



**SOLOS
FRÁGEIS**

**CARACTERIZAÇÃO, MANEJO E
SUSTENTABILIDADE**

Selma Simões de Castro

Luis Carlos Hernani

Editores Técnicos



Embrapa

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

SOLOS FRÁGEIS: CARACTERIZAÇÃO, MANEJO E SUSTENTABILIDADE

Selma Simões de Castro
Luís Carlos Hernani
Editores Técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2015

Capítulo 3

Atributos de um Neossolo Quartzarênico sob mangueira irrigada e sob vegetação de Caatinga – estudo comparativo em Petrolina, PE

André Júlio do Amaral; Daniel Vidal Pérez;
Manoel Batista de Oliveira Neto; Luís Carlos Hernani;
Tony Jarbas Ferreira Cunha; Adoildo da Silva Melo

Introdução

No Bioma Caatinga, em virtude da grande restrição hídrica e da distribuição irregular das chuvas, a prática da irrigação é fundamental para garantir a produção agrícola, mas exige manejo adequado para evitar a salinização do solo (QUEIROZ et al., 2010).

Nesse ambiente semiárido, ocorre elevada variabilidade espacial de solos, predominando grandes extensões de solos rasos (p. ex. Neossolos litólicos e Planossolos com caráter nátrico ou solódico), sendo alguns de alta fertilidade natural (como Vertissolos e Luvisolos, também rasos); os solos profundos ficam restritos às áreas de coberturas sedimentares, como é o caso dos Neossolos de textura essencialmente arenosa (Quartzarênicos ou Regolíticos), dos Argissolos e dos Latossolos, estes últimos, em geral, com textura franco arenosa e de coloração amarelo ou vermelho-amarelo (CUNHA et al., 2010; JACOMINE, 1996). Esses solos, na sua grande maioria, podem ser considerados frágeis por apresentarem características intrínsecas que lhes conferem elevada

suscetibilidade à degradação física, química e/ou biológica e requererem estratégias especiais de manejo e conservação para o uso sustentável.

Os solos arenosos são caracterizados como frágeis devido a suas características intrínsecas: textura arenosa, baixa disponibilidade de nutrientes, alta drenabilidade, reação ácida e estrutura em grãos simples (ALBUQUERQUE et al., 2011). Tais características limitam o seu uso para fins agrícolas, principalmente em agricultura de sequeiro, devendo ser destinados para preservação permanente. No entanto, com a adoção de sistemas de irrigação associados ao uso simultâneo de fertilizantes (fertirrigação) e outras boas práticas agrícolas, esses solos vêm sendo amplamente utilizados para a produção de fruteiras de alto valor comercial, com destaque para a mangueira (*Mangifera indica* L.), que, em Petrolina, PE, atinge produtividade média de 20 t ha⁻¹, o que impulsiona a economia da região. Nesses agrossistemas irrigados, contudo, se utiliza mecanização e aplicação de insumos que podem superar a capacidade de adsorção do solo e, assim, promover perdas por lixiviação, aumentando os custos de produção e os riscos de contaminação de águas subsuperficiais. O acompanhamento “in loco” desses sistemas de produção é importante para subsidiar estratégias de manejo de forma integrada em função da sua fragilidade estrutural e textural. O monitoramento de atributos que determinam a qualidade e o pleno exercício das funções do solo é essencial em propriedades agrícolas para a adequada gestão de recursos naturais e o aperfeiçoamento dos sistemas de produção. Na literatura, existem diversos posicionamentos sobre a qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1996; LAL, 1993; LARSON; PIERCE, 1994). Schojonning et al. (2004) definem qualidade do solo como sendo

a capacidade de um solo exercer suas funções dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade de plantas e de animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos seres humanos.

As propriedades físicas, químicas e biológicas do solo são consideradas elementos-chave e influenciam diretamente a qualidade do solo. Essas propriedades variam em função do tipo de solo, do uso e, principalmente, do manejo adotado (LAL, 1997). Vezzani et al. (2008) ressaltam que a matéria

orgânica do solo é um fator determinante da qualidade edáfica, pois as funções que ela exerce estão intimamente associadas aos atributos de caráter físico (estrutura, volume total de poros, relação entre macro e microporos, densidade, resistência do solo à penetração de raízes e condutividade, infiltração, retenção e armazenamento de água), químico (pH, alumínio trocável, disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases) e biológico (biodiversidade e carbono da biomassa microbiana). A interação desses atributos em conjunto promove a Qualidade do Solo.

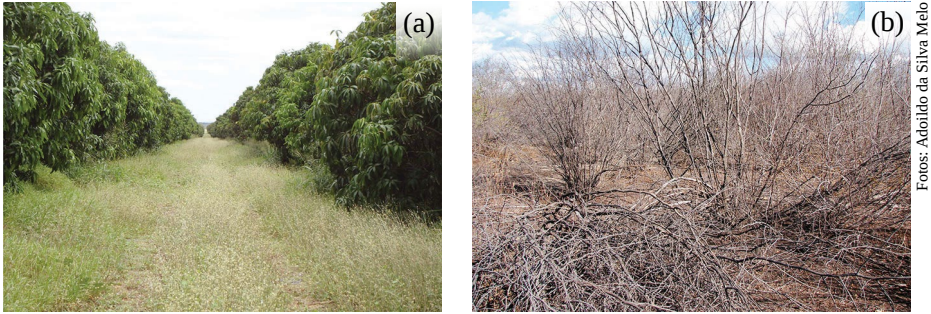
Neste trabalho, foram avaliados alguns indicadores físicos e químicos de qualidade em um Neossolo Quartzarênico em área de vegetação de Caatinga e em área contígua cultivada com manga (*Mangifera indica* L.) irrigada há 20 anos em Petrolina, PE para verificar, ao longo do tempo, o grau de alteração nesses atributos em função do padrão de manejo. Espera-se construir uma metodologia participativa de avaliação de indicadores e de estratégias de manejo para aumentar a competitividade e a sustentabilidade dos sistemas de produção em áreas que apresentem condições edafoclimáticas similares às deste estudo.

Área de Estudo

O estudo foi realizado em área da Fazenda Agropecuária Boa Esperança, no Município de Petrolina, Estado de Pernambuco, nas coordenadas 9° 23' 39" S e 40° 30' 35" W; a área se insere no perímetro de irrigação Nilo Coelho (N-10).

A vegetação nativa é a Caatinga hiperxerófila em relevo plano. O clima é o semiárido (Bsh, segundo Köppen), com precipitação média anual de 570 mm e chuvas concentradas no período de novembro a abril. A fruticultura é a principal atividade econômica, sendo a maior parte da produção exportada. A irrigação é feita de forma pressurizada por microaspersão e a água é proveniente do Rio São Francisco.

A produção de manga (*Mangifera indica* L.) iniciou-se em 1992 e é um dos principais produtos desta fazenda. Um aspecto geral das duas áreas de estudo pode ser visualizado na Figura 1.

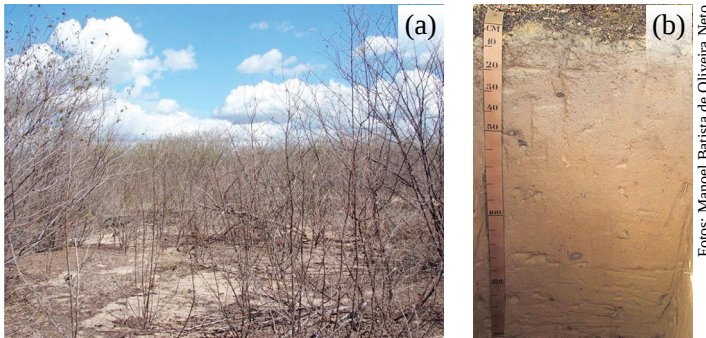


Fotos: Adoído da Silva Melo

Figura 1. Pomar de mangueira irrigada (a) e área adjacente com vegetação de Caatinga (b) em Petrolina, PE.

A geologia da região de estudo é caracterizada pela presença predominante de rochas cristalinas, recobertas por sedimentos arenosos do terciário e quaternário, conforme Brasil (1974) e Jacomine (1996). Por essa razão, nas áreas do perímetro irrigado, na abrangência do lote N10 em Petrolina, observa-se a ocorrência de Neossolos Quartzarênicos (em alguns casos, com o caráter latossólico), amplamente utilizados com fruticultura e, nas áreas de menor cota, associados à presença de sedimentos do Holoceno, encontram-se Planossolos Háplicos, atualmente em pousio em função do seu baixo potencial agrícola (baixa profundidade efetiva e risco de salinização).

Na área deste estudo, ocorre um Neossolo Quartzarênico órtico típico (Figura 2).



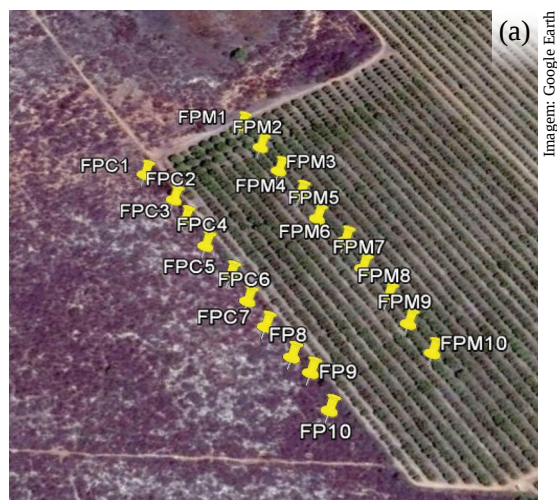
Fotos: Manoel Batista de Oliveira Nero

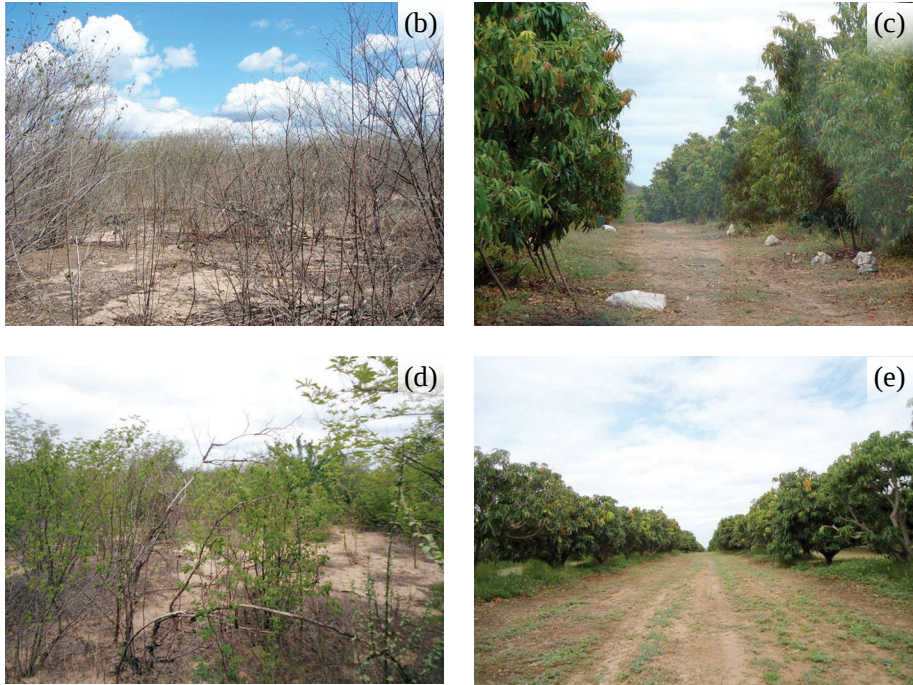
Figura 2. Paisagem de ocorrência, vegetação de Caatinga hiperxerófila (a) e perfil de solo Neossolo Quartzarênico órtico típico (b) em Petrolina, PE.

Neossolos Quartzarênicos são profundos, de textura arenosa, quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina, 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo); são excessivamente drenados, apresentam cores claras e baixa fertilidade natural. Normalmente, ocorrem em relevo plano e são desenvolvidos de materiais de origem sedimentar. Em consequência da textura grosseira, são muito porosos e têm elevada permeabilidade (CUNHA et al., 2010). Esses solos ocupam maiores extensões nos estados do Piauí, da Bahia, de Pernambuco, do Rio Grande do Norte e do Ceará. As áreas onde predominam esses solos perfazem um total de 69.625 km² e constituem 9,3% da região semiárida (JACOMINE, 1996).

Procedimentos

De posse de imagens de satélite e a partir do conhecimento das linhas de drenagem, foram pré-estabelecidos dois transectos: um em cada área, com dez pontos, espaçados em 30 m, dispostos de forma pareada, distando cerca de 150 m um do outro. Na Figura 3, podem ser visualizados os transectos e os pontos de amostragem (a), a vegetação de Caatinga (b, d) e o pomar comercial de mangueira (c, e), respectivamente antes (novembro) e após (abril) o período das chuvas.





Fotos: Manoel Batista de Oliveira Neto

Figura 3. Distribuição dos dez pontos georreferenciados nos transectos (a) na vegetação de Caatinga (esquerda) e no pomar de mangueira irrigada (direita); aspectos da vegetação de Caatinga em novembro de 2011 (b) e em abril de 2013 (d), e de mangueira irrigada (c, e), respectivamente nas mesmas épocas, em Petrolina, PE.

No período entre novembro de 2011 a abril de 2013, no início e ao final do período chuvoso, foram realizadas amostragens para avaliação de atributos químicos do solo com base em Silva (2009). Com trado de caneco, foram obtidas amostras compostas (três repetições no entorno dos pontos georreferenciados) nas camadas 0-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m; 1,00-1,20 m; e 1,60-1,80 m, em cada um dos pontos georreferenciados nas duas áreas estudadas. Na mangueira, as amostras foram coletadas na área de projeção da copa das plantas.

As amostras compostas foram secadas ao ar livre, homogeneizadas e passadas em peneira de 2,0 mm para obtenção da terra fina secada ao ar livre. Em seguida, procedeu-se às seguintes análises: pH-H₂O (relação solo:

água de 1:2,5); cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+}) foram extraídos com solução KCl 1 mol L^{-1} , sendo que o Ca^{2+} e o Mg^{2+} foram determinados por espectrofotômetro de absorção atômica e o Al^{3+} por titulação com hidróxido de sódio; fósforo disponível (P-disp.) e potássio trocável (K^{+}) foram extraídos com solução de Mehlich 1 e quantificados por espectrofotometria e espectrometria de chama, respectivamente; o teor de carbono orgânico total foi determinado em amostras moídas a 100 mesh via oxidação úmida por dicromato em meio fortemente ácido. A saturação por bases (V%) foi calculada com base na relação $100 \times \text{soma de bases/CTC a pH 7,0}$.

A qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) nas duas áreas foi caracterizada por meio do fracionamento químico das substâncias húmicas (CARDOSO, 2014; CARDOSO et al., 2015), segundo o método sugerido pela *International Humic Substances Society* (SWIFT, 1996) e adaptado de Benites et al. (2003). Desse fracionamento, foram obtidas as frações de ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (FH), baseando-se na solubilidade em soluções ácidas ou alcalinas. O teor de C em cada fração húmica foi determinado pelo método de oxidação via úmida com aquecimento externo (YEOMANS; BREMNER, 1988). Também foi realizado o fracionamento físico, segundo metodologia proposta por Demolinari et al. (2008). Os estoques de C nas frações da MOS foram determinados considerando o conceito de camada equivalente (BAYER et al., 2000). Para isso, foram calculados os estoques de C do solo sob mangueira para cada camada e multiplicados os resultados pelo fator obtido pela divisão da densidade do solo (D_s) sob a caatinga pela D_s com o cultivo da mangueira. Esse fator foi aplicado somente para os dados de C no solo sob mangueira. Os estoques de C, em cada profundidade do solo, foram calculados pelo uso da seguinte fórmula: estoque de C (t ha^{-1}) = teor de C (g kg^{-1}) $\times D_s \times e/10$, em que D_s = densidade do solo na profundidade (kg dm^{-3}), e = espessura da camada de solo (cm).

Para determinação dos atributos físicos, em novembro de 2011 foram coletadas amostras indeformadas, anéis volumétricos (100 cm^3) das profundidades 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, e as determinações foram conforme (CLAESSEN, 1997). No laboratório, essas amostras foram submetidas à saturação lenta por capilaridade e, posteriormente, pesadas e colocadas na mesa de tensão (0,01 MPa); após equilíbrio, foram determinados o teor de

água volumétrica na capacidade de campo (Θ_{cc}) e o volume de macro e de microporos; após serem submetidas à tensão de 1,5 MPa, em extrator de Richards, foi obtido o teor de água volumétrica no ponto de murcha permanente (Θ_{pmp}). A água disponível foi calculada pela diferença entre Θ_{cc} e Θ_{pmp} . Ao final, determinou-se a densidade do solo e de partículas e o volume de poros totais. As determinações dos parâmetros físicos e químicos do solo foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo e Planta (LASP) da Embrapa Solos.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi determinada de forma eletrônica, com equipamento PenetroLOG® PLG1020 Medidor Eletrônico de Compactação do Solo (FALKER, 2013). O medidor segue as recomendações da norma internacional ASAE S.313.3 (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1999). As medidas foram tomadas até a profundidade de 0,60 m do solo, utilizando o cone tipo 2 com diâmetro de 12,83 mm. O equipamento foi programado para fornecer dados no intervalo de 10 mm, totalizando 10 medidas por camada de solo. Após a coleta, os dados foram descarregados em *software* específico e transportados para planilhas eletrônicas com a finalidade de posterior realização das análises por camadas: 0,00-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m; 0,30-0,40 m; 0,40-0,50 m; e 0,50-0,60 m. As determinações foram feitas após o período chuvoso, entre os dias 27 e 28/04/2014, com volume acumulado de aproximadamente 140 mm, e imediatamente após uma chuva de 9,0 mm. A distribuição mensal das chuvas durante o período experimental compreendido entre novembro de 2011 e abril 2014 é apresentada na Figura 4.

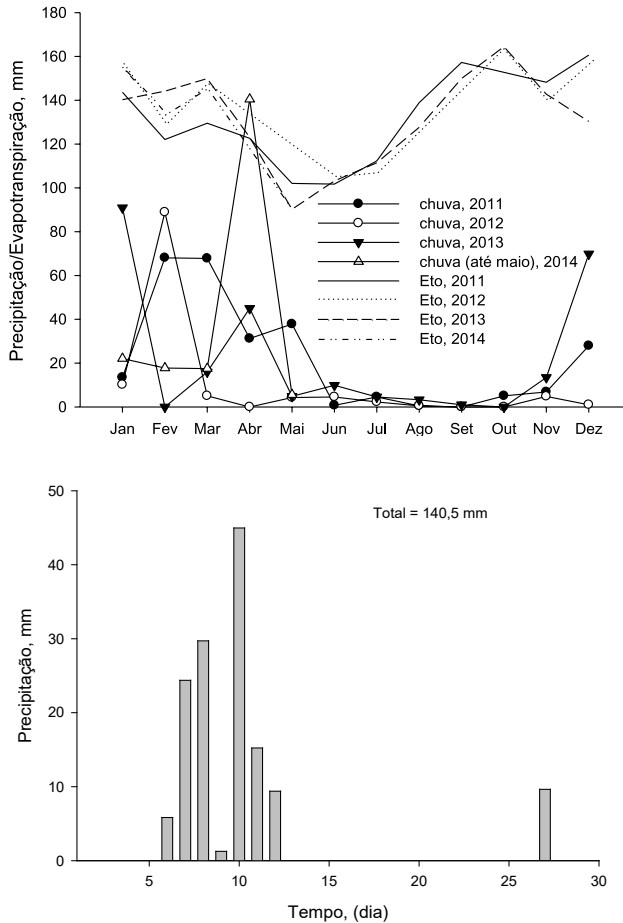


Figura 4. Variação mensal da precipitação pluvial e evapotranspiração de referência (Eto) na área de estudo, no período de novembro de 2011 a abril 2014 (a) e variação diária da precipitação no mês de abril de 2014 (b), antes da determinação da resistência mecânica do solo à penetração.

Fonte: Boletim... (2014).

Em abril de 2014, foram estabelecidos pontos de amostragem na linha e na entrelinha da cultura da mangueira para caracterizar a resistência mecânica do solo à penetração (RP), conforme segue: a) na linha – área de projeção da

copa das plantas a 2 m da planta de referência; b) na entrelinha – faixa distante de 4 m a 6 m da planta de referência ao longo do transecto; c) na área adjacente com vegetação de Caatinga (pontos georreferenciados, Figura 3). Para verificar o grau de alteração na RP, foi calculado o índice de sensibilidade, proposto por Bolinder et al. (1999), por meio da expressão: $Is = RP_t/RP_c$, em que Is = índice de sensibilidade; RP = resistência à penetração; t = tratamento (manga:posição); c = controle (vegetação de Caatinga).

Depreende-se dessa condição (conforme Figura 4) que as diferenças encontradas para a RP entre os tratamentos, no momento de avaliação, se devem às ações de uso e manejo do solo, com pouca influência da umidade, uma vez que o solo do local se encontrava com teor de água próximo à capacidade de campo, aproximadamente $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (AMARAL et al., 2011).

Os resultados envolvendo épocas de coleta e sistemas de produção foram submetidos à análise estatística descritiva e as médias foram comparadas pelo Teste t ($p < 0,05$). Para a RP e o Is , foi utilizado o intervalo de confiança da média ($IC_{95\%} = M \pm DP (t_{95\%})$) (MASSON; LOFTUS, 2003).

Caracterização de atributos do solo

Atributos químicos

Os teores de carbono orgânico (CO) apresentaram distribuição semelhante a outros solos característicos de clima semiárido e de textura arenosa, com teores maiores em superfície e decréscimo com o aumento da profundidade (BERNARDI et al., 2007; CORINGA et al., 2010; GUIMARÃES et al., 2014). Na área cultivada com mangueira, a média geral dessa variável, envolvendo todas as épocas de amostragem, para a profundidade de 0-20 cm ($3,5 \text{ g kg}^{-1}$) foi significativamente maior ($p < 0,05$) do que na mesma profundidade do solo sob a caatinga ($2,4 \text{ g kg}^{-1}$). Embora tenham ocorrido diferenças significativas entre as áreas de estudo no teor de CO para a profundidade 0,40-0,60 m, principalmente a partir das avaliações de abril de 2012, nas demais profundidades os teores foram similares entre as duas áreas em todas as épocas de amostragem (Figura 5).

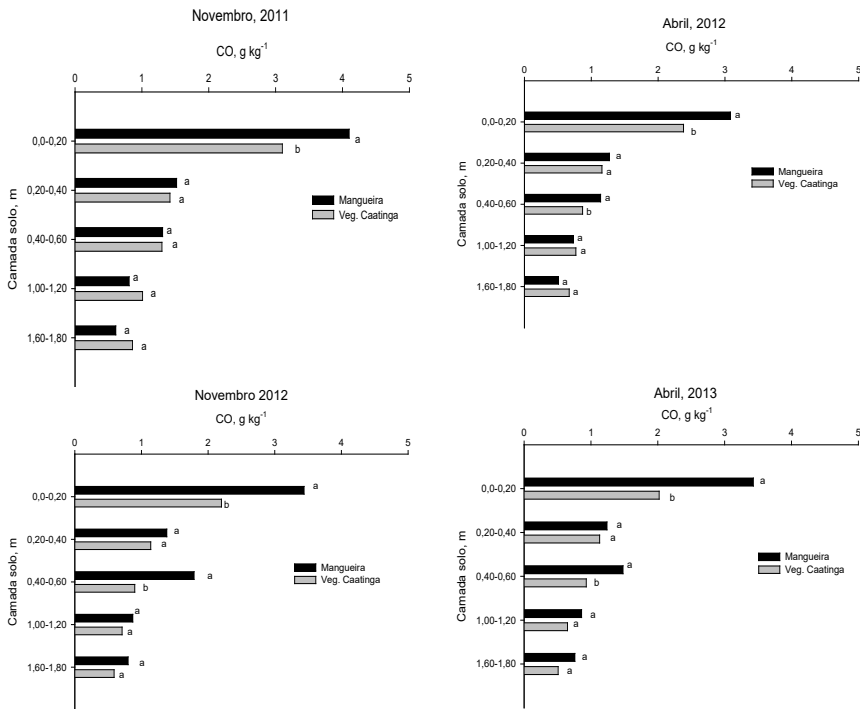


Figura 5. Teor de carbono orgânico total em cinco profundidades do Neossolo nos sistemas de produção com mangueira irrigada e vegetação de Caatinga no período de novembro de 2011 a abril de 2013 em Petrolina, PE. Médias seguidas da mesma letra minúscula para cada profundidade não diferem entre si pelo Teste t $p < 0,05$ ($n=10$).

As diferenças nos teores de CO encontrados entre as duas formas de uso na camada de 0-0,20 m podem ser atribuídas ao tipo e ao tempo de uso do solo e à forma de manejo do solo e dos resíduos culturais. Isso porque, nas áreas de vegetação de Caatinga, o aporte de matéria orgânica é bastante reduzido devido, principalmente, à grande restrição hídrica (MARIN et al., 2006). Por outro lado, nos pomares irrigados, essa restrição não ocorre e as plantas perenes (mangueira) não sofrem tal limitação. Com isso, o aporte de material orgânico (folhas, raízes, restos de poda, espécies espontâneas), ao longo do tempo, ocorre com maior frequência e em maior quantidade, sendo deixado na superfície do solo, o que favorece o incremento de carbono orgânico e a

formação e estabilização de agregados. Resultados semelhantes foram obtidos por Bernardi et al. (2007), Giongo et al. (2011), Guimarães et al. (2014) e Marin et al. (2006) em sistemas agrofloretais com leguminosas arbóreas e solos cultivados com fruteiras de clima tropical. Há que se ressaltar, no entanto, que, mesmo no sistema de mangueira irrigada, o teor de matéria orgânica da camada superficial ainda está abaixo de 1,0%, indicando ser este um dos fatores que ainda devem ser significativamente melhorados e mais estudados. Outros estudos mais detalhados precisam ser conduzidos para identificar as razões que levaram ao aumento dos teores de CO na camada 0,40-0,60 m na área de mangueira irrigada.

Os valores de pH-H₂O variaram de 4,9 a 5,1 e de 5,5 a 6,1, considerando a camada de 0,00-0,60 m nas áreas de vegetação de Caatinga e de mangueira irrigada, respectivamente. Os maiores valores foram encontrados na superfície com decréscimo em profundidade, e superiores ($p < 0,05$) na área de mangueira, considerando a média de dois anos de estudo (Tabela 1). A partir dessa camada, os valores tenderam à redução, com valores médios, em geral, abaixo de 5,5 na área cultivada e abaixo de 5,0 na vegetação de Caatinga.

Tabela 1. Valores de pH-H₂O (1:2,5) em diferentes camadas de um solo frágil em pomar de mangueira irrigada de longo prazo e vegetação de Caatinga no período de novembro de 2011 a abril de 2013 (n=10).

Sistema de Produção	Camada m	Época da coleta				Média*
		Nov 2011	Abr 2012	Nov 2012	Abr 2013	
Mangueira	0,00–0,20	6,2 (±0,3) a	6,3 (±0,2) a	5,9 (±0,4) a	6,2 (±0,3) a	6,1 (±0,2)
Caatinga		5,2 (±0,4) b	5,0 (±0,5) b	5,1 (±0,2) b	5,2 (±0,3) b	5,1 (±0,1)
CV (%)		9,0	8,8	8,0	7,0	
DMS		0,50	0,47	0,40	0,37	
Mangueira	0,20–0,40	5,7 (±0,3) a	5,5 (±0,3) a	5,8 (±0,4) a	6,2 (±0,3) a	5,8 (±0,2)
Caatinga		5,0 (±0,2) b	4,7 (±0,1) b	5,1 (±0,1) b	5,1 (±0,2) b	5,0 (±0,1)
CV (%)		7,0	7,0	8,0	6,0	
DMS		0,30	0,35	0,40	0,30	
Mangueira	0,40–0,60	5,3 (±0,2) a	4,9 (±0,1) a	5,8 (±0,4) a	6,1 (±0,1) a	5,5 (±0,2)
Caatinga		4,9 (±0,1) a	4,6 (±0,1) b	4,9 (±0,1) b	5,1 (±0,2) b	4,9 (±0,1)
CV (%)		5,0	4,0	7,0	4,5	
DMS		0,20	0,15	0,35	0,20	
Mangueira	1,00–1,20	5,1 (±0,3) a	4,6 (±0,1) a	5,5 (±0,3) a	5,7 (±0,2) a	5,2 (±0,2)
Caatinga		4,8 (±0,1) b	4,5 (±0,1) a	5,0 (±0,31) b	5,0 (±0,1) b	4,8 (±0,1)
CV (%)		6,0	3,0	6,0	4,0	
DMS		0,28	0,15	0,29	0,22	
Mangueira	1,60–1,80	4,8 (±0,1) a	4,5 (±0,1) a	5,4 (±0,4) a	5,4 (±0,3) a	5,0 (±0,2)
Caatinga		4,8 (±0,2) a	4,5 (±0,1) a	5,0 (±0,1) a	5,1 (±0,3) a	4,8 (±0,1)
CV (%)		4,0	3,0	7,3	7,5	
DMS		0,21	0,14	0,45	0,42	

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, em cada camada de solo, não diferem entre si si pelo Teste t, p <0,05. Valores entre parênteses representam o intervalo de confiança da média (p<0,05).

Na camada de 1,60-1,80 m, os valores de pH-H₂O não apresentaram diferenças significativas entre as duas áreas em qualquer uma das épocas avaliadas. Os valores de pH-H₂O estão dentro da faixa esperada para Neossolos Quartzarênicos de clima semiárido, tanto para vegetação de Caatinga quanto para área cultivada com fruteiras de longo prazo (CUNHA et al., 2010; FARIA et al., 2007; SILVA; ARAÚJO, 2005).

Por se tratar de uma cultura comercial, em que se adotam corretivos de solo e conforme recomendação, os valores de pH encontrados na área com mangueira até a profundidade de 0,60 m, zona de maior concentração de crescimento radicular para essa cultura, se encontravam, em média, na faixa ideal (5,5 a 6,1). Na área de vegetação nativa, por outro lado, os valores de pH-H₂O apresentam reação fortemente ácida em todas as camadas avaliadas, conforme Santos et al. (2013). Em função disso, os valores de alumínio trocável na camada de 0,00-0,60 m no solo da área sob a caatinga foram superiores ($p < 0,05$) em relação à área com mangueira, com amplitudes de 0,1 a 0,4 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e de 0,0 a 0,2 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente, tendendo a aumentar em profundidade.

Portanto, percebe-se que, para o Neossolo Quartzarênico sob cultivo de mangueira irrigada, a camada de 0,00-0,60 m foi a que mais sofreu alterações na reação do solo decorrentes do padrão de manejo adotado em função da maior amplitude entre os valores médios de pH-H₂O observados neste estudo, sendo mais evidente para a camada de 0,00-0,20 m (Tabela 1).

Os teores de Ca²⁺ indicaram, por razões óbvias, comportamento semelhante em relação ao pH, ou seja, foram maiores na área cultivada do que na vegetação de Caatinga, variando de 0,42 a 2,23 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e de 0,35 a 1,39 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente para mangueira e caatinga (Figura 6a), considerando a camada de 0,00-0,60 m do solo. Na média dos dois anos, os teores foram, respectivamente para a mangueira e para a caatinga, de 1,83 e 0,85 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; 0,78 e 0,46 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; e 0,69 e 0,41 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para as camadas de 0,0-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m. Para cada uma dessas camadas, o incremento de Ca²⁺ com o manejo do solo foi da ordem, respectivamente, de 2,1; 1,7; e 1,7 vezes maior na área cultivada do que na caatinga. Em geral, os teores de Ca²⁺ no solo tenderam a reduzir com o passar do tempo, sendo esse comportamento mais evidente na camada de 0,20-0,40 m na área cultivada,

muito provavelmente pela extração para a produção de frutos, fato que não pode ser devidamente comprovado neste trabalho.

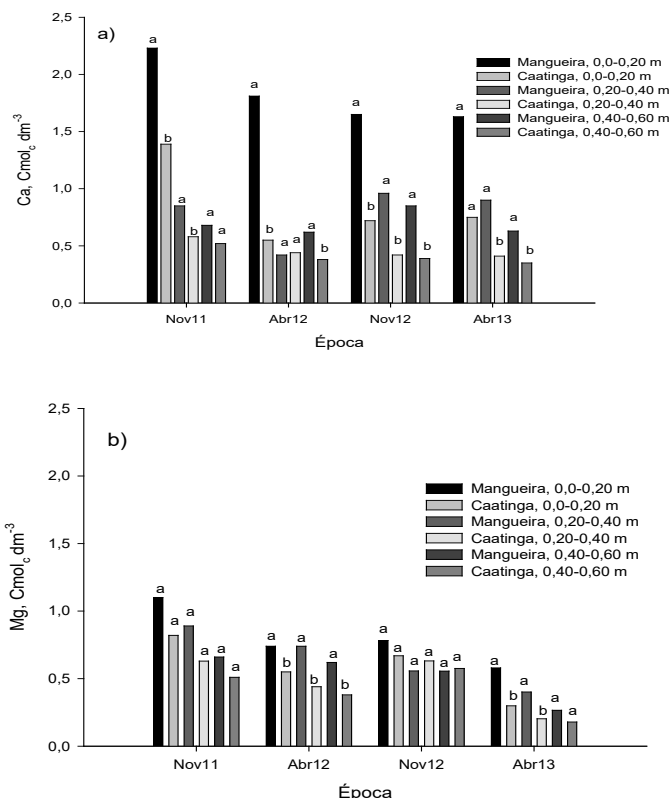


Figura 6. Teores de Ca²⁺ (a) e Mg²⁺ (b) em diferentes camadas do Neossolo Quartzarênico no sistema de produção com mangueira irrigada e vegetação de caatinga no período de novembro de 2011 a abril de 2013 em Petrolina, PE. Médias seguidas da mesma letra no topo da coluna não diferem entre si pelo Teste t p < 0,05 (n=10).

Os teores de Mg²⁺ variaram de 0,27 a 1,1 cmol_c dm⁻³ e de 0,18 a 0,82 cmol_c dm⁻³ para mangueira e caatinga, respectivamente (Figura 6b). Na média dos dois anos, os teores foram, em cmol_c dm⁻³, para a área cultivada e a área de caatinga, respectivamente, de 0,80 e 0,58; 0,65 e 0,48; e 0,53 e 0,41 para as camadas de 0,0-0,20 m; 0,20-0,40 m; e 0,40-0,60 m; ou seja, houve um

incremento de Mg^{2+} de 1,4; 1,3; e 1,3 vezes maior na área cultivada para aquelas camadas do solo. Os teores de Mg^{2+} mostraram tendência à redução ao longo do tempo em maior magnitude do que para o Ca^{2+} . Portanto, o monitoramento desses elementos deve ser criterioso e frequente a fim de otimizar a aplicação de fertilizantes e corretivos, essenciais para a cultura da mangueira.

Os teores de P-disp., considerando a camada de 0,00-0,60 m do solo, variaram de 2,3 a 19 $mg\ dm^{-3}$ e de 0,8 a 8 $mg\ dm^{-3}$ para mangueira e caatinga, respectivamente (Figura 7a). Na média dos dois anos, os teores, nessas formas de uso, foram de 17 e 6,5 $mg\ dm^{-3}$; 5,8 e 1,8 $mg\ dm^{-3}$; e 4,6 e 1,1 $mg\ dm^{-3}$ para as camadas de 0,0-0,20 m; 0,20-0,40 m; e 0,40-0,60 m, com os maiores valores sempre observados na área cultivada. O incremento de P no solo na área cultivada em relação à vegetação de Caatinga foi de 2,6; 3,2; e 4,2 vezes para as camadas especificadas anteriormente. Ao contrário do que foi observado para o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , os teores de P no solo, na área cultivada, apresentaram maior variação e tenderam a aumentar com o passar do tempo, com valores significativamente maiores na camada de 0,0-0,20 m, mas com incremento significativo também até a profundidade de 0,60 m. Faria e Pereira (1993) e Soares e Nascimento (1997) também encontraram movimentação de fósforo em profundidade em solo Neossolo Quartzarênico (94% de areia). Segundo Silva e Araújo (2005) o aumento da mobilidade se deve à taxa de aplicação, à pequena área de molhamento em sistemas de irrigação pressurizados e à saturação dos sítios de adsorção em solos arenosos. No entanto, os níveis observados são considerados de médio a baixo, conforme Faria et al. (2007).

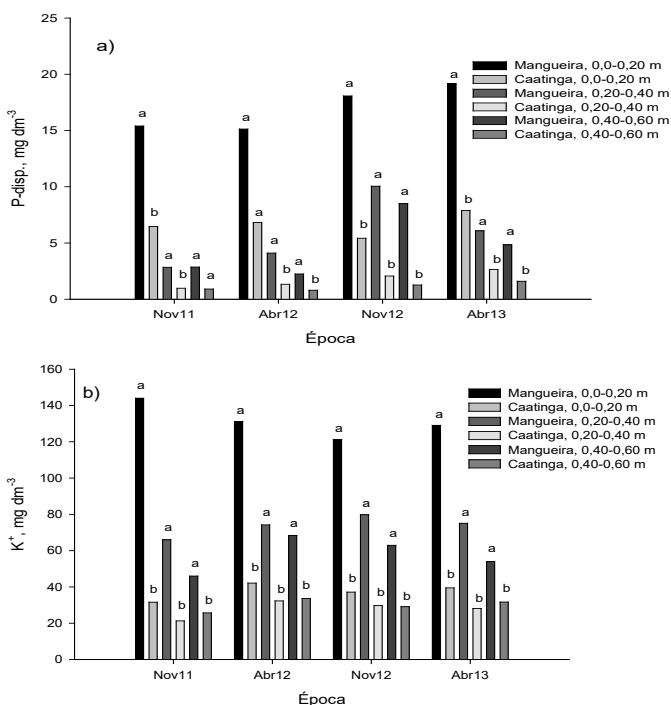


Figura 7. Teores de fósforo – P-disp. (a) e potássio – K⁺ (b) em diferentes camadas do Neossolo Quartzarênico no sistema de produção com mangueira irrigada e na vegetação de Caatinga no período de novembro de 2011 a abril de 2013 em Petrolina, PE. Médias seguidas da mesma letra no topo da coluna não diferem entre si pelo Teste t p < 0,05 (n=10).

Os teores de K⁺ foram mais elevados na camada do solo de 0,00-0,20 m e, considerando a profundidade de 0,00-0,60 m, variaram de 46 a 144 mg dm⁻³ e de 21 a 42 mg dm⁻³, respectivamente para mangueira e caatinga (Figura 7b). Os valores de K⁺ tenderam a se manter estáveis na camada de 0,00-0,20 m, variando de 121 a 144 mg dm⁻³ no solo da área cultivada e de 32 a 42 mg dm⁻³ sob a vegetação de Caatinga no período de novembro de 2011 a abril de 2013. Na camada de 0,20-0,40 m, os valores ficaram entre 66 e 80 mg dm⁻³, tendendo a aumentar ao longo do tempo na área cultivada. Na área com caatinga, os teores variaram de 21 a 32 mg dm⁻³ no período especificado, sem tendência clara de aumento ao longo do tempo. Na camada de 0,40-0,60 m, essa amplitude

foi de 46 a 68 mg dm⁻³ e de 26 a 34 mg dm⁻³ para mangueira e caatinga, respectivamente, com maior incremento entre as épocas de novembro de 2011 e abril de 2012. Na média dos dois anos, os teores foram, para mangueira e caatinga, respectivamente, de 131 e 38 mg dm⁻³; 74 e 28 mg dm⁻³; e 58 e 30 mg dm⁻³ para as camadas de 0,0-0,20 m; 0,20-0,40 m; e 0,40-0,60 m, com os maiores valores sempre observados na área cultivada, considerados alto, médio e baixo nas camadas especificadas (FARIA et al., 2007; SILVA, 2008). O incremento de K⁺ no solo da área cultivada em relação ao da vegetação de Caatinga nas respectivas camadas estudadas foi de 3,4; 2,6; e 1,9 vezes, tendo sido menores do que os observados para o P-disp, porém, com tendência de apresentarem translocação em profundidade, provavelmente devido a sua maior mobilidade no solo, à textura essencialmente arenosa e à baixa CTC do solo em questão.

Valores mais elevados de pH determinaram maior disponibilidade de nutrientes, enquanto o aumento nos teores de P-disp, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ foi devido à fertilização e à correção do solo ocorrida no sistema com mangueira. Tais efeitos, associados aos incrementos em CO, se refletiram em maiores valores na saturação por bases (V%) na área de mangueira em relação à de caatinga. Tais diferenças foram mais acentuadas na camada de 0-0,20 m, sendo verificadas até a camada 0,40-0,60 m do solo (Figura 8).

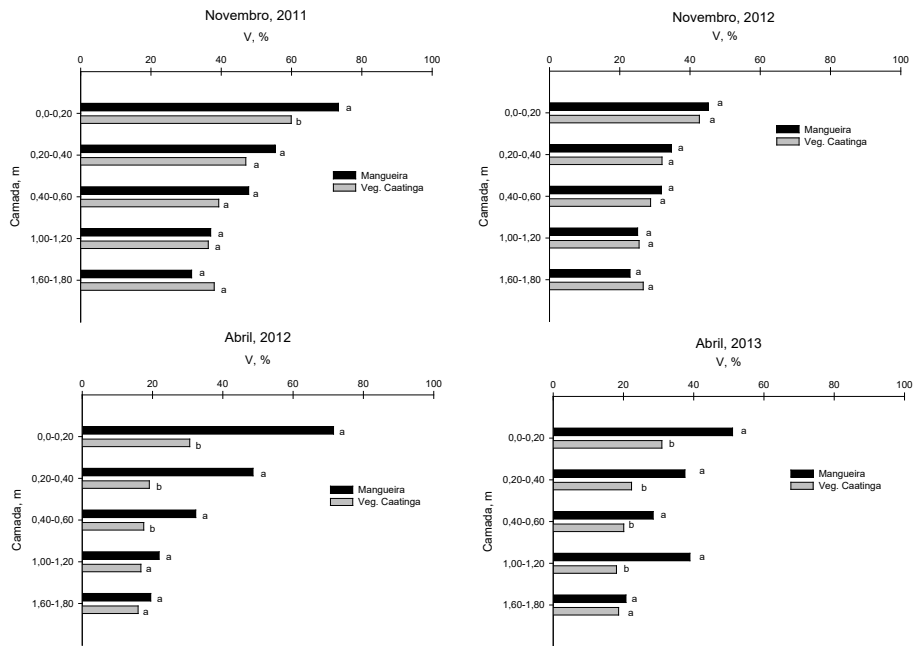


Figura 8. Saturação por bases (V%) em diferentes camadas do Neossolo Quartzarênico no sistema de produção com mangueira irrigada e na vegetação de Caatinga no período de novembro de 2011 a abril de 2013 em Petrolina, PE. Médias seguidas da mesma letra minúscula no topo da barra não diferem entre si pelo Teste t $p < 0,05$ ($n=10$).

Outros trabalhos também encontraram maiores teores de nutrientes (P-disp., K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e V% nas camadas superficiais correlacionados com os teores de matéria orgânica do solo, fato atribuído à ciclagem de nutrientes com a decomposição dos resíduos culturais na superfície do solo (FARIA et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2014; SIQUEIRA NETO et al., 2009). Há que se ressaltar que os teores de K^+ e de P-disp foram significativamente maiores na manga do que na caatinga em todas as camadas estudadas, refletindo os efeitos da fertilização e indicando haver evidente translocação desses nutrientes para camadas mais profundas do solo. Além de cuidados imediatos no uso desses nutrientes, verifica-se a urgente necessidade de mais estudos dos processos associados ao manejo da nutrição nas áreas produtoras de manga, no sentido de se ter maior eficiência do uso e menores riscos de contaminação de águas subsuperficiais devido à fertilização com esses nutrientes em cultivos irrigados.

O solo sob cultivo de mangueira apresentou maiores estoques de C nas frações ácidos fúlvicos - FAF (1,32 t ha⁻¹), ácidos húmicos - FAH (1,82 t ha⁻¹) e huminas - FH (9,64 t ha⁻¹), e nas substâncias húmicas - SH (12,79 t ha⁻¹) quando comparado ao solo sob caatinga nativa (FAF = 1,16 t ha⁻¹; FAH = 1,50 t ha⁻¹; FH = 6,09 t ha⁻¹; SH = 8,75 t ha⁻¹) na camada de 0-10 cm de profundidade (Figura 9), conforme demonstraram Cardoso et al. (2015).

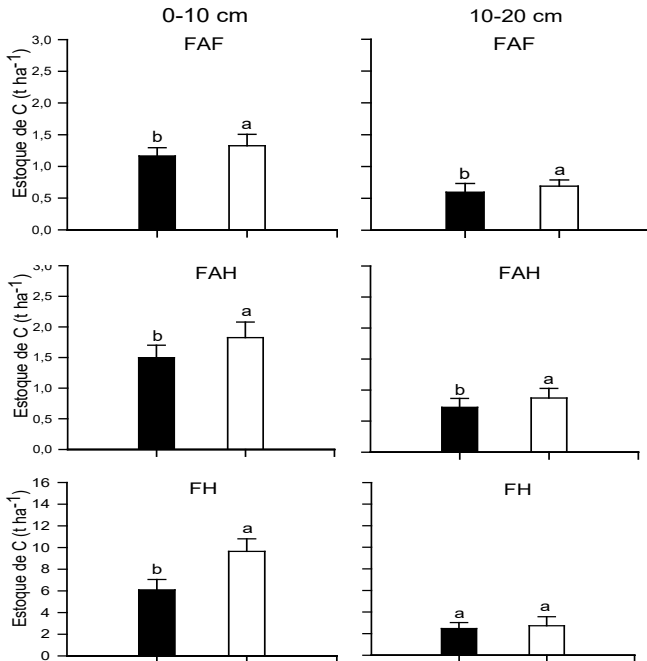


Figura 9. Estoques de C na fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH), fração huminas (FH) e substâncias húmicas (SH) nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm dos solos sob cultivo de mangueira irrigada e sob caatinga nativa. Colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste t de Student ($\alpha = 5\%$ de probabilidade de erro). As barras de desvios verticais representam o desvio-padrão da média.

Comportamento semelhante foi observado para FAF, FAH e SH na camada de 10-20 cm de profundidade (Figura 9). Conforme afirmado anteriormente,

a deposição de resíduos orgânicos durante 20 anos de cultivo de mangueira favoreceu o incremento dos estoques de C nas substâncias húmicas do solo. Em áreas sob mangueira irrigada, como no Vale do Rio São Francisco, especialmente em solos com baixos teores de nutrientes, a fertilização para repor os nutrientes extraídos pela colheita pode levar a um incremento da produtividade primária, fazendo com que maiores quantidades de material vegetal possam retornar ao solo e aumentar os estoques de C das frações húmicas. Embora resultados de experimentos sejam escassos para mangueira irrigada, ao analisar informações de vários experimentos, Johnson e Curtis (2001) observaram que, no geral, culturas perenes (florestas plantadas) com aplicação de fertilizantes apresentavam maiores teores de C orgânico no solo.

Os estoques de C nas frações húmicas do solo seguiram a ordem decrescente: FH>FAH>FAF. Resultados semelhantes foram observados por Piccolo (2002), que afirma que o estoque de C na FAH normalmente é superior ao estoque de C na FAF. Em estudo realizado sob cerrado nativo, plantio convencional e plantio direto no Sudoeste Piauiense sob Latossolo Amarelo distrófico, Campos et al. (2013) também observaram que o estoque de C da FH foi predominante em relação ao estoque de C das demais frações húmicas na camada 0-5 cm.

Atributos físicos

A distribuição granulométrica do solo, nas duas áreas estudadas, é apresentada na Tabela 2. Verifica-se que os teores de argila variam de 44 a 60 g kg⁻¹ e de 40 a 53 g kg⁻¹; os de silte, de 20 a 40 g kg⁻¹ e de 35 a 52 g kg⁻¹; e os de areia, de 900 a 936 g kg⁻¹ e de 900 a 922 g kg⁻¹, nas áreas sob caatinga e sob mangueira, respectivamente. Constata-se o predomínio da fração areia, que é característica dos Neossolos Quartzarênicos, o que lhes confere alta taxa de infiltração e, conseqüentemente, rápida drenagem, com estrutura em grãos simples (AMARAL et al., 2011; CUNHA et al., 2010; HILLEL, 1999). Verifica-se que o tipo de uso do solo não influenciou significativamente essa variável (Tabela 2).

Tabela 2. Distribuição granulométrica do solo para as diferentes camadas em área de vegetação de Caatinga e fruticultura (manga) em Petrolina, PE.

Área	Camada	Granulometria*		
		Argila	Silte	Areia
	m		g kg ⁻¹	
Caatinga	0 - 0,20	44	20	936
	0,20 - 0,40	46	22	932
	0,40 - 0,60	48	29	923
	1,00 - 1,20	58	31	911
	1,60 - 1,80	60	40	900
Mangueira	0 - 0,20	40	38	922
	0,20 - 0,40	42	35	923
	0,40 - 0,60	42	43	915
	1,00 - 1,20	53	45	902
	1,60 - 1,80	53	52	900

* Valores médios (n=10).

O teor de água na capacidade de campo (Θ_{cc}) não diferiu entre os dois tipos de uso do solo avaliados, embora tenha apresentado maior valor numérico na área de mangueira (Tabela 3). Essa ausência de diferença significativa pode ser atribuída ao alto coeficiente de variação encontrado para esta variável, independentemente da camada de solo avaliada. O valor maior de Θ_{cc} no tratamento mangueira pode ser devido ao acréscimo de microporos e CO na camada 0-0,10 m, que favorecem a maior retenção de água. Por outro lado, o teor de água no ponto de murcha permanente (Θ_{pmp}) foi maior na área de mangueira do que na caatinga nas duas camadas de solo avaliadas ($p < 0,05$). Isso pode ser um indicativo de que o manejo do solo adotado na mangueira irrigada está contribuindo para aumentar a retenção de água com maior energia no solo, possivelmente em função de maior aporte de matéria orgânica e incremento de microagregados (Tabela 3). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Mamede et al. (2014), que, nos mesmos pontos de amostragem deste estudo, verificaram que, na camada de 0-0,10 m do Neossolo Quartzarênico, a formação e a estabilização de agregados foram mais elevadas na área de mangueira irrigada do que na de caatinga. Cardoso et al. (2015), nas mesmas condições deste estudo, concluíram que, após 20 anos, o cultivo de mangueira irrigada aumenta o estoque de carbono orgânico nas frações de maior peso molecular, o que confere presença de matéria orgânica de maior estabilidade em relação à vegetação de Caatinga, sendo este efeito, porém, restrito à camada de 0,00-0,10 m do solo.

Tabela 3. Valores médios (n=10) do teor de água na capacidade de campo (Θ_{cc}) e no ponto de murcha permanente (Θ_{pmp}); do volume total de poros (VTP), macroporos (Ma) e microporos (Mi); e de densidade do solo (Ds) e de partícula (Dp) para diferentes camadas do solo em área de caatinga e de mangueira irrigada em Petrolina, PE.

Uso do Solo	Θ_{cc} 0,01 MPa	Θ_{pmp} 1,5 MPa	AD	VTP	Ma	Mi	Ds	Dp
	%	%	%		%			g cm ⁻³
	0-0,10 m							
Caatinga	5,3a	0,96b	4,3a	43a	28a	15b	1,50a	2,63a
Mangueira	7,5a	1,74a	5,8a	45a	17b	28a	1,47a	2,66a
DMS	4,4	0,26	4,2	2,2	5,5	4,3	0,07	0,08
CV (%)	68	19	83	5,0	25	20	4,4	4,2
	0,10-0,20 m							
Caatinga	6,50a	0,95b	5,5a	41a	26a	15b	1,55a	2,66a
Mangueira	5,40a	1,43a	4,0a	42a	17b	25a	1,56a	2,70a
DMS	4,3	0,17	4,2	3,3	4,8	4,5	0,06	0,05
CV (%)	72	14	88	7,8	22	23	4,1	5,1

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna entre os tratamentos, em cada profundidade e para cada uma das variáveis não diferem entre si pelo Teste t p < 0,05.

DMS= diferença mínima significativa.

CV= coeficiente de variação.

O volume total de poros (VTP) foi de 43% e 45% e de 41% e 42% nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m nas áreas com caatinga e com mangueira, respectivamente (Tabela 3). Esses resultados são condizentes com os encontrados para solos de textura arenosa, que tendem a ser menos porosos e ter maior densidade do que os solos argilosos, que apresentam partículas arranjadas em forma de agregados, com predominância de vazios na amostra de solo (HILLEL, 1999; REICHARDT, 1990; RIBEIRO et al., 2007). O VTP não foi afetado pelo uso do solo com fruticultura irrigada com mangueira por longo prazo em relação à área de vegetação com caatinga, embora, em média, os valores tenham sido ligeiramente superiores na área cultivada nas duas camadas de solo avaliadas (Tabela 3). No entanto, ao avaliar o volume de macroporos, verifica-se que os valores variaram de 26% a 28%, com maior valor na camada de 0-0,10 m na área de caatinga, e permaneceu constante em 17% na área de mangueira, tendo sido superior na área de caatinga ($p < 0,05$) para as duas camadas estudadas (Tabela 3). Esse resultado indica que houve modificação do arranjo poroso do solo, demonstrando que o uso do solo com mangueira irrigada reduziu em aproximadamente 10% o volume de macroporos em relação à área de caatinga, fato que pode ser atribuído ao tráfego de máquinas nas áreas de cultivo. Embora isso tenha ocorrido, constata-se que as duas áreas estudadas apresentaram volume de macroporos maior do que 10%, o que é considerado adequado para permitir a drenagem rápida da água gravitacional, as trocas gasosas e o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas (DEXTER, 1988; REYNOLDS et al., 2002; RIBEIRO et al., 2007).

Os resultados de resistência mecânica do solo à penetração (RP) são apresentados na Figura 10. Constatou-se que os valores de RP foram maiores ($p < 0,05$) na entrelinha, em praticamente todas as camadas de solo avaliadas, exceto na de 0,50-0,60 m, onde os valores não diferiram ($p > 0,05$) entre si. Na linha das mangueiras, os valores foram iguais aos encontrados na caatinga, exceto na camada de 0,20-0,30 m, onde, embora superiores, ficaram abaixo do valor de 2.000 kPa, indicando pouca alteração na RP na área cultivada, considerando a avaliação logo após o período chuvoso. Os valores médios de RP na camada de 0,0-0,10 m ficaram, em média, abaixo de 1.000 kPa em todas as posições avaliadas.

Na camada de 0,10-0,20 m, as diferenças na RP entre os locais de amostragem ocorreram em maior grau. Na entrelinha, observaram-se maiores valores do que na linha e na área de referência (caatinga). Na entrelinha, os valores de RP superaram 2.000 kPa, considerado limitante para o adequado crescimento e desenvolvimento de raízes das plantas (KAISER et al., 2009; TAYLOR et al., 1966; TORMENA et al., 2004). No entanto, na linha das mangueiras (embora tenham superado os valores observados na caatinga), a RP ficou abaixo de 2.000 kPa, coincidindo com os dados obtidos por Freitas et al. (2010). Esse mesmo comportamento se repetiu até a camada de 0,20-0,30 m, onde a RP na entrelinha da cultura da mangueira superou, em média, o valor de 3.000 kPa, com decréscimo em profundidade a partir dessa camada (Figura 10).

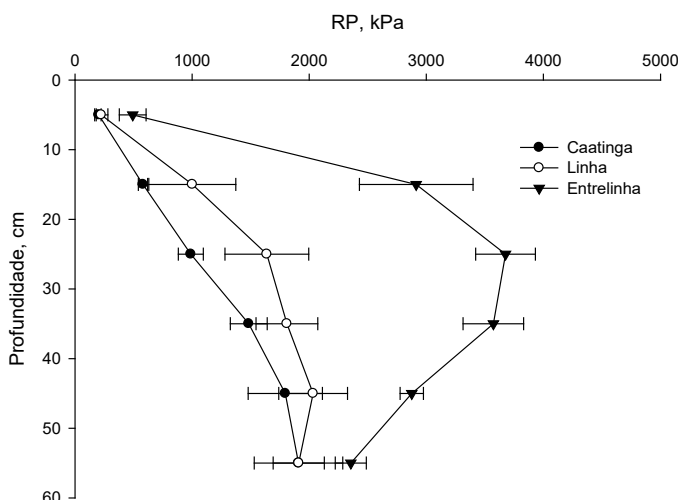


Figura 10. Valores médios de resistência mecânica do solo à penetração (RP) em área de fruticultura irrigada na linha e na entrelinha do pomar de manga e em área de vegetação de Caatinga (referência), em diferentes camadas de um Neossolo Quartzarênico em Petrolina, PE. Barras horizontais representam o intervalo de confiança da média ($p \leq 0,05$).

Coelho et al. (2012) encontraram valores médios de RP na área de projeção da copa das plantas acima de 2.000 kPa nas camadas de 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m em um Vertissolo com textura muito argilosa, cultivado com mangueira em Juazeiro, BA. Isso evidencia que a RP responde ao uso e manejo do solo e a

atributos intrínsecos ao tipo de solo, tendo forte relação com a classe textural e com o teor de água no solo no momento de sua determinação.

Os resultados referentes ao índice de sensibilidade (I_s), que representa a relação entre o valor observado da RP para as regiões da linha e da entrelinha da cultura da mangueira com os encontrados na vegetação de Caatinga (área de referência) são apresentados na Figura 11. Em relação à qualidade do solo, do ponto de vista agrônômico, espera-se que o uso e o manejo proporcionem valores de RP próximos ou abaixo da unidade, quando comparados a uma área de referência (condições naturais, sem intervenção antrópica), indicando baixo grau de alteração nesse atributo.

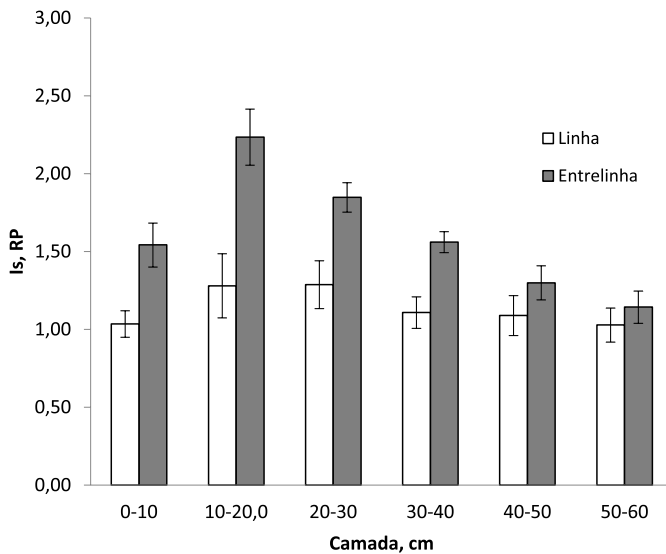


Figura 11. Índice de sensibilidade para resistência mecânica à penetração (I_s -RP) na linha e na entrelinha em diferentes camadas de um Neossolo Quartzarênico após 20 anos sob cultivo de mangueira irrigada em Petrolina, PE. Barras representam o intervalo de confiança da média ($p \leq 0,05$).

Na área de projeção da copa das plantas (linha), o I_s variou de 1,03 a 1,29, com os maiores valores encontrados nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m do solo. Nas demais camadas, os valores foram muito próximos

da unidade, indicando pouca alteração da área cultivada em relação à caatinga (Figura 11). Por outro lado, na entrelinha, os valores de I_s foram maiores e variaram de 1,14 a 2,23. O maior valor foi encontrado para a camada de 0,10-0,20 m, com $I_s > 2,0$, indicando um grau acentuado de alteração na RP. Esses valores permaneceram altos ($> 1,5$) até a profundidade de 0,40 m, a partir da qual diminuíram, não diferindo estatisticamente entre as posições linha e entrelinha.

Esses resultados indicam que, na área cultivada, a RP no Neossolo Quartzarênico foi alterada em maior grau na entrelinha da cultura, especialmente nas camadas subsuperficiais, com destaque para aquela compreendida entre 0,10-0,40 m. O uso da entrelinha da cultura em sistemas de produção integrados é promissor, uma vez que a entrelinha representa 60% da área, considerando o espaçamento de 5 m x 10 m.

No entanto, estudos sobre manejos conservacionistas do solo precisam ser desenvolvidos, tanto para definir valores de referência de RP, quanto para verificar a eficácia e a necessidade de mobilização mecânica ou biológica na camada de 0,10-0,40 m por meio de implementos agrícolas associados ao uso e ao manejo de plantas de cobertura adequadas às condições edafoclimáticas do local de estudo.

Considerações finais

Após 20 anos de cultivo do solo com mangueira irrigada, constata-se que houve alterações nos atributos químicos e físicos do solo em relação à vegetação de Caatinga.

As alterações nos atributos químicos podem ser consideradas positivas, principalmente em função do aporte de carbono orgânico na camada de 0,00-0,20 m do solo, associado à elevação do pH- H_2O e ao aumento da disponibilidade de Ca^{2+} , Mg^{2+} , P-disp, K^+ e V%.

P-disp e K^+ tenderam a se acumular na superfície e apresentaram incrementos significativos na camada abaixo de 0,0-0,20 m, o que exige atenção quanto ao manejo da fertilização com esses elementos em função da textura arenosa do solo.

Quando comparado à caatinga nativa, o cultivo de mangueira irrigada aumentou os estoques de carbono das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina, e das substâncias húmicas. Comportamento semelhante foi observado para o estoque de carbono da fração pesada e para o carbono da fração leve.

O volume de macroporos é reduzido na área com mangueira irrigada, e os valores de RP são maiores na camada de 0,20-0,30 m, porém, não o suficiente para indicar déficit de aeração ou compactação excessiva; no entanto, na entrelinha da cultura de mangueira na camada de 0,10-0,40 m do solo, os valores de RP superaram, em média, o valor de 2.000 kPa.

Embora o manejo sob cultivo irrigado de mangueira tenha trazido efeitos positivos para o solo sob a copa das plantas, faz-se necessário realizar, nas entrelinhas, novos estudos que busquem melhorar a cobertura vegetal e os atributos do solo e incrementar rendimentos econômicos.

Referências

ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; GATIBONI, L. C.; ELTZ, F. L. F. Atividades agrícolas de produção em solos frágeis no sul do Brasil. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v. 7, p. 368-403.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **S313.3**: soil cone penetrometer. St. Joseph, 1999. 834 p.

AMARAL, F. C. S do (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação**: enfoque na região semiárida. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 164 p. il.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. A. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 54, n. 1/2, p. 101-109, Mar. 2000.

BENITES, V. M.; MÁDARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo**: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 16).

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O.; MADARI, B. E.; TAVARES, S. R. L.; CAMPOS, D. V. B.; CRISÓSTOMO, L. A. Carbon and nitrogen stocks of an Arenosol under irrigated fruit orchards in semiarid Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 169-175, 2007.

BOLETIM DO CLIMA: síntese climática. Recife: Agência Pernambucana de Águas e Clima, v. 2, n. 1, jan. jun. 2014. 46 p. il. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/>>. Acesso em: 16 out. 2014.

BOLINDER, M. A.; ANGERS, D. A.; GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. The response of soil quality indicators to conservation management. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 79, p. 37-45, 1999.

BRASIL. Ministério do Interior. **Mapa geológico**. Recife: Sudene, Divisão de Solo-DRN, 1974. 1 mapa. Escala 1:25.000.000

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, p. 304-312, 2013.

CARDOSO, J. A. F. **Atributos químicos e físicos do solo e matéria orgânica do solo sob mangueira irrigada e caatinga nativa na região do Vale do submédio São Francisco**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro.

CARDOSO J. A. F.; LIMA A. M. N.; CUNHA T. J. F.; RODRIGUES M. S.; HERNANI L. C.; AMARAL, A. J.; OLIVEIRA NETO, M.B. Organic matter fractions in a Quartz ipsamment under cultivation of irrigated mango in the lower São Francisco Valley Region, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, p. 1068-1078, 2015.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

COELHO, D. S.; CORTEZ, J. W.; OLSZEWSKI, N. Variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração em Vertissolo cultivado com manga no perímetro irrigado de Mandacaru, Juazeiro, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 755-763, 2012.

CORINGA, E. A. O.; MENDES, C. R. J.; OLIVEIRA, T. S.; FELFILI, D. M. C. Determinação do carbono orgânico total e das frações húmicas de um Neossolo sob diferentes coberturas vegetais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 50., 2010, Cuiabá. **Agroindústria, qualidade de vida e biomas brasileiros**: anais Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Química, 2010. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2010/trabalhos/5/5-468-8191.htm>>. Acesso em: 11 set. 2013.

CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F. de; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, M. S. L. da; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SÁ, I. B.; SILVA,

P. C. G. (Ed.). **Semiárido brasileiro**: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 49-87.

DEMOLINARI, M. S. M.; SILVA, I. R.; LIMA, A. M. N.; VERGUTZ, L.; MENDONÇA, E. S. Efeito da solução de separação densimétrica na quantidade e qualidade da matéria orgânica leve e na quantificação do carbono orgânico da fração pesada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 871-879, 2008.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**. v. 11, p. 199-238, 1988.

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: SSSA: American Society of Agronomy, 1994. p. 3-22. (SSSA especial publication, n. 35).

FALKER. **Penetro LOG PLG1020**: medidor eletrônico de compactação do solo. Disponível em: <<http://www.falker.com.br/download.php>>. Acesso em: 14 fev. 2013.

FARIA, C. M. B. de; SILVA, M. S. L. da; SILVA, D. J. **Alterações em características de solos do Submédio São Francisco sob diferentes sistemas de cultivo**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. 36 p. (Embrapa Semi-Árido. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 74).

FARIA, C. M. B.; PEREIRA, J. R. Movimento de fósforo no solo e seu modo de aplicação no tomateiro rasteiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 12, p. 1363-1370, 1993.

FREITAS, C. A. S. de; BEZERRA, F. M. L.; SILVA, A. R. A. da; PEREIRA FILHO, J. V.; FEITOSA, D. R. C. Comportamento de cultivares de mamona em níveis de irrigação por gotejamento em Pentecoste, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1059-1066, 2010.

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**, Recife, v. 4, n. 6, p. 1233-1253, 2011.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. E.; MELO NETO, J. O. Manejo da matéria orgânica do solo e estoques de carbono em cultivos de frutas tropicais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 301-6, 2014.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1999. 771 p. il.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatinga: características e uso agrícola. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: SBCS: UFV, 1996. p. 95-133.

JOHNSON, D. W.; CURTIS, P. S. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. **Forest Ecology Management**, v. 140, p. 227-238, 2001.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLARES G. L.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 845-855, 2009.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 4-10, 1996.

LAL, R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. **Soil and Tillage Research**, v. 27, p. 1-8, 1993.

LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, 1997. 576 p.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 37-51. (SSSA special publication, n. 35).

MAMEDE, L. S.; ALMEIDA, A. C. D.; SANTOS, P. M.; PINTO, L. B. C.; HERNANI, L. C.; AMARAL A. J.; MELO, A. S. Agregação de Neossolo Quartzarênico em cultivo de manga irrigada. In: REUNIÃO NORDESTINA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., 2014, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBCS: UESC: UFRB, 2014.

MARIN, A. M. P.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, E. D.; SAMPAIO, E. V. S. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 555-564, 2006.

MASSON, M. E. J.; LOFTUS, G. R. Using confidence intervals for graphically based data interpretation. **Canadian Journal of Experimental Psychology**, v. 57, p. 203-220, 2003.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances: a novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. **Advances in Agronomy**, v. 75, p. 57-134, 2002.

- QUEIROZ, J. E.; GONÇALVES, A. C. A.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. das.; ACERDA, C. F. de. (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2010. p. 63-81. 472 p. il.
- REICHARDT, K. **Água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.
- REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. F.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, n. 1/2, p. 131-146, 2002.
- RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. da G. B. de F.; SAMPAIO, F. de M. T. Propriedades físicas do solo influenciadas pela distribuição de poros de seis classes de solo da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREIRAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A DE; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. DE. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p. il. color.
- SCHOJONNING, P.; ELMHOLT, S.; CHRISTENSEN, B. T. **Managing soil quality**: challenges in modern agriculture. Wallingford: Cabi Publishing, 2004. 323 p.
- SILVA, D. J.; ARAÚJO, C. A. S. Agricultura irrigada: a importância da adubação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCS: Embrapa Solos: UFRPE, 2005. 1 CD-ROM.
- SILVA, D. J. **Nutrição e adubação da mangueira em sistema de produção integrada**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2008. 11 p. (Embrapa Semiárido. Circular técnica, 88)
- SILVA, F. C. da (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. de C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, p. 709-717, 2009.
- SOARES, J. M.; NASCIMENTO, T. Comportamento do sistema radicular da mangueira em Podzólico Bruno Vermelho-Amarelo Distrófico sob irrigação por sulco na região do Submédio São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Resumos**. Campina Grande: SBEA: UFPB, 1997. 1 CD-ROM.
- SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.;

SUMNER, M. E. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1996. p. 1011-1020.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength-root penetration relations for medium-to-coarse textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966.

VEZZANI, F. M.; CONCEIÇÃO, P. C.; MELLO, N. A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. de O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654 p.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication of Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.