

As análises de granulometria e a argila dispersa em água (ADA) foram realizadas pelo método do densímetro; a densidade do solo (Ds) pelo método do cilindro volumétrico (amostra indeformada); a densidade das partículas (Dp) através do balão volumétrico. A porosidade total (PT) foi calculada através da relação entre Ds e Dp. O grau de floculação (GF) em função da argila total e ADA. A umidade percentual volumétrica na capacidade de campo (CC) (- 33 kPa) e ponto de murcha permanente (PMP) (-1.500 kPa), através da câmara de Richards com placas porosas (amostra indeformada). A água disponível foi calculada pela diferença entre a CC e PMP (EMBRAPA, 2009).

As análises químicas foram realizadas em amostras simples de solo deformadas. O pH foi medido em água (1:2,5); extraído o P disponível com Mehlich<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 2006) e dosado por calorimetria (BRAGA; DEFELIPO, 1974); determinado o carbono orgânico total (COT) pelo método Walkley e Black (1934), descrito por Mendonça e Matos (2005); os cátions trocáveis Ca, Mg, K e Na foram extraídos com solução de acetato de amônio (1 mol L<sup>-1</sup>) e determinados Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica e K e Na por fotometria de emissão de chama; a acidez potencial (H + Al) foi determinada conforme a EMBRAPA (2009). Mediante os resultados dos indicadores químicos foram calculadas a SB, CTC, V e PST (EMBRAPA, 2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As áreas agroecológica e convencional apresentaram classe textural franco-arenosa nas camadas estudadas (0-20 cm e 20-40 cm) (EMBRAPA, 2006) (Tabela 1). Os sistemas

de cultivo foram significativamente diferentes quanto a Ds ( $p \leq 0,01$ ). A área agroecológica apresentou valores menores de Ds (1,32 g cm<sup>-3</sup>; 1,49 g cm<sup>-3</sup>) em relação à área convencional (1,60 g cm<sup>-3</sup>; 1,62 g cm<sup>-3</sup>), 0-20 cm e 20-40 cm, respectivamente (Tabelas 2 e 3).

Na área convencional, nas camadas estudadas, os valores de Ds apresentaram indícios de compactação, que se pode associar à passagem de máquinas agrícolas de forma mais intensa, menor aporte de resíduos orgânicos, aplicação continuada de fertilizantes químicos que estimulam a atividade microbiana do solo na redução do COT e maior quantidade de teores de silte (0-20 cm e 20-40 cm).

Camargo e Alleoni (1997) assinalaram como crítico, em solos variando de franco-argilosos a argilosos, o valor de densidade na ordem de 1,55 g cm<sup>-3</sup> já que apresenta problemas de enraizamento para as culturas. Os valores de Ds seguiram a tendência de aumentar em profundidade para ambos os sistemas de cultivo, associado à diminuição do carbono orgânico total (COT) (Tabelas 2 e 3).

Foi observada correlação significativa ( $p \leq 0,01$ ) e negativa entre a Ds e o COT ( $r = -0,70$ ) na profundidade de 0-20 cm na área agroecológica (Tabela 4), evidenciando que o manejo agroecológico aporta maiores resíduos orgânicos e a menor passagem de máquinas e implementos agrícolas são práticas benéficas para o solo. Este resultado corrobora Cunha et al. (2011) que verificaram a diminuição da Ds com o aumento do COT em tratamentos com produção orgânica utilizando adubação verde com cobertura do solo. Esse mesmo comportamento foi verificado por Obade e Lal (2014), em que encontraram significância ( $p \leq 0,05$ ) e correlação negativa entre Ds e COT em sistemas conservacionistas com milho ( $r=-0,52$ ), soja ( $r=- 0,65$ ) e combinação de milho com soja ( $r=-0,55$ ).

A redução da Ds contribui para melhorar a estrutura, aeração, infiltração de água nas camadas superficiais e enraizamento radicular e, por outro lado, reduzir o adensamento das partículas do solo (compactação), fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das culturas.

**Tabela 1.** Composição granulométrica dos solos nas áreas Agroecológica e Convencional na comunidade rural de Sombras Grandes, Caraúbas, Rio Grande do Norte.

Indicador	Profundidade (cm)	Sistemas de cultivo	
		Área agroecológica	Área convencional
		Média	Média
Areia Grossa (%)	0 - 20	54,74	30,27
	20 - 40	52,74	30,03
Areia Fina (%)	0 - 20	26,34	39,43
	20 - 40	26,21	39,69
Silte (%)	0 - 20	6,58	19,22
	20 - 40	4,31	17,73
Argila (%)	0 - 20	12,34	11,07
	20 - 40	16,74	12,55

**Tabela 2.** Estatística descritiva de indicadores físicos e químicos nas áreas agroecológica e convencional (0-20 cm).

Sistema de Cultivo	Variável	pH	Ca	Mg	K	Na	Al+H	SB	V	COT	CTC	PST	CE	P	Ds	PT	ADA	GF	AD
			(cmol(+)/Kg)					(%)		(g/Kg)	(cmol(+)/Kg)	(%)	(dS/m)	(mg/Kg)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)			
Área agroecológica (n=20)	Mínimo	7,14	1,90	0,70	0,00	0,00	1,79	4,37	68,59	6,50	6,37	0,00	0,00	0,83	1,12	35,16	1,02	0,08	2,14
	Média	7,79	8,67	3,69	0,57	0,73	1,93	13,66	85,62	14,14	15,59	4,64	1,99	111,23	1,32	50,02	5,58	54,73	5,16
	Mediana	7,70	6,90	3,05	0,42	0,34	1,90	12,99	86,85	14,73	15,04	2,18	2,22	115,50	1,34	50,00	4,92	60,84	4,55
	Máximo	8,45	17,60	9,40	1,87	3,09	2,10	27,97	93,64	23,83	29,87	15,40	3,60	279,05	1,57	57,25	11,76	88,90	11,27
	Desvio Padrão	0,35	4,14	2,14	0,51	0,90	0,11	5,59	6,28	5,06	5,55	5,23	1,08	87,38	0,13	5,20	3,41	23,15	2,18
	Coefficiente de Variação (%)	4,54	47,82	58,13	88,72	123,15	5,59	40,91	7,33	35,81	35,61	112,65	54,05	78,56	9,61	10,40	61,19	42,30	42,18
	Assimetria	0,28	0,56	1,08	1,15	1,71	0,25	0,60	-1,42	0,41	0,60	1,49	-0,31	0,33	-0,15	-0,89	0,65	-0,65	1,06
Área convencional (n=20)	Mínimo	6,22	4,30	0,60	0,10	0,10	1,85	7,20	75,78	2,32	9,20	0,70	0,60	0,00	1,47	30,94	4,13	0,00	2,80
	Média	7,09	7,74	3,31	1,10	0,70	2,21	12,85	84,00	7,08	15,06	4,73	1,79	160,55	1,60	37,95	7,99	25,99	8,20
	Mediana	7,01	6,50	2,60	0,30	0,55	2,24	10,80	83,45	5,80	13,05	3,51	1,55	105,00	1,63	37,95	7,26	25,05	6,68
	Máximo	8,05	15,75	7,50	3,96	3,04	3,10	26,55	92,96	13,00	28,56	21,16	4,70	796,75	1,66	44,36	12,42	56,98	22,60
	Desvio Padrão	0,54	3,46	1,69	1,17	0,63	0,27	5,12	4,36	2,80	5,15	5,23	1,07	187,06	0,06	3,26	2,40	20,09	4,78
	Coefficiente de Variação (%)	7,60	44,66	51,19	106,08	90,74	12,28	39,83	5,18	39,50	34,16	112,65	59,56	116,51	3,70	8,59	30,01	77,31	58,30
	Assimetria	0,25	1,35	0,84	0,96	2,61	1,68	1,42	0,22	0,64	1,40	2,89	1,19	2,23	-0,92	0,05	0,43	-0,08	1,80
Nível de Significância	p	0,00**	0,30	0,54	0,52	0,26	0,00**	0,48	0,1	0,00**	0,55	0,14	0,48	0,83	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,01*

\* p ≤ 0,05; \*\* p ≤ 0,01, nível de significância (dois asteriscos) maior pelo Teste de Kruskal-Wallis. pH: potencial hidrogeniônico; Ca: Cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; Na: sódio; Al+H: alumínio e hidrogênio; COT: carbono orgânico total; CTC: capacidade de troca catiônica; PST: percentagem de sódio trocável; CE: condutividade elétrica; P: fósforo; PT: porosidade total; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de flocculação; AD: água disponível

**Tabela 3.** Estatística descritiva e comparação de médias de indicadores físicos e químicos nas áreas agroecológica e convencional (20-40 cm).

Sistema de Cultivo	Variável	pH	Ca	Mg	K	Na	Al+H	SB	V	COT	CTC	PST	CE	P	Ds	PT	ADA	GF	AD
			(cmol(+)/Kg)					(%)		(g/Kg)	(cmol(+)/Kg)	(%)	(dS/m)	(mg/Kg)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)			
Área agroecológica (n=20)	Mínimo	7,49	1,50	0,50	0,00	0,00	1,60	3,56	66,40	1,65	5,36	0,00	0,36	0,57	1,19	34,38	1,01	0,00	2,40
	Média	7,92	5,06	2,39	0,47	0,16	1,83	8,08	79,60	6,55	9,92	1,54	1,88	79,80	1,49	43,52	8,44	41,61	6,03
	Mediana	7,90	4,70	2,00	0,43	0,12	1,80	7,55	81,18	6,09	9,30	1,35	1,54	54,63	1,49	43,60	7,76	37,68	5,24
	Máximo	8,58	12,60	6,40	1,28	0,41	2,10	19,81	91,25	14,63	21,71	3,35	6,90	473,00	1,64	54,49	17,76	88,90	13,38
	Desvio Padrão (%)	0,29	2,36	1,52	0,40	0,12	0,12	3,44	6,45	2,88	3,43	0,86	1,49	101,35	0,11	4,63	4,51	33,23	3,35
	Coefficiente de Variação (%)	3,65	46,65	63,43	85,00	75,27	6,37	42,57	8,10	44,03	34,59	56,17	78,93	126,99	7,54	10,65	53,42	79,85	55,65
	Assimetria	0,71	1,62	0,94	0,58	0,90	0,29	1,89	-0,60	0,92	1,95	0,36	2,27	3,11	-0,85	0,33	0,20	0,14	0,96
Área convencional (n=20)	Mínimo	6,56	3,70	0,60	0,00	0,10	1,90	6,40	75,29	0,84	8,50	0,89	0,20	2,97	1,47	27,69	4,04	0,00	3,40
	Média	7,27	7,82	3,43	1,34	2,36	2,26	14,94	85,37	5,01	17,20	11,06	1,25	218,75	1,62	37,83	10,15	17,93	7,33
	Mediana	7,31	7,00	2,80	0,80	0,65	2,10	14,44	85,55	5,22	16,89	3,47	1,10	104,77	1,65	37,35	9,66	18,31	7,22
	Máximo	8,07	14,25	8,70	6,29	15,83	2,93	25,89	91,85	8,64	28,19	56,16	3,60	1982,33	1,80	45,99	18,76	56,88	18,08
	Desvio Padrão (%)	0,40	3,14	2,10	1,56	3,60	0,29	5,67	4,97	1,98	5,73	13,94	0,72	427,44	0,09	4,60	3,78	17,64	3,38
	Coefficiente de Variação (%)	5,47	40,18	61,33	116,69	152,79	12,97	37,92	5,82	39,58	33,32	126,05	58,08	195,40	5,42	12,15	37,20	98,36	46,05
	Assimetria	0,09	0,72	0,85	1,70	2,87	0,98	0,18	-0,59	-0,26	0,15	2,10	1,73	3,81	-0,32	0,02	0,70	0,59	1,86
Nível de Significância	p	0,00*	0,00**	0,116	0,136	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,123	0,00**	0,00**	0,088	0,088	0,00**	0,00**	0,168	0,02*	0,079

\* p ≤ 0,05; \*\* p ≤ 0,01, nível de significância (dois asteriscos) maior pelo Teste de Kruskal-Wallis. pH: potencial hidrogeniônico; Ca: Cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; Na: sódio; Al+H: alumínio e hidrogênio; COT: carbono orgânico total; CTC: capacidade de troca catiônica; PST: percentagem de sódio trocável; CE: condutividade elétrica; P: fósforo; PT: porosidade total; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de flocculação; AD: água disponível

Os valores de PT do solo foram significativamente diferentes ( $p \leq 0,01$ ) entre os sistemas de cultivo estudados. A área agroecológica apresentou valores maiores de PT (50,02%; 43,52%) que a área convencional (37,95%; 37,83%) nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm, respectivamente (Tabelas 2 e 3). A PT apresentou correlação significativa ( $p \leq 0,01$ ) e negativa ( $r=-0,94$ ) na área agroecológica camada 0-20 cm (Tabela 4), ou seja, na medida em que aumenta a PT há uma tendência de diminuir a Ds.

Na área agroecológica, na camada 0-20 cm, a PT apresentou correlação significativa ( $p \leq 0,01$ ) e positiva ( $r=0,70$ ) com o COT (Tabela 2 e Figura 2), demonstrando que o aumento de COT através de práticas agrícolas que incrementem resíduos orgânicos contribui diretamente para elevação da PT. Este resultado é de relevância quando se trata de solos susceptíveis à compactação como os do semiárido. Foi verificado ainda que a redução da PT em profundidade segue a diminuição do COT nas áreas agroecológica e convencional (Tabelas 2 e 3). Os resultados obtidos seguiram o mesmo comportamento verificado por VASCONCELOS et al. (2014), onde houve aumento da PT em tratamentos submetidos a práticas de cobertura do solo com resíduos orgânicos devido à elevação do COT. OBADE & LAL (2014) verificaram mesma tendência entre a PT e o COT em tratamentos submetidos a práticas de maior incremento de resíduos orgânicos, apresentando correlação significativa e positiva.

Os valores de AD apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,01$ ) entre os sistemas de cultivo apenas na camada 0-20 cm, sendo que a área convencional (8,20%) apresentou maior valor em relação à área agroecológica (5,16%) (Tabela 2). Nesta camada, a área convencional apresentou valores de AD com correlação significativa ( $p \leq 0,05$ ) e negativa ( $r=-0,50$ ) com a PT, ou seja, na medida em que diminui a PT há tendência de aumentar a AD (Tabela 5); ainda, apresentou valores de correlação significativa ( $p \leq 0,01$ ) e positiva com COT ( $r=0,65$ ) e este com GF ( $r=0,62$ ), evidenciando a proporcionalidade direta destes indicadores na elevação da AD (Tabela 5). Infere-se que menor PT e maior Ds influenciaram na distribuição de poros do solo, fazendo aumentar a microporosidade (retenção de água) e diminuir a macroporosidade (percolação de água). Esse fenômeno pode proporcionar o aumento da água disponível (AD), pois há elevação de poros menores que contribuem para maior retenção de água e, conseqüentemente, maior armazenamento de água no solo.

Os valores de pH encontrados nos tratamentos (A e C) estão em consonância com altos teores de cátions básicos ( $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ ) e baixos teores de acidez potencial ( $\text{H} + \text{Al}$ ) (Tabelas 2 e 3). Na área agroecológica, o pH apresentou correlação significativa ( $p \leq 0,01$ ) e positiva com anos na camada de 0-20 cm ( $r=0,64$ ) (Tabela 4), ou seja, na medida que os anos passam o pH tende a subir. Ao mesmo tempo, houve correlação significativa ( $p \leq 0,01$ ) e positiva com anos e SB ( $r=0,68$ ), V ( $r=0,63$ ) e CTC ( $r=0,67$ ); e negativa com ADA ( $r=-0,45$ ) (Tabela 4).

O manejo da irrigação não afetou os solos quanto à concentração excessiva de sais nas áreas agroecológica e convencional (0-20 cm e 20-40 cm). Os valores encontrados nas áreas agroecológica e convencional revelaram CE em concentração mediana de sais solúveis, a PST abaixo dos 15%, pH inferior a 8,5, caracterizando-as como isentas de riscos de salinização nas camadas estudadas (Tabelas 2 e 3).

Conforme Richards (1954), os solos podem ser considerados salinos quando a CE é igual ou maior que  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , a PST menor que 15% e pH menor que 8,5.

A MOS possui a função de complexar os cátions  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{+3}$  livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e adicionar bases ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{K}^+$ ) que reduzem a acidez do solo e aumentam o pH (BRADY; WEIL, 2013). Lira et al. (2012) verificaram baixos teores de acidez potencial em solos da chapada do Apodi/RN e relacionaram que a presença de ácidos orgânicos complexam o  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{+3}$  livres e contribuem para elevar a CTC através Ca, Mg e K via resíduos orgânicos.

A dinâmica do pH na área agroecológica é associada com a água de irrigação e maiores aportes de resíduos orgânicos que contribuíram para elevar o pH ao longo do tempo. Iwata et al. (2012) verificaram a elevação do pH sob sistema agroflorestal no cerrado piauiense com aumento do COT. Obade e Lal (2014) obtiveram correlações significativas ( $p \leq 0,01$ ) e positiva entre pH e COT em áreas conservacionistas com milho ( $r=0,23$ ), soja ( $r=0,45$ ) e milho e soja ( $r=0,27$ ), evidenciando a elevação do pH com o aumento do COT.

Os valores de soma de bases (SB) foram elevados nas áreas agroecológica e convencional (0-20 cm e 20-40 cm) (Tabelas 2 e 3), conforme Embrapa (2006). Houve diferença significativa ( $p \leq 0,01$ ) apenas na camada 20-40 cm, onde a área convencional teve SB de  $14,94 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e a área agroecológica de  $8,08 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Tabela 3). Nas áreas em estudo foi verificada a correlação significativa ( $p \leq 0,01$ ) e positiva entre SB e anos (Tabelas 4 e 5). A SB apresentou correlação significante ( $p \leq 0,01$ ) e positiva com a V, COT e CTC; enquanto na área convencional com V e CTC. (Tabelas 4 e 5).

Os solos nas áreas agroecológica e convencional apresentaram valores altos de V nas profundidades analisadas, considerados eutróficos, ou seja, V maior que 50%, e diferença significativa ( $p \leq 0,01$ ) na camada de 20-40 cm (Tabelas 2 e 3). Houve correlação significativa ( $p \leq 0,01$ ) e positiva da V com a CTC e COT tanto na área agroecológica quanto na área convencional (Tabelas 4 e 5). Este comportamento foi verificado por LIRA et al. (2012) em estudos da avaliação da qualidade química de solos na Chapada do Apodi-RN, que além do manejo, o material de origem dos solos e as concentrações de cátions básicos presentes na água da irrigação contribuem para a elevação da V. Tem-se que a V é um excelente indicador de avaliação da fertilidade do solo, por reunir em termos estequiométricos macronutrientes (Ca, Mg e K) essenciais para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Não houve diferença significativa do P assimilável entre os sistemas de cultivo nas camadas analisadas. Por outro lado, os valores foram considerados altos (EMBRAPA, 2006). Na área agroecológica, foram registrados valores de  $111,23 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $79,80 \text{ mg kg}^{-1}$ , e na área convencional  $160,55 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $218,75 \text{ mg kg}^{-1}$ , nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, respectivamente (Tabelas 2 e 3). Estes valores de P foram bem superiores aos encontrados por Lira et al. (2012) em áreas com manejo da caatinga na Chapada do Apodi/RN ( $13,76 \text{ mg kg}^{-1}$ ) sem atividade agrícola. Provavelmente a elevação dos teores de fósforo na área agroecológica está relacionada com a aplicação continuada de resíduos orgânicos e na área convencional com esterco de gado e fertilizantes fosfatados. Segundo Brady e Weil (2013), a dinâmica de P no solo tem ligação direta com a MOS na regulação deste nutriente

fundamental para a fertilidade do solo e as plantas. Lourente et al. (2011) observaram correlação significativa ( $p \leq 0,01$ ) e positiva ( $r=0,41$ ) do P com o COT em tratamentos com sistemas conservacionistas, evidenciando que há comportamento similar de elevação tanto para o P quanto para o COT.

O COT foi significativamente ( $p \leq 0,01$ ) diferente entre as áreas agroecológica e convencional apenas na camada 0-20 cm. Na área agroecológica, foi encontrado maior valor ( $14,14 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação à área convencional ( $7,08 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Tabela 2). Giongo et al. (2011) encontraram em áreas de roçado com manejo agroecológico valores médios de COT de  $10,62 \text{ g Kg}^{-1}$ .

A CTC apresentou valores altos tanto na área agroecológica ( $15,59 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ ) quanto na área convencional ( $15,06 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ ) na camada 0-20 cm (EMBRAPA, 2006) (Tabela 2). Houve diferença significativa ( $p \leq 0,01$ ) entre as áreas agroecológica e convencional apenas na camada 20-40 cm (Tabelas 2 e 3), influenciado principalmente pelos altos valores de Ca e Mg. Na área agroecológica, camada 0-20 cm, houve correlação significativa ( $p \leq 0,01$ ) e positiva entre COT e CTC ( $r=0,71$ ), ou seja, na medida em que o COT se eleva a CTC segue esse mesmo comportamento (Tabela 4).

**Tabela 4.** Coeficientes de correlação de indicadores químicos e físicos na área agroecológica (0-20 cm).

	Anos	pH	SB	V	CTC	COT	PST	PT	Ds	ADA	GF
Anos	1	0.64**	0.68**	0.63**	0.67**	ns	ns	ns	ns	-0.45*	ns
pH	ns	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SB	ns	ns	1	0.89**	1.00**	0.71**	ns	0.44*	ns	ns	ns
V	ns	ns	ns	1	0.88**	0.66**	ns	0.45*	ns	ns	ns
CTC	ns	ns	ns	ns	1	0.71**	ns	ns	ns	ns	ns
COT	ns	ns	ns	ns	ns	1	ns	0.70**	-0.70**	ns	ns
PST	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1	ns	ns	0.85**	-0.55*
PT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1	-0.94**	-0.49*	ns
Ds	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1	ns	ns
ADA	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1	-0.73**
GF	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1

ns: não significativo; \*: significativo a 5% de significância; \*\*: significativo a 1% de significância. pH: potencial hidrogeniônico; SB: soma de bases; V: saturação de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; COT: carbono orgânico total; PST: porcentagem de sódio trocável; PT: porosidade total; Ds: densidade do solo; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação.

**Tabela 5.** Coeficientes de correlação de indicadores químicos e físicos na área convencional (0-20 cm).

	Anos	pH	SB	V	CTC	COT	PST	PT	Ds	ADA	GF	AD
Anos	1	ns	0.74**	0.58**	0.75**	ns	ns	0.49	ns	ns	ns	ns
pH	ns	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SB	ns	ns	1	0.90**	1.00**	ns	ns	0.57**	-0.47*	ns	ns	ns
V	ns	ns	ns	1	0.88**	0.49*	ns	0.45*	-0.49*	ns	ns	ns
CTC	ns	ns	ns	ns	1	ns	ns	0.59**	-0.47*	ns	ns	ns
COT	ns	ns	ns	ns	ns	1	ns	ns	ns	ns	0.62**	0.65**
PST	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1	ns	ns	ns	ns	0.56*
PT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1	-0.60**	ns	ns	-0.50*
Ds	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1	ns	ns	ns
ADA	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1	-0.71**	ns
GF	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1	ns
AD	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1

ns: não significativo; \*: significativo a 5% de significância; \*\*: significativo a 1% de significância. pH: potencial hidrogeniônico; SB: soma de bases; V: saturação de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; COT: carbono orgânico total; PST: porcentagem de sódio trocável; PT: porosidade total; Ds: densidade do solo; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação.

Com o aumento do COT, há tendência de elevar as cargas negativas do solo e, por consequência, a capacidade de adsorção de cátions, elevando assim a CTC. Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato da MOS apresentar carga variável negativa e tem a sua origem na dissociação das hidroxilas. Os grupos carboxílicos são os mais importantes como fontes de cargas negativas, sendo os alcoólicos de menor importância pela baixa capacidade de ionização (BRADY; WEIL, 2013).

Segundo Raij (1969) a contribuição média da matéria orgânica para a CTC de horizontes superficiais de solos tropicais é superior a 70%. Santos et al. (2009) verificaram alta correlação entre carbono orgânico e CTC em solos do Estado de Alagoas, indicando que as propriedades de trocas estão relacionadas principalmente ao carbono orgânico e ao conteúdo de argila do solo. Os resultados encontrados se

assemelham com os de Niero et al. (2010), que verificaram valores mais altos de CTC em sistemas de cultivo que aumentaram a MOS.

É possível observar-se os valores dos coeficientes de correlação das variáveis de maior peso aos quatro primeiros componentes principais (PC's), bem como os autovalores de cada fator na Tabela 6. Na área agroecológica, camada 0-20 cm, forneceu 17 PC's (17 fatores) dos quais se extraíram os quatro primeiros que de forma acumulada explicaram 86,40% da variação total (Tabela 6). O fator 1 foi o PC que explicou 34,20 % da variância total e apresentou variáveis químicas do solo com correlação positiva e significativa simultaneamente com o manejo agroecológico do solo (área agroecológica): Mg (0,716946), SB (0,849990), V (0,821112), CTC (0,848423), COT (0,859802), Est C (0,825854) e PT (0,776193) (Tabela 6). Portanto, as práticas agrícolas na área

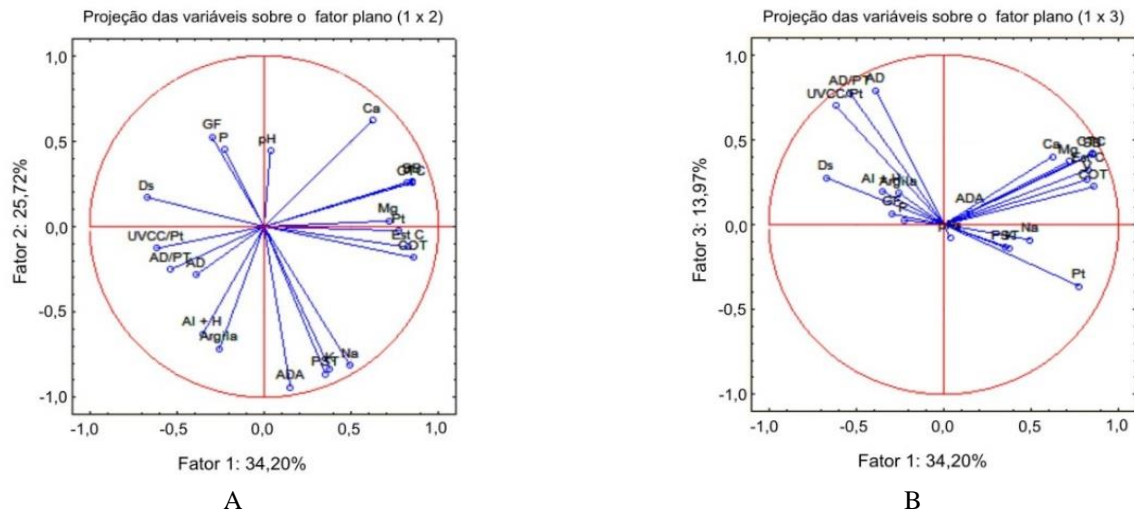
agroecológica foram suficientes para afetar positivamente estas variáveis importantes na manutenção e/ou elevação da capacidade produtiva do solo.

O diagrama de vetores na área agroecológica (Figura 1A e 1B) mostra a sensibilidade dos indicadores numa correlação bidimensional entre os fatores 1 e 2 e 1 e 3. Os fatores correspondem aos vetores de sensibilidade, utilizando um indicador com os demais ao mesmo tempo. Assim, é possível observar a variabilidade de um indicador numa relação multivariada. A ADA se aproximou do círculo -1, ou seja, as práticas agroecológicas afetaram negativamente a ADA (Figura 1A). Neste sentido, a ADA tende a diminuir na área

agroecológica e, por outro lado, variáveis como Mg e Ca, Est C, CTC e COT se aproximaram do índice + 1 (Figura 1A), evidenciando a sensibilidade positiva. Quanto mais próximo de +1, melhor será o impacto do uso e manejo no indicador, e, enquanto, mais próximo de -1, pior será a qualidade do solo.

Na área agroecológica, fator 2, a variância explicada foi de 25,72% e a acumulada dos fatores 1 e 2 foi 59,92% (Tabela 6). As variáveis K, Na, PST, argila e ADA apresentaram correlações negativas com o sistema de cultivo da área agroecológica, com destaque para ADA que apresentou maior carga (-0,939711) (Tabela 6).

**Figura 1.** Diagrama de ordenação de indicadores nos fatores 1 e 2 (A) e 1 e 3 (B) na área agroecológica (0-20 cm).



**Tabela 6.** Correlação de indicadores com os componentes principais e autovalores nas áreas agroecológica e convencional (0-20 cm).

Variável	Sistema de Cultivo									
	Área agroecológica				Área convencional					
	F1 <sup>(1)</sup>	F2 <sup>(1)</sup>	F3 <sup>(1)</sup>	F4 <sup>(1)</sup>	F1 <sup>(1)</sup>	F2 <sup>(1)</sup>	F3 <sup>(1)</sup>	F4 <sup>(1)</sup>	F5 <sup>(1)</sup>	
pH	0,036304	0,443823	-0,075604	<b>0,769427</b>	-0,124550	-0,076887	-0,135575	<b>0,900938</b>	0,102330	
Ca	0,621667	0,621135	0,401564	0,101654	0,655846	-0,646360	0,107211	0,155108	-0,119205	
Mg	<b>0,716946</b>	0,033084	0,371692	0,076657	0,433216	<b>-0,811306</b>	-0,139475	0,009441	-0,114149	
K	0,378616	<b>-0,836892</b>	-0,137324	0,054974	-0,628286	-0,594707	-0,250146	0,086968	0,154048	
Na	0,492800	<b>-0,811472</b>	-0,089409	0,055267	-0,424585	-0,359542	0,695378	0,131736	-0,339320	
Al + H	-0,353356	-0,630943	0,198570	-0,036500	0,465614	0,148456	0,038057	-0,359048	-0,611503	
SB	<b>0,849990</b>	0,266619	0,413606	0,118702	0,390483	<b>-0,885439</b>	0,055486	0,144137	-0,125237	
V	<b>0,821112</b>	0,259924	0,265753	-0,016803	0,144978	<b>-0,933019</b>	0,028232	0,193960	0,044630	
CTC	<b>0,848423</b>	0,255999	0,420059	0,118734	0,412912	<b>-0,872665</b>	0,057188	0,124362	-0,156852	
COT	<b>0,859802</b>	-0,182456	0,223647	-0,312141	-0,593032	-0,659522	-0,352233	-0,050687	-0,102889	
Est C	<b>0,825854</b>	-0,120122	0,323065	-0,219877	-0,644817	-0,630584	-0,309141	-0,020543	-0,105775	
PST	0,351877	<b>-0,862822</b>	-0,135739	0,088741	-0,566095	-0,114881	0,689606	0,121706	-0,308912	
P	-0,229681	0,451682	0,026333	<b>-0,831801</b>	0,535023	-0,543116	0,250429	-0,244478	0,220944	
PT	<b>0,776193</b>	-0,024140	-0,363756	-0,319335	<b>0,790451</b>	-0,352596	-0,132973	-0,158435	-0,137468	
Ds	-0,673408	0,171814	0,275824	0,506225	-0,239920	0,552159	0,458127	0,256720	0,135649	
Argila	-0,255624	<b>-0,716577</b>	0,186196	-0,518281	-0,614136	0,001379	-0,601254	-0,002903	-0,166395	
ADA	0,150364	<b>-0,939711</b>	0,079950	0,154668	0,066595	0,546139	-0,470135	0,257543	-0,523860	
GF	-0,299593	0,524306	0,063895	-0,640221	-0,497710	-0,610065	0,026862	-0,285538	0,421783	
AD	-0,389116	-0,282738	<b>0,790674</b>	0,074564	<b>-0,852582</b>	-0,332468	0,123103	-0,135807	-0,117606	
AD/PT	-0,534915	-0,251113	<b>0,773735</b>	0,095600	<b>-0,888624</b>	-0,248873	0,121420	-0,091610	-0,089307	
Uvcc/PT	-0,618936	-0,128153	<b>0,701614</b>	-0,249121	<b>-0,919009</b>	-0,007576	0,004694	-0,145124	-0,181620	
Autovalor	7,18	5,40	2,93	2,63	6,82	6,42	2,20	1,43	1,33	
Varição total (%)	34,20	25,72	13,97	12,51	32,46	30,55	10,49	6,80	6,34	
Varição acumulada (%)	34,20	59,92	73,89	86,40	32,46	63,01	73,50	80,30	86,64	

<sup>(1)</sup>Fatores  $\geq 1$  0,70 I são significativos (Manly, 2008). pH: potencial hidrogeniônico; Mg: magnésio; K: potássio; Na: sódio; PST: percentagem de saturação de sódio; PT: porosidade total; ADA: argila dispersa em água; AD: água disponível; Uvcc/PT: relação da umidade volumétrica na capacidade de campo pela porosidade total; AD/PT: relação da água disponível pela porosidade total.



No fator 3, variância correspondeu a 13,97% e acumula de 73,89%. As variáveis de maiores contribuições foram AD (0,790674), AD/PT (0,773735) e Uvcc/PT (0,701614). O maior destaque foi AD, demonstrando uma correlação significativa e positiva da AD com práticas agroecológicas realizadas na área agroecológica, onde a aplicação de resíduos orgânicos de forma continuada favorece o armazenamento de água do solo (AD/PT) e retenção de umidade na capacidade de campo (Uvcc/PT) (Figura 1B). É possível observar a dispersão das variáveis na combinação dos fatores 1 e 3 na área agroecológica, com destaque para a evolução positiva de indicadores relacionadas com armazenamento de água do solo como ADA, AD/PT e Uvcc/PT que se aproximam do círculo de variação +1 (Figura 1B).

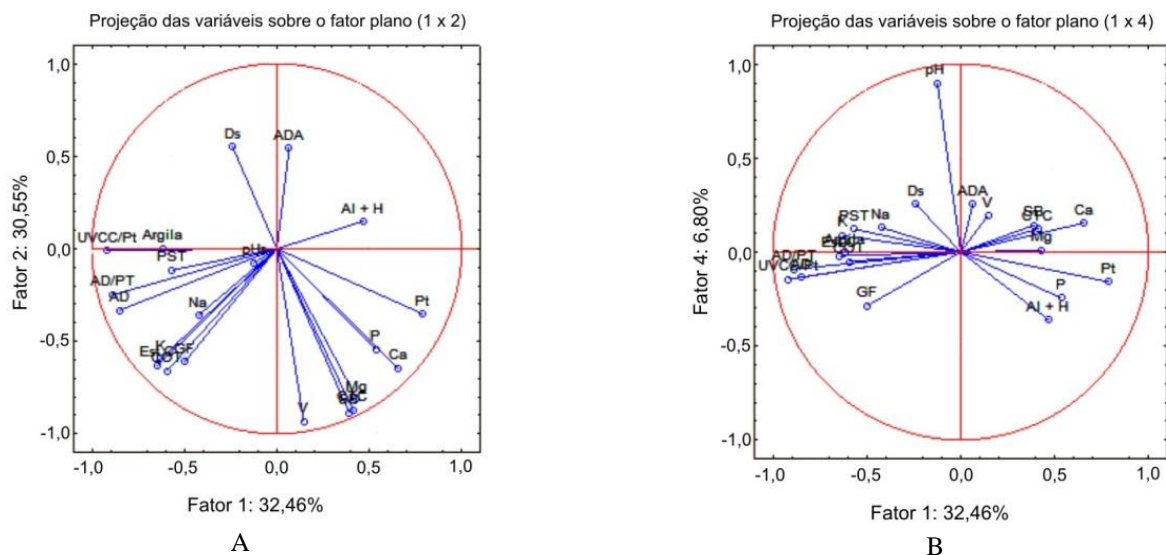
Na área agroecológica, o fator 4 resultou numa variância de 12,51% e acumulada de 86,40%. Neste o pH (0,769427) se mostrou com correlação significativa ( $p \leq 0,01$ ) e positiva com uso e manejo na área agroecológica, ou seja, há tendência de aumentar através dos anos (Tabela 6).

Na área convencional, o fator 1 explicou 32,46% da variabilidade dos dados e apresentou maiores correlações

significativas ( $p \leq 0,01$ ) e negativas com variáveis físicas como a AD (-0,852582), AD/PT (-0,888624), Uvcc/PT (-0,919009) (Tabela 6). O fator 2 a variação do PC representou 30,55% e acumulada de 63,01%. Houve correlação negativa com SB (-0,885439), V (-0,933019), CTC (-0,872665) e Mg (-0,811306), onde uso e manejo convencional afetou negativamente principais indicadores físicos e de fertilidade do solo (Tabela 6). Isso é verificado o aumento de cátions básicos na camada de 20-40 cm, provavelmente pelo processo de lixiviação do solo. Portanto, a adoção de práticas de maior aporte de resíduos orgânicos pode mitigar tais efeitos.

Na área convencional, o diagrama de ordenação mostra as correlações negativas entre os fatores 1 e 2, como AD, AD/PT, Uvcc/PT e SB, V, CTC e Mg que se aproximaram de -1 (Figura 2). O destaque da correlação significativa e positiva com o manejo convencional foi o pH (0,900938). A explicação é que neste manejo foi usado além o uso de fertilizantes químicos o esterco de gado, que de continuada aplicação há tendência de elevar pH do solo. Os fatores 1 e 4 evidenciaram a aproximação do pH ao círculo +1 (Figura 2).

**Figura 2.** Diagrama de ordenação de indicadores nos fatores 1 e 2 (A) e 1 e 4 (B) na área convencional (0-20 cm).



## CONCLUSÕES

O uso e manejo nas áreas Agroecológica e Convencional afetaram os indicadores físicos (Ds, PT, ADA e GF) e químicos (COT e Al + H) do solo. Na área agroecológica, diferiram e apresentaram resultados melhores de qualidade de solo em relação à área convencional (0-20 cm).

Os indicadores químicos como Ca, Mg, K, CTC, P e SB não foram diferentes em função aos históricos entre as áreas agroecológica e convencional. Os valores altos verificados mantiveram a fertilidade do solo. Na área agroecológica, a elevação da CTC e PT e diminuição da Ds foram associadas com elevação do COT.

Os indicadores físicos e químicos selecionados foram facilmente analisados e podem servir de referência para verificação da qualidade do solo, haja vista que são sensíveis ao uso e manejo do solo.

O manejo agroecológico (área agroecológica) apresentou indicadores físicos e químicos capazes de manter

a capacidade produtiva do solo, sem a necessidade do uso de adubos sintéticos solúveis.

## AGRADECIMENTOS

Ao Projeto Dom Helder Câmara (PDHC) do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), em colaboração com o Fundo Internacional para o Desenvolvimento da Agricultura (FIDA) e o Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF) pelo estudo ter sido realizado em área de sua atuação.

## REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. A. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3 ed. Ver. Ampl. São Paulo, Rio de Janeiro: Expressão Popular, AS-PTA 2012, 400p.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. Tradução técnica: Igo Fernando



- Lepsch. Dados eletrônicos. Porto Alegre: Bookman, 2013. 716p.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, v.21, p.73-85, 1974.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: ESALQ/USP, 1997. 132p.
- CÂNDIDO, B. M. Erosão hídrica e qualidade do solo em sistemas florestais no leste do Mato Grosso do Sul. 2014. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I – Atributos físicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.35, p.589-602. 2011.
- DANTAS, J. D.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ASSIS, C. P. Qualidade de solo sob diferentes usos e manejos no Perímetro Irrigado Jaguaribe/Apodi, CE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 18-26, 2012.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.
- FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. *Revista Ciência Agronômica*, Ceará, v.43, n.3, p.417-428, 2012.
- GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. S. M.; GAVA, C. A. T. Carbono no Sistema Solo-Planta no Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.6, p.1233-1253, 2011.
- IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A.P. L., GEHRING, C. CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.
- KUWANO, B. H.; KNOB, A.; FAGOTTI, D. S. L.; MELÉM JÚNIOR, N. J.; GODOY, L.; DIEHL, R. C.; KRAWULSKI, C. C.; ANDRADE, FILHO, G.; ZANGARO FILHO, W.; TAVARES-FILHO, J.; NOGUEIRA, M. A. Soil quality indicators in a Rhodic Kandudult unde different uses in Northern Parana, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, p. 50-59, 2014.
- LIRA, R. B. de.; DIAS, N. S.; ALVES, S. M. C.; BRITO, R. F. de.; SOUSA NETO, O. N. de. Efeitos do sistemas de cultivo e manejo da caatinga através da análise dos indicadores químicos de qualidade do solo na produção agrícola em Apodi, RN. *Revista Caatinga*, Mossoró, v.25, n.3, p.18-24, 2012.
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.
- MANLY, B. F. J. Métodos estatísticos multivariados: Uma introdução. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. Matéria orgânica do solo: Métodos de análises. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005, 107p.
- MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS, JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 37, p.1196-1206, 2013.
- NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M.; DE MARIA, I. C. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho Distroférico com usos e manejos distintos. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v.34, p.1271-1282, 2010.
- OBADÉ, V. P.; LAL, R. Soil quality evaluation under different land management practices. *Environmental Earth Sciences*, v. 72, n. 11, p. 4531-4549, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3353-z>.
- RAHMANIPOUR, F.; MARZAIOLI, R.; BAHRAMI, H. A.; FEREIDOUNI, Z. & BANDARABADI, S. R. Assessment of soil quality índices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecol. Indic.*, v.40, p.19-26, 2014.
- RAIJ, B. V. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. *Bragantia*, v.28, p.85-112, 1969.
- RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, United States Department of Agriculture, 1954. 160p. (Agriculture Handbook, 60).
- SAMUEL-ROSA, A.; DALMOLIN, R. S. D.; MIGUEL, P.; ZALAMENA, J.; DICK, D. P. O efeito das propriedades intrínsecas do solo em avaliações de qualidade do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.37, n.5, Viçosa, 2013.
- SANTIAGO, F. S. Avaliação da qualidade do solo em sistemas de cultivo irrigado agroecológico e convencional no semiárido do Rio Grande do Norte. 2015. 175f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2015.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, M. E. R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.217–225, 2009.

SILVA, C. F.; MARTINS, M. A.; SILVA, E. M. R.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F. Influência do sistema de plantio sobre atributos dendrométricos e fauna edáfica, em área degradada pela extração de argila. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.37, p.1742-1751, 2013.

SOUZA, L. M.; MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B. Qualidade de solos de Cerrado, sob plantio direto e preparo convencional, avaliada a partir de atributos químicos, físicos e biológicos, com auxílio de software SIMOQS. XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2013, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Sci*, v.37, p.29-37, 1934.