



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: SOLOS E
NUTRIÇÃO DE PLANTAS

RÉGIS DOS SANTOS BRAZ

QUALIDADE DO SOLO MEDIDA POR INDICADORES FÍSICOS EM ÁREA
COM APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE CAJU

FORTALEZA

2013

RÉGIS DOS SANTOS BRAZ

QUALIDADE DO SOLO MEDIDA POR INDICADORES FÍSICOS EM ÁREA COM
APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE CAJU

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas. Área de concentração: Dinâmica do solo e da água associada ao manejo solo.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior

FORTALEZA

2013

RÉGIS DOS SANTOS BRAZ

QUALIDADE DO SOLO MEDIDA POR INDICADORES FÍSICOS EM ÁREA COM
APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE CAJU

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas. Área de concentração: Dinâmica do solo e da água associada ao manejo solo.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior

Aprovado em: 15/03/2013.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Rubens Sonsol Gondim
EMBRAPA - Agroindústria Tropical

À Deus, a minha família, em especial a minha avó, “Dona Lurde”, pelo amor infinito. E aos amigos que estiveram comigo sempre.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado paciência, força e sabedoria para percorrer todo esse caminho, estando comigo incondicionalmente em todos os momentos.

Aos meus pais, Francisco e Maria Luzinete, que apesar da vida não ter permitido alcançar altos níveis acadêmicos, sempre souberam dá a devida importância à educação, fazendo o possível e impossível para que eu e meus irmãos tivéssemos as oportunidades que eles não tiveram. Aos meus irmãos Robson, Rafael (in *memorian*), Rildo e Raniele, que apesar das diferenças eu os amo. As minhas avós, Filomena e “Dona Lurde”, pelo amor e preocupação.

A Universidade Federal do Ceará, ao Departamento de Ciências do Solo e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de plantas e a todos os professores pela oportunidade de formação profissional e pessoal.

Ao professor Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior, meu orientador, pelos ensinamentos, disposição, compreensão e paciência durante toda a execução desse trabalho, meu muito obrigado.

Aos amigos e colegas dos cursos de pós-graduação da UFC, os quais tive um convívio pacífico e agradável durante todo esse tempo, Carlos Vitor, Emanuel Dias, Francisco Thiago, Gabriel Nuto, Gildivan S. Silva, Juliana Vieira, Ramon Costa, Ronaldo Oliveira e Sâmia Paiva.

Aos meus “Best” Bruna Iwata, Bruno Meneses, Izabel Almeida e Tiago Silva. Simplesmente não sei expressar o amor que sinto por vocês, dividimos os melhores e piores momentos nesses dois anos, nos tornamos uma família e isso com certeza levarei comigo pra sempre. Estudamos, brincamos, sorrimos, choramos, gargalhamos MUITO e gargalhamos mais, enfim... vivemos intensamente.

Agradeço as grandes amigas que estiveram torcendo de longe por mim, Vanuza Xavier, Irlânia Fernandes, Ana Carolina, Sônia, Marina Matias, Anaiane Souza, Michelly Alves, Sara Maria, Micaéle Matias, Mirla Souza. Já estivemos perto e cada uma marcou um momento importante da minha vida, espero que nas voltas da vida voltemos a nos encontrar.

A minha segunda mãe Catarina Nóbrega, a qual tenho muito amor e gratidão.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram para o meu sucesso!

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”

Simone de Beauvoir

RESUMO

O avanço das fronteiras agrícolas e a intensificação do uso da terra devido à necessidade de atender à demanda por alimentos e fibras têm feito com que o solo perca sua qualidade, pois em muitos casos não se adotam práticas de conservação, causando grandes perdas da qualidade ambiental. A aplicação de resíduos orgânicos, como o resíduo de caju, sobre a superfície do solo intensifica a atividade biológica no solo, à medida que esse material se incorpora, cujos produtos de decomposição e de síntese proporcionam alterações na geometria porosa da matriz do solo. Diante disso, esse trabalho objetivou avaliar a qualidade do solo medida por indicadores físicos em área com aplicação de resíduo de caju. Para tal, foram coletadas amostras com estrutura preservada e não preservada para a realização das seguintes determinações: análise granulométrica, densidade do solo, densidade de partículas, curva de retenção de água no solo, resistência do solo à penetração e determinação do intervalo hídrico menos limitante. Foi adotado o delineamento em blocos ao acaso (DBC), quatro blocos e cinco tratamentos. Sendo os tratamentos T1 = 0, T2 = 16 t ha⁻¹, T3 = 32 t ha⁻¹, T4 = 48 t ha⁻¹ e T5 = 64 t ha⁻¹. Para verificar a normalidade dos dados foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov e análise de variância (ANOVA) para testar a hipótese. Os valores de densidade do solo estiveram acima do estabelecido para solos arenosos. A densidade de partículas esteve próxima aos valores estabelecidos para solos minerais. Observou-se a predominância de macroporoso sobre os microporos. A resistência do solo à penetração não ultrapassou o limite crítico de 2,0 MPa. O intervalo hídrico menos limitante teve a capacidade de campo como limite superior e ponto de murcha permanente como limite inferior. Porém, nenhuma dessas variáveis citadas anteriormente tiveram diferença estatística significativa. As curvas de retenção de água no solo tiveram comportamento típico de solos arenosos, observando-se uma redução da capacidade de retenção de água nos tratamentos onde o resíduo foi aplicado. As doses de resíduo de caju não surtiram efeitos significativos sobre as variáveis analisadas, exceto na curva de retenção de água no solo.

Palavras-chave: matéria orgânica, geometria porosa.

ABSTRACT

The advancement of the frontiers agricultural, due to the necessity to meet the demand for food and fiber, causes loss of soil quality, because in many cases it is not adopt conservation practices, and this has caused great losses of environmental quality. The application of organic waste, such as cashew residue, on the soil surface enhances the biological activity in soil, as that material is incorporated, and decomposition and synthesis cause changes in the geometry of the porous matrix of the soil. Therefore, this study aimed to evaluate the physical quality of soil in the area of application of doses of cashew residue, analyze how these doses interfere on the soil condition and propose alternatives for maintaining or improving its quality. Samples were collected with preserved structure and not preserved structure for the achievement of the following determinations: particle size analysis, bulk density, particle density, soil water retention curve, soil resistance to penetration and least limiting water range. In this work were adopted a DBC, five treatments in four blocks. The treatments T1 = 0, T2 = 16 t ha⁻¹, T3 = 32 t ha⁻¹, T4 = 48 t ha⁻¹ and T5 = 64 t ha⁻¹. To verify the normality of the data was applied the Kolmogorov-Smirnov test and analysis of variance (ANOVA) to test the hypothesis. The values of soil density was above the established for sandy soils. The particle density was close to the values established for mineral soils. There is a predominance of macropores compared to micropores. The resistance to penetration did not exceed the critical threshold of 2.0 MPa. The least limiting water range obtained field capacity as the upper limit and permanent wilting point as the lower limit. However, none of these variables mentioned above were statistically significant. The soil water retention curves had typical behavior of sandy soils, observing a reduced capacity for water retention in treatments where residue was applied. Doses of cashew residue had no effect on the significant variables, except the water retention curve.

Keywords: organic matter, porous geometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Área de aplicação do resíduo.....	33
Figura 2.	Processo de trituração do resíduo.....	33
Figura 3.	Resíduo antes da trituração.....	33
Figura 4.	Resíduo triturado.....	33
Figura 5.	Precipitação pluviométrica acumulada para os anos de 2009 a 2012 no município de Pacajus - CE	49
Figura 6.	Curvas de retenção de água no solo (CRA) em área de adubação com resíduo de caju para os cinco tratamentos, T1 = 0 t ha ⁻¹ , T2 = 16 t ha ⁻¹ , T3 = 32 t ha ⁻¹ , = 48 t ha ⁻¹ e T5 = 64 t ha ⁻¹	53
Figura 7.	Variação do conteúdo de água com a densidade do solo (Ds) nos níveis críticos da capacidade de campo ($\psi = 0,01$ MPa), ponto de murcha permanente ($\psi = 1,5$ MPa), porosidade de aeração de 10% e resistência à penetração de 2 MPa no tratamento T1	54
Figura 8.	Variação do conteúdo de água com a densidade do solo (Ds) nos níveis críticos da capacidade de campo ($\psi = 0,01$ MPa), ponto de murcha permanente ($\psi = 1,5$ MPa), porosidade de aeração de 10% e resistência à penetração de 2 MPa no tratamento T2	55
Figura 9.	Variação do conteúdo de água com a densidade do solo (Ds) nos níveis críticos da capacidade de campo ($\psi = 0,01$ MPa), ponto de murcha permanente ($\psi = 1,5$ MPa), porosidade de aeração de 10% e resistência à penetração de 2 MPa no tratamento T3	55
Figura 10.	Variação do conteúdo de água com a densidade do solo (Ds) nos níveis críticos da capacidade de campo ($\psi = 0,01$ MPa), ponto de murcha permanente ($\psi = 1,5$ MPa), porosidade de aeração de 10% e resistência à penetração de 2 MPa no tratamento T4	56
Figura 11.	Variação do conteúdo de água com a densidade do solo (Ds) nos níveis críticos da capacidade de campo ($\psi = 0,01$ MPa), ponto de murcha permanente ($\psi = 1,5$ MPa), porosidade de aeração de 10% e resistência à penetração de 2 MPa no tratamento T5	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Análise granulométrica e classificação textural	31
Tabela 2.	Composição química do resíduo de caju	32
Tabela 3.	Médias de densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp) para tratamentos e blocos	38
Tabela 4.	Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp)	41
Tabela 5.	Teste de hipóteses para os parâmetros do modelo para as variáveis densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp)	42
Tabela 6.	Médias da porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac) e microporosidade (Mic) para os tratamentos e blocos	44
Tabela 7.	Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis, porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac) e microporosidade (Mic)	45
Tabela 8.	Teste de hipóteses para os parâmetros do modelo para as variáveis, porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac) e microporosidade (Mic)...	46
Tabela 9.	Médias de resistência do solo à penetração (RP) para tratamentos e blocos	46
Tabela 10.	Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável resistência do solo à penetração (RP)	49
Tabela 11.	Teste de hipóteses para os parâmetros do modelo para a variável resistência do solo à penetração (RP)	50
Tabela 12.	Parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten para as curvas de retenção de água no solo (CRA)	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Saúde do solo e qualidade ambiental	15
2.2	Conceito de qualidade do solo	16
2.3	Indicadores de qualidade do solo	18
2.4	Indicadores físicos de qualidade do solo	20
2.4.1	<i>Densidade do solo</i>	22
2.4.2	<i>Porosidade do solo</i>	23
2.4.3	<i>Estabilidade de agregados</i>	25
2.4.4	<i>Curva de retenção de água no solo</i>	26
2.4.5	<i>Resistência do solo à penetração</i>	27
2.4.6	<i>Intervalo hídrico menos limitante</i>	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1	Local do experimento	31
3.2	Caracterização da área experimental	32
3.3	Coleta das amostras	34
3.4	Determinações	34
3.4.1	Análise granulométrica	34
3.4.2	<i>Densidade do solo (Ds)</i>	35
3.4.3	<i>Densidade de partículas (Dp).....</i>	35
3.4.4	<i>Porosidade</i>	35
3.4.5	<i>Curva de retenção de água no solo (CRA)</i>	36
3.4.6	<i>Resistência do solo à penetração (RP)</i>	36
3.4.7	<i>Intervalo hídrico menos limitante (IHML)</i>	37
3.5	Análise estatística	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Densidade do solo e densidade de partículas	38
4.2	Porosidade total, macroporosidade e microporosidade	42
4.3	Resistência do solo à penetração	46
4.4	Curva de retenção de água no solo	50
4.5	Intervalo hídrico menos limitante	54

5	CONCLUSÕES	60
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o crescimento populacional teve um salto significativo e para atender a demanda por alimentos e matérias-primas foi necessário um avanço das fronteiras agrícolas e intensificação das áreas já em uso. Isso fez com que matas fossem removidas e substituídas por campos de produção, onde as terras agricultáveis têm sido exaustivamente utilizadas, em muitos casos sem grandes cuidados quanto à conservação do solo, fazendo com que esse recurso perca a sua qualidade relativa aos atributos químicos, físicos e biológicos, causando grandes perdas da qualidade ambiental e prejudicando o desempenho do ecossistema.

Práticas agrícolas que não priorizam o manejo conservacionista são a causa de sérios problemas quanto à sustentabilidade dos sistemas produtivos. Promovem redução de produtividade, em consequência da alteração das características originais do solo, como a perda de fertilidade, diminuição do teor de matéria orgânica, aumento da densidade do solo, compactação, contaminação, entre outros.

O modelo de exploração agrícola brasileiro, adotado a partir da década de 1960, foi formulado sobre moldes do uso da mecanização de forma irresponsável e fora das recomendações técnicas, o que tende a degradar os recursos naturais, comprometendo a sustentabilidade agrícola. Durante muito tempo a preocupação concentrou-se em aumentar a produção de alimentos para atender a demanda da população, sem estratégias voltadas para a manutenção da saúde do solo e do ambiente agrícola.

Atualmente é cada vez mais crescente a preocupação com a saúde ambiental, em todos os níveis, como base indispensável para a manutenção do homem sobre a terra; busca-se, hodiernamente, o que se convencionou chamar de 'sustentabilidade ecológica'. Como tal, entende-se, genericamente, a capacidade do ambiente produzir os meios necessários à manutenção das populações humanas (alimentos, fibras...), ao tempo em que também ele, o ambiente, seja cuidado e mantido em condições de, *ad infinitum*, exercer essas funções.

Para a verificação da sustentabilidade do ambiente usam-se diversas variáveis do sistema, a partir das quais se podem fazer interpretações da sua situação atual, além de se poder prognosticar ações, com vistas à manutenção do estado atual ou melhoria do mesmo. O produto interpretativo das variáveis analisadas é chamado de Qualidade do Sistema. Uma

dificuldade reside na escolha de variáveis isoladas (também chamadas de indicadores de qualidade), ou combinações delas, que melhor representem o sistema.

Sendo a qualidade do solo uma condição indispensável para a manutenção da qualidade ambiental, é necessário se realizar estudos para verificar as alterações decorrentes do manejo aplicado e como essas atividades podem alterar o estado do solo. A aplicação de resíduos orgânicos, como o resíduo de caju, sobre a superfície do solo intensifica a atividade biológica neste, à medida que esse material é incorporado, cujos produtos de decomposição e de síntese proporcionam alterações na geometria porosa da matriz do solo. Para a verificação de tal hipótese, alguns indicadores de qualidade do solo foram quantificados em uma área agricultada. Diante do exposto, a presente proposta de pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade do solo medida por indicadores físicos em área com aplicação de resíduo de caju após três anos, analisar como diferentes doses atuam sobre a condição do solo e propor alternativas para a manutenção ou melhoria da sua qualidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Saúde do solo e qualidade ambiental

O uso e manejo inadequados dos solos provocam degradação e alterações nos ecossistemas naturais, como produto da desvinculação entre o crescimento econômico e desenvolvimento sustentado (ALVARENGA; DAVIDE; 1999). Atividades que utilizam, por exemplo, a mecanização de forma errônea e sem adoção de práticas de conservação provocam sérios danos à saúde do solo. O revolvimento contínuo e intenso do solo pode resultar em diminuição de sua qualidade (COSTA; GOEDERT; SOUSA, 2006), promover a compactação, resultando na redução do espaço poroso, aumento da densidade do solo e resistência à penetração das raízes (MATIAS *et al.*, 2009).

A adoção de práticas de manejo conservacionista como o plantio direto, que nos últimos anos tem sido difundido no Brasil, principalmente na região Sul, é um exemplo da mudança desse contexto, no qual a sustentabilidade não é o foco. Lopes *et al.* (2004) consideram que a introdução do sistema de plantio direto foi um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura brasileira.

Para que a produção seja assegurada, bem como a qualidade ambiental, é necessário que haja uma maior atenção para a conservação do solo, buscando sempre formas que amenizem os impactos causados pelas atividades agrícolas. Frente à ideia de que a qualidade ambiental também é dependente, dentre outros fatores, da qualidade do solo, cientistas e estudiosos começaram a preocupar-se mais com a função do solo no contexto da degradação dos recursos naturais e sustentabilidade agrícola.

Por muito tempo a agropecuária se desenvolveu sem a consciência da necessidade de conservação dos recursos naturais, ou pelo menos, não no mesmo ritmo. Somente na década de 1990 a discussão sobre qualidade do solo ganhou espaço no meio científico, quando os cientistas se depararam com a situação de extensas áreas degradadas com perdas significativas de produtividade, e em casos mais severos sem condições de uso.

A partir do lançamento, em 1993, do livro "Soil and water quality: an agenda for agriculture", pelo "Board on Agriculture National Research Council" dos Estados Unidos da América, o enfoque sobre qualidade do solo teve crescimento expressivo (GOMES *et al.*

2006). Nele é ressaltada a importância da qualidade do solo como componente indispensável na determinação da qualidade global do ambiente, tanto quanto na qualidade do ar e da água.

Assim, com essa nova visão sobre a degradação dos recursos naturais sendo abordada nas publicações, e sua relação com o solo no contexto da sustentabilidade agrícola, é que a qualidade do solo passou a ser assunto de grande interesse dentro das ciências que estão envolvidas com o uso deste importante recurso natural.

De acordo com Zilli *et al.* (2003), o crescimento do número de áreas agrícolas degradadas pelas atividades agropecuárias tem promovido uma mudança de concepção do uso da terra, fundamentada em uma visão holística do processo agrícola, na qual os recursos naturais (solo, água e biodiversidade) são explorados de forma mais sustentável.

Lal e Pierce (1991) foram precursores em alertar sobre a relação entre o manejo do solo e a sustentabilidade da agricultura, incitando a comunidade a procurar novas técnicas de manejo, capazes de balancear o requerimento do solo e das culturas (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). A partir de então, a preocupação com o desenvolvimento sustentável levou à elaboração do conceito de qualidade do solo e diferentes percepções surgiram desde que o tema foi proposto.

2.2 Conceito de qualidade do solo

Na sua origem conceitual, qualidade do solo foi apresentada como sendo o conjunto das várias propriedades do solo que contribuía para a produtividade do mesmo. No entanto, uma simples análise das propriedades do solo por si só, segundo Carter *et al.* (1997), não pode fornecer uma medida da qualidade do solo, mesmo sendo ela abrangente ou sofisticada.

De acordo com Karlen, Ditzler e Andrews (2003), durante os dez primeiros anos após o surgimento do conceito de qualidade do solo o mesmo esteve muito associado ao conceito de fertilidade química, pois acreditava-se, que um solo quimicamente rico era um solo com alta qualidade, isto porque tinha a capacidade de prover a produção agrícola. Entretanto, a percepção de qualidade do solo evoluiu, principalmente na última década, e, num entendimento mais amplo, percebe-se que não basta apenas o solo apresentar alta fertilidade química, mas, também, possuir boa estruturação e abrigar uma alta diversidade de organismos (ZILLI *et al.*, 2003).

O conceito de qualidade de solo é bastante amplo e a dificuldade na sua definição, segundo Lima, Pillon e Lima (2007), advém da dependência de características intrínsecas, de seu uso e manejo, de interações do agroecossistema, e de fatores socioeconômicos e políticos. Eles também relatam sobre a dificuldade de definir e quantificar a qualidade do solo, afirmando que não tem sido uma tarefa fácil, pois o conceito é bastante amplo e refere-se ao conhecimento de uma ampla gama de atributos que são dependentes de interações no ecossistema e da variabilidade espacial e temporal.

Têm-se várias definições de diversos estudiosos e cientistas para qualidade do solo, porém a mais utilizada e aceita é aquela proposta por Doran e Parkin (1994), que diz que a qualidade do solo é “a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais; manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens”. Vê-se que esse conceito traz uma nova visão, calcada na preocupação com a preservação do ambiente e a manutenção do solo livre de agentes biológicos e químicos prejudiciais à vida.

Assim, um solo agrícola com boa qualidade possui todos os atributos físicos, químicos e biológicos em condições suficientes para promover e sustentar a produtividade agrícola, bem como impõe mínima degradação ao ambiente. Já um solo com má qualidade não possui alguns ou todos os atributos em condições necessárias para uma produção agrícola satisfatória.

Karlen *et al.* (1997) definem qualidade do solo como a capacidade de um tipo específico de solo em seu meio natural ou modificado exercer várias funções como sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde humana, de plantas e de animais. Gomes *et al.* (2006) dizem que a qualidade do solo é aceita, frequentemente, como uma característica abstrata que depende, além de seus atributos intrínsecos, de fatores externos, como as práticas de uso e manejo, de interações com o ecossistema e das prioridades socioeconômicas e políticas.

Essas definições foram construídas abordando dois fatores, uma primeira parte intrínseca ao próprio solo, focando a capacidade inerente ao solo de atuar como meio de crescimento das plantas, envolvendo todos os aspectos necessários como meio físico e fornecimento de nutrientes e água; a outra parte mostra o conceito voltado para o manejo do solo, sendo esse fator totalmente dependente das práticas agrícolas empregadas. Em outras palavras, é o que se chama de qualidade inerente e qualidade dinâmica, a primeira diz-se não

modificável pelo manejo, já a outra são aquelas características que podem ser alteradas pelas atividades que o homem emprega ao solo (LANNA, 2002).

Todas essas definições de qualidade do solo têm em comum a capacidade deste exercer uma determinada função no presente e no futuro, em que é possível notar a conexão entre qualidade do solo e sustentabilidade agrícola, sempre relacionada à manutenção do uso sustentado do solo ao longo do tempo, e assim assegurar às plantas um meio para seu crescimento, garantir o suprimento adequado de água e nutrientes, além de atuar como receptor capaz de anular e/ou atenuar os efeitos de compostos nocivos à saúde dos ecossistemas. Nesse contexto, de acordo com Vezzani e Mielniczuk (2009), qualidade do solo é a integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, que o habilita a exercer suas funções na plenitude.

O termo “saúde do solo” também é bastante utilizado na literatura para se referir à qualidade do solo, e é preferido por muitos, segundo Carvalho (2005), por retratar o solo como sistema vivo e dinâmico. Esse entendimento do solo como um corpo vivo significa considerar que todos os seus processos e componentes estão funcionalmente bem integrados.

Dessa forma, a qualidade do solo influencia o potencial de uso, a produtividade e a sustentabilidade global do agroecossistema, sendo seu estudo necessário para fornecer informações sobre o manejo do solo e assegurar a tomada de decisões para uma melhor utilização desse recurso (SPOSITO; ZABEL, 2003).

Independente de qual definição de qualidade do solo seja adotada ou considerada a mais completa, o fator de maior relevância trata do entendimento a respeito da qualidade do solo, e assim, segundo Silva (2008), possibilitar planejar bom funcionamento do solo no presente sem este ser degradado no futuro. Por meio do monitoramento das mudanças na qualidade do solo, pode-se especificar se um conjunto de práticas agrícolas é sustentável.

2.3 Indicadores de qualidade do solo

O entendimento do solo como um componente da biosfera tem aumentado o interesse em avaliar a sua qualidade, o que tem feito com que esse assunto esteja recebendo atenção crescente na agricultura sustentável (HAYNES, 2005). A qualidade pode ser avaliada a partir de aspectos físicos, químicos e biológicos do solo (ASGHARI; ABBASI; NEYSHABOURI,

2011), e também sua relação com o manejo (DORAN; PARKIN, 1994), sendo a base para a quantificação da sustentabilidade agrícola.

A discussão sobre o uso desses indicadores vem ganhando forças nos últimos anos, e trazendo consigo também a dificuldade de se chegar a um ponto comum sobre quais parâmetros podem ser utilizados para avaliar o impacto no solo decorrente do uso agrícola (ZILLI *et al.*, 2003). Na prática, o que se observa é que os agricultores utilizam indicadores “empíricos”, fruto da experiência acumulada e passada a cada geração (KARLEN; DITZLER; ANDREWS, 2003).

A qualidade do solo é tão importante quanto do ar e da água como fator determinante para a qualidade global do ambiente. Todavia, diferentemente do ar e da água, para os quais existem padrões de qualidade, a definição e quantificação da qualidade do solo não é simples em decorrência da complexidade dos fatores envolvidos e de não ser o solo consumido diretamente pelo homem e animais (GOMES, 2010). Porém, nos estudos que envolvem as relações agricultura e meio ambiente é crescente a necessidade de adoção de critérios que possam avaliar, de forma correta, as condições atuais, bem como as condições ideais, dos compartimentos do agroecossistema (GOMES; FILIZOLA, 2006).

A avaliação da qualidade de um solo, para ter confiabilidade e consistência, exige um método sistemático para se determinar e interpretar as propriedades que possam ser usadas como indicadores e então representarem eficientemente as funções que um solo pode exercer (TÓTOLA; CHAER, 2002). Nenhum método isolado tem caráter amplo para monitorar e avaliar eficientemente a qualidade do solo (GLOVER; REGANOLD; ANDREWS, 2000).

No monitoramento da qualidade do solo, os atributos usados como indicadores de mudanças devem envolver processos ocorrentes no ecossistema; integrar propriedades e processos físicos, químicos e biológicos; ser acessíveis e aplicáveis no campo; ser sensíveis às variações de manejo e de clima; e ser componentes de banco de dados de solos, sempre que possível, além de apresentar a sensibilidade ao manejo em uma escala de tempo que permita a verificação (DORAN; PARKIN, 1994).

Numa primeira avaliação da qualidade do solo, os indicadores visuais são bastante utilizados para se verificar alterações nas condições originais do mesmo. Podem ser usados como indicadores: a erosão, fauna do solo, vegetação, estado de decomposição e incorporação da serapilheira, presença de fauna silvestre, entre outros.

De acordo com Niero *et al.* (2010), um motivo que leva à adoção do uso de indicadores visuais da qualidade do solo é muitas vezes a difícil utilização, devido ao custo e tempo dos métodos laboratoriais, embora sejam bastante exatos e precisos.

No tocante aos indicadores químicos, a matéria orgânica do solo se destaca. Ela é bastante utilizada para indicar alterações ocorridas no ambiente, fornecendo informações capazes de avaliar a qualidade do solo, principalmente quando se compara os resultados com valores de referência determinados experimentalmente ou com área com vegetação nativa preservada, assegurando os padrões indicativos das condições originais do solo. Ela pode ser avaliada por meio do teor de carbono orgânico total, sendo considerado por muitos autores um dos indicadores chave da qualidade do solo.

A matéria orgânica mantém relação com várias propriedades físicas, químicas e biológicas (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). Além de ser influenciada pelo manejo das culturas, ela também é sensível à adição de fertilizantes químicos e preparo do solo, conforme Leite *et al.* (2003). Tem estreita relação com estabilidade dos agregados, estrutura, infiltração e retenção de água, resistência à erosão, atividade biológica, capacidade de troca de cátions, disponibilidade de nutrientes para as plantas, lixiviação de nutrientes, liberação de CO₂ e outros gases para a atmosfera.

2.4 Indicadores físicos de qualidade do solo

A qualidade do solo é considerada principalmente sob três aspectos: químico, físico e biológico, em que a qualidade física assume importância na avaliação do grau de degradação do solo e na identificação de práticas de uso sustentáveis (ANDRADE; STONE, 2008).

Para mensuração da qualidade física do solo, tem-se proposto o emprego de suas propriedades relacionadas a processos envolvidos no sistema solo-planta, sendo o conhecimento da qualidade física do solo de extrema importância para avaliar o nível de degradação imposta pelo uso agrícola e para estabelecer estratégias de utilização e manejo sustentável, afirmam Lima, Pillon e Lima (2007). Do ponto de vista das atividades agrícolas, os indicadores físicos assumem importância por estabelecerem relações fundamentais com os processos hidrológicos, tais como taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Possuem também função essencial no suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo (GOMES; FILIZOLA, 2006).

Segundo Dexter (2004), a qualidade física afeta bastante as qualidades química e biológica, ressaltadas as relações de interdependência entre estas, melhorando a qualidade física de determinado solo indiretamente se está contribuindo para a melhoria das suas condições biológicas e químicas.

De acordo com Reynolds *et al.* (2002), para um solo agrícola apresentar uma boa qualidade física ele deve ser “forte” o suficiente para manter uma boa estrutura, dar suporte físico às culturas oferecendo sustentação, resistir à erosão e compactação, porém deve também ser “fraco” o suficiente para permitir o crescimento das raízes e sem restrições à proliferação de flora e fauna do solo.

Para a avaliação da qualidade do solo, Ingaramo (2003) cita que as principais propriedades físicas consideradas apropriadas para tal fim são: porosidade, distribuição do tamanho de poros, densidade do solo, resistência mecânica, condutividade hidráulica, distribuição de tamanhos de partículas e profundidade em que as raízes crescem. Outra propriedade bastante utilizada é a estrutura, pois dentre as propriedades físicas do solo, ela é uma propriedade de significativa sensibilidade ao tipo de manejo empregado ao solo, que, de acordo com Albuquerque *et al.* (1995), pode ser analisada segundo variáveis relacionadas a sua forma, ou a sua estabilidade (CAMPOS *et al.*, 1995).

Para Reichert, Reinert e Braida (2003), a qualidade física do solo também está relacionada ao solo que permite a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, córregos e subsuperfície, responde ao manejo e resiste à degradação; permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; e permite o crescimento das raízes. Das características relacionadas à dinâmica da água no solo, a infiltração de água é um dos fenômenos que melhor descreve as condições físicas internas do solo, pois, para Alves e Cabeda (1999), uma boa qualidade estrutural leva a uma distribuição de tamanho de poros favorável ao crescimento de raízes e à capacidade de infiltração de água no solo.

Esses índices de qualidade física do solo são bastante utilizados principalmente quando se compara seus valores com valores de referência, determinados experimentalmente com base em parâmetros agrônômicos, ou de áreas com solo sob vegetação natural, que segundo Araújo, Goedert e Lacerda (2007) são os dois diferentes enfoques que têm sido propostos para se estabelecerem critérios de referência: o solo de área sob vegetação natural, por representar as condições ecológicas de estabilidade do ambiente; e parâmetros

agronômicos que maximizem a produção e conservem o meio ambiente (SANTANA; BAHIA FILHO, 2002).

2.4.1 Densidade do solo

O solo quando mantido seu estado original, sob vegetação nativa, apresenta características físicas, como densidade, porosidade, agregação e permeabilidade consideradas adequadas (ANDREOLA; COSTA; OLSZEWSKI, 2000). Porém, de acordo com o uso e manejo o solo pode diferenciar quanto a essas características, tendo a agregação, estrutura, teor de matéria orgânica, umidade e densidade alteradas.

O conhecimento do comportamento da densidade do solo, propriedade que expressa a razão entre a massa de sólidos e o volume do solo, pode refletir um importante indicador das alterações decorrentes do manejo do solo. Pois, após introdução da ação antrópica no meio, torna-se imprescindível a avaliação dessas características como a densidade, devido ao fato dessas ações serem capazes de provocar perda de qualidade do solo.

Práticas como a aração e o pisoteio animal podem destruir os agregados e causar compactação do solo, com isso aumentar a sua densidade, com redução da porosidade total, da macroporosidade e promover mudanças na continuidade e distribuição de poros. A compactação do solo é um processo no qual há um aumento da resistência do solo à penetração, da permeabilidade e da infiltração de água, resultantes de cargas aplicadas na superfície do solo (SOANE; OUWERKERK, 1994).

Já a adição de matéria orgânica ao solo pode promover melhorias a sua estrutura, reduzindo a densidade, pois a matéria orgânica influencia de forma direta e indireta todas as características do solo, de modo que a diminuição do carbono orgânico total está relacionada à degradação física dos solos, e sua adição através do manejo adequado modifica a capacidade de carga dos solos, que se tornam menos vulneráveis à compactação (VIANA *et al.*, 2011).

A densidade do solo é um atributo que varia com o tempo, por processos naturais de adensamento e/ou práticas de manejo (AMARO FILHO; ASSIS JÚNIOR; MOTA, 2008). Por estas razões, a densidade é frequentemente identificada como um indicador da qualidade do solo.

É o parâmetro geralmente utilizado para indicar a compactação do solo (SUUSTER *et al.*, 2011), haja vista que quando o solo sofre compactação a densidade aumenta e a

porosidade decresce correspondentemente (KELLER; HAKANSSON, 2010). Se a densidade se torna muito alta, pode limitar o crescimento radicular das plantas (LOGSDON; KARLEN, 2004). No entanto, esses autores afirmam que prever os efeitos específicos da compactação do solo sobre o crescimento das culturas é complicado, porque as interações entre os agentes físicos, químicos e fatores biológicos são extremamente variáveis.

O sistema radicular das culturas apresenta diferentes graus de tolerância à compactação, porém, de maneira generalizada, as plantas respondem a valores críticos, a partir dos quais se iniciam restrições ao seu crescimento (SILVA; REINERT; REICHERT, 2000).

A compactação pode causar efeitos adversos no solo, interferindo, por exemplo, no processo de infiltração, o qual tem sua taxa reduzida e o escoamento superficial aumentado, favorecendo a formação de enxurradas e conseqüentemente da erosão, além da baixa aeração. JIMENEZ *et al.* (2008) também citam a redução da atividade biológica quando há a formação de camadas compactadas.

Com isso, evidencia-se que a densidade torna-se uma ferramenta indispensável na avaliação da qualidade do solo, pois é sensível as alterações decorrentes do manejo empregado. Mesmo não sendo um atributo estático, Kiehl (1979) apresentou as amplitudes de variação da densidade para diferentes solos. Para solos turfosos o limite médio está compreendido entre 0,20 a 0,40 g cm⁻³, os humíferos 0,75 a 1,00 g cm⁻³, argilosos 1,00 a 1,25 g cm⁻³, já os arenosos de 1,25 a 1,40 g cm⁻³.

2.4.2 Porosidade do solo

Dos componentes do manejo, o preparo talvez seja a atividade que mais influi no comportamento físico do solo, pois atua diretamente na estrutura deste, sendo a compactação uma das principais conseqüências do manejo inadequado do solo (JORGE *et al.*, 2012). Essas modificações decorrentes do manejo podem causar alterações significativas na estrutura, densidade do solo e porosidade, por exemplo.

O solo é um sistema trifásico disperso e a caracterização de sua porosidade total é de extrema importância para escolha de atividades mais apropriadas para o manejo do solo, pois este sistema está intimamente ligado à dinâmica do armazenamento e do movimento de solutos e de circulação de gases no seu interior, essenciais aos processos bioquímicos das

plantas, sobretudo aqueles relacionados com a produtividade vegetal (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A porosidade do solo, segundo Kiehl (1979), pode ser definida como o total de vazios do solo ocupados pela água e pelo ar, sendo dependente do estado físico do solo, pois é função da composição granulométrica e de como as partículas primárias do solo se encontram arrançadas. Sua relação com a condutividade hidráulica é tema de muitas discussões e estudos, a fim de melhorar a compreensão do comportamento físico do solo (SASAL; ANDRIULO; TABOADA, 2006).

A mensuração da porosidade do solo tem sido utilizada para caracterizar a estrutura do solo, uma vez que influencia inúmeras funções deste. Uma função importante é a transmissão de água, como a infiltração, que afeta diretamente a produtividade das plantas e do ambiente, aumenta a armazenagem de água para plantas e de recarga das águas subterrâneas e reduz a erosão (LIPIEC *et al.*, 2006).

Kay e VandenBygaart (2002) relatam ainda a relação entre a porosidade do solo e o teor de matéria orgânica, abordando seu papel crítico na produtividade biológica e hidrologia dos solos agrícolas, destacando as características dos poros de possuírem diferentes tamanhos, forma e continuidade influenciarem na infiltração, armazenagem e drenagem de água, circulação e distribuição de gases e facilidade de penetração do solo pelas raízes, além, de mencionar a matéria orgânica como responsável pela estabilização dos poros (devido a sua atuação no processo de agregação), aumentando a persistência destes poros quando o solo é exposto a pressões externas. As características dos poros por sua vez influenciam a dinâmica da matéria orgânica por meio de seu impacto sobre o habitat de organismos (equilíbrio entre ar e água, por exemplo) que estão envolvidas na decomposição da matéria orgânica.

Sort e Alcañiz (1999) em trabalho realizado com a aplicação de lodo de esgoto verificaram que adição desse tipo de resíduo resultou na alteração da porosidade do solo, aumentando a proporção entre macro e microporos. Eles afirmam ainda que o lodo de esgoto pode melhorar a estrutura do solo e propriedades físicas em geral, destacando a porosidade como um parâmetro importante a se considerar, uma vez que ela afeta o fluxo de fluidos e a armazenagem de água para as plantas.

Os pesquisadores Gonçalves e Moraes (2012) relatam sobre as medições de características dos poros pela análise de imagens de seções finas ou blocos de solo a partir de amostras não deformadas e impregnadas, que segundo eles estão se tornando cada vez mais

utilizadas para caracterizar a estrutura do solo, uma vez que influenciam várias de suas funções, como por exemplo, a infiltração de água.

Koorevaar, Melenik e Dirksen (1983) sugeriram uma classificação em que os poros do solo são divididos em três grupos: macroporos (diâmetro maior 100 μm), mesoporos (diâmetro entre 30 e 100 μm) e microporos (diâmetro menor que 30 μm), cuja principal função dos macroporos de acordo com Libardi (2005) é a aeração do solo e condução da água durante o processo de infiltração; dos mesoporos é a condução da água durante o processo de infiltração e redistribuição e microporos a armazenagem e retenção de água.

Assim, vê-se que a porosidade é de grande importância para o conhecimento das condições ambientais do solo no desenvolvimento e na produção vegetal. No entanto, conhecer apenas a porosidade não é suficiente, o conhecimento a respeito da distribuição dos poros por tamanho é mais importante e permite muitas inferências acerca das relações solo-planta (AMARO FILHO; ASSIS JÚNIOR; MOTA, 2008).

2.4.3 Estabilidade de agregados

A estrutura do solo é apontada como um bom indicador de qualidade física. É uma propriedade muito dinâmica e bastante sensível às variações decorrentes das práticas de manejo adotadas. Geralmente podem-se notar alterações de acordo com a atividade empregada ao solo, como com a adição de matéria orgânica ou o superpastoreio animal. Sua degradação pode comprometer o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produção agrícola (RICHART *et al.*, 2005).

Um dos modos de avaliação da estrutura do solo é por meio da análise da estabilidade dos agregados. Saygin *et al.* (2012) definem estabilidade dos agregados como a resistência do solo contra os efeitos destrutivos da chuva, escoamento e do vento. Eles também apontam a estabilidade dos agregados como um dos mais importantes indicadores de degradação do solo, sendo sua quantificação e interpretação de grande importância na determinação do comportamento físico do solo.

Como a estrutura do solo é uma propriedade dinâmica e pode ser alterada de acordo com a atividade desenvolvida, os agregados podem se formar, se desintegrar e/ou reagregar. Atividades mais intensas podem destruir esses agregados ao ponto de causar danos severos à estrutura do solo, reduzindo a sua qualidade. A destruição dos agregados é o primeiro passo

para o desenvolvimento de crostas no solo e da vedação da superfície, o que reduz a infiltração de água e aumenta a erodibilidade (MATAIX-SOLERA *et al.*, 2011).

A estabilidade dos agregados é um parâmetro complexo que se relaciona com diversas propriedades do solo, tais como estabilização do carbono, porosidade do solo, infiltração de água, aeração, retenção de água, condutividade hidráulica, resistência à erosão pela água e escoamento superficial. A manutenção da alta estabilidade de agregados do solo é essencial para preservar a produtividade do solo, minimizando a erosão e a sua degradação (AN *et al.*, 2010).

2.4.4 Curva de retenção de água no solo

Outra forma de avaliar a qualidade física do solo é pelo estudo da dinâmica da água, uma vez que, em parte, seu comportamento dentro do solo pode ser atribuído à condição que o solo se encontra. O solo degradado, além de reduzir a quantidade de água disponível, diminuir a taxa de difusão do oxigênio e aumentar a resistência do solo à penetração das raízes, pode também limitar o crescimento das plantas mesmo havendo disponibilidade de água na faixa de potencial considerada como água disponível.

De acordo com Tormena, Silva e Libardi (1998), a capacidade de um solo em armazenar água para o crescimento e desenvolvimento das plantas está diretamente relacionada a atributos de textura e estrutura do solo, podendo ser identificada, entre outros, pela curva característica de água no solo.

Segundo Costa (2012) as propriedades hidráulicas do solo, aquelas propriedades físicas que descrevem a relação solo-água, mais importantes são a curva de retenção de água e de condutividade hidráulica do solo. Tendo como principal uso dessas propriedades, a estimativa da disponibilidade de água para as plantas.

A curva de retenção de água no solo representa a relação entre o teor de água e a energia com a qual ela está retida e sua determinação é essencial no estudo das relações solo-água e é baseada no levantamento de um número de pontos, normalmente selecionados de forma arbitrária, pelos quais é traçada uma curva para representar as características de retenção da água do solo, com base nesses pontos (SILVA *et al.*, 2006).

A curva característica de água no solo permite quantificar o conteúdo de água que um solo pode reter dentro de determinados limites de potenciais matriciais. Conforme Urach

(2007) “essa determinação reveste-se de grande importância, visto que a resposta das plantas está relacionada mais diretamente ao potencial energético da água no solo, do que simplesmente ao teor de água no solo”.

Diversas aplicações na agricultura e hidrologia exigem a quantificação do fluxo de água, tais como cálculo de volumes de irrigação, adubação, correção de áreas poluídas e muitos outros (SOLONE *et al.*, 2012). Com isso, evidencia-se a importância dessa ferramenta no manejo da agricultura moderna.

2.4.5 Resistência do solo à penetração

De acordo com Lima *et al.* (2012) condições físicas restritivas ao bom crescimento e desenvolvimento das plantas reduzem a capacidade produtiva dos solos e a sustentabilidade ambiental. A resistência do solo à penetração pode ser considerada uma dessas condições de restrição, pois quando se encontra em níveis elevados pode-se apresentar um empecilho ao crescimento radicular.

Assim, o monitoramento de indicadores de qualidade do solo permite a proposição de alternativas de uso do solo, compatíveis com os princípios de sustentabilidade (FREITAS *et al.*, 2012). Entre esses indicadores têm sido recomendados os que podem sofrer mudanças em médio prazo, a exemplo, a resistência do solo à penetração (CARVALHO; GOEDERT; ARMANDO, 2004).

A resistência do solo à penetração é o atributo físico adotado como indicativo de compactação (SILVA *et al.*, 2003), amplamente utilizado na detecção de camadas compactadas, estudo da ação de ferramentas de máquinas no solo, prevenção de impedimento mecânico ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, predição da força de tração necessária para execução de trabalhos, conhecimento de processos de umedecimento e ressecamento, dentre outras (CUNHA; VIEIRA; MAGALHÃES, 2002).

A compactação, uma alteração estrutural que promove reorganização das partículas e de seus agregados, pode limitar as trocas gasosas, absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, atraso da emergência das plântulas e comprometimento do desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea, resultando em decréscimo na produtividade das culturas (MODOLO *et al.*, 2008). Grzesiak *et al.* (2002) também abordam o assunto, enfatizando que o efeito restritivo da compactação pode causar efeitos físicos e

fisiológicos sobre o crescimento e a produtividade de plantas devido ao desenvolvimento limitado do sistema radicular.

Assim, a avaliação e o monitoramento das camadas de impedimento mecânico do solo ao desenvolvimento radicular, é ferramenta fundamental para caracterizar a evolução de sistemas agrícolas (CHERUBIN *et al.*, 2011).

Segundo Araújo, Tormena e Silva (2004), para melhor caracterizar os efeitos de uso e manejo que influenciam a degradação e a qualidade física do solo, são necessárias medidas integradoras das modificações decorrentes, ou seja, as relativas à taxa de difusão do oxigênio e à impedância mecânica sobre os sistemas radiculares.

De acordo com Souza *et al.* (2006), os valores de resistência do solo à penetração de 1,5 a 3,0 MPa são considerados críticos ao crescimento radicular das plantas. No entanto Taylor, Roberson e Paker (1966) consideram que valores de resistência à penetração acima de 2,0 MPa são impeditivos ao crescimento e funcionamento do sistema radicular. Tavares Filho *et al.* (2001) afirmam que essa restrição poderá também ser afetada pela estrutura do solo, por isso, um diagnóstico qualitativo (distribuição espacial das estruturas no perfil do solo) aliado com o quantitativo (grau da compactação do solo) se torna de grande importância, não só para auxiliar a verificação da qualidade do manejo utilizado, mas também para auxiliar o estabelecimento de limites de compactação que não afetem o desenvolvimento radicular das plantas nos diferentes sistemas de manejo.

A resistência do solo à penetração segundo Filho *et. al* (2012) é influenciada por uma série de propriedades do solo, como densidade, teor de umidade, textura agregação, cimentação, teor de matéria orgânica e mineralogia. No entanto, Kaiser *et. al* (2009) apontam a umidade do solo como o principal fator que estabelecerá o momento em que a resistência do solo irá tornar-se limitante às plantas.

Experimentos realizados com vários solos revelam claramente que a resistência à penetração está diretamente relacionada à densidade e exibe uma relação inversa para o conteúdo de água no solo (VAZ *et al.*, 2011).

2.4.6 Intervalo hídrico menos limitante

Sabe-se que somente um parâmetro não é suficiente para avaliar a qualidade de um solo, porém o uso de muitos indicadores pode por vez tornar o trabalho longo, de difícil

execução além de poder apresentar um custo elevado. Com isso, o ideal seria o desenvolvimento de métodos para a avaliação da qualidade do solo onde um número reduzido de parâmetros integrassem diversas propriedades do solo que expressam o ambiente onde as culturas são desenvolvidas (FIDALSKI; TORMENA; SCAPIM, 2007).

Dessa forma, o estudo das limitações e potencialidade do solo, sejam elas, químicas, físicas ou biológicas consistem numa ferramenta de grande importância na busca da sustentabilidade do uso e manejo das terras agrícolas. Condições físicas tais como resistência à penetração das raízes, disponibilidade de água e aeração são fatores que afetam o crescimento das plantas e estão diretamente relacionados à produtividade das culturas e sustentabilidade do ambiente (SILVA; KAY; PERFECT, 1994).

Isso pode tornar a avaliação física do solo de difícil diagnóstico, razão pela qual Letey (1985) sugere que a avaliação da qualidade física do solo deva ser feita por meio de atributos físicos do solo relacionados com o crescimento das plantas, tendo a água como uma variável de equilíbrio, amenizando ou agravando os efeitos da aeração e da resistência à penetração (CALONEGO; BORGHI; CRUSCIOL, 2011).

Nesse sentido, foi desenvolvido um novo índice, como ferramenta para avaliação física do solo. Inicialmente, Letey (1985) propôs o índice “*Non-Limiting Water Range*” (NLWR), com a finalidade de unir em uma única variável a descrição das interações entre os atributos físicos e o crescimento das plantas, definindo a retenção de água, a aeração e a resistência à penetração das raízes como os atributos físicos do solo diretamente relacionados ao crescimento das plantas.

Sendo, o NLWR, definido como a faixa de conteúdos de água no solo, em que as limitações para o crescimento das plantas em função do potencial mátrico, aeração e resistência do solo são nulas (TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1998). Porém, os limites que definem o NLWR levam a concluir que o crescimento radicular ocorre satisfatoriamente dentro desses limites e fora deles é impedido. Isso levou com que Silva, Kay e Perfect (2004) propusessem “*Least Limiting Water Range*” (LLWR), pois segundo eles o crescimento radicular das plantas é menos restringido dentro dos limites, aumentando as limitações fora desses limites, aprimorando o conceito.

Em outros trabalhos Orellana, Pilatti e Grenón (1997) adotaram o termo Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), porém estudiosos da área acham mais adequado o termo Intervalo

Hídrico Menos Limitante (IHML), pautado na ideia de Silva, Kay e Perfect (2004). Terminologia essa, também adotada nesse trabalho.

Os limites que definem o IHML são a capacidade de campo ou o conteúdo de água no solo no qual a porosidade de aeração é de 10% como limite superior e o limite inferior é o ponto de murchamento permanente ou o conteúdo de água quando a resistência à penetração atinge 2,0 MPa. Tornando-se um índice da qualidade estrutural do solo para o crescimento das plantas.

De acordo com Leão *et al.* (2005) a faixa ótima de conteúdo de água do solo para o crescimento das plantas no intervalo hídrico menos limitante (IHML) depende da densidade do solo (D_s). E o seu aumento resulta em redução do IHML, podendo levar o IHML ser igual a zero (LIMA *et al.*, 2012), quando isso ocorre denominamos de densidade crítica do solo (D_c), ou seja, é a densidade do solo em que o $IHML = 0$ (SILVA; KAY; PERFECT, 1994). Quando a $D_s > D_c$ significa que há alto nível de degradação do solo do ponto de vista de sua estrutura, o que promoverá restrições ao crescimento das plantas. Logo, é necessário de adotar sistemas de manejo e práticas agrícolas que possam proporcionar uma $D_s < D_c$, pois fatores como textura, compactação e estrutura do solo determinam as variações na D_c .

Por isso, Reichert, Reinert e Braida (2003) consideraram o intervalo hídrico menos limitante (IHML) um índice de qualidade estrutural do solo, por integrar num só índice os fatores físicos que estão diretamente relacionados com o desenvolvimento das plantas, ou seja, com os fatores de resposta das culturas.

De acordo com Tormena, Silva e Libardi (1998), esse índice de qualidade é uma variável útil para avaliar a qualidade estrutural do solo e o impacto das práticas de manejo sobre a produtividade sustentável. Blainski *et al.* (2009) afirmam que esse índice também pode ser utilizado para definir estratégias de aplicação e manejo de água em áreas irrigadas. De acordo com Bengough *et al.* (2006) esse indicador associado às variações espaciais e temporais do teor de água no solo é uma boa estratégia para apontar as possíveis restrições físicas às plantas, sugerindo que a variação de umidade pode ser utilizada para a obtenção de condições físicas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

Além disso, Silva *et al.* (2011) dizem que o IHML fornecem informações acerca da influência do sistema de manejo do solo sobre a estrutura do solo, porosidade, densidade, resistência à penetração e retenção de água.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O trabalho foi realizado na área do projeto de adubação com resíduo de caju no Campo Experimental de Pacajus da Embrapa Agroindústria Tropical, localizada no município de Pacajus - CE, a 50 km de Fortaleza, em uma região de transição entre o litoral leste e o semiárido, com latitude S 4°30' e longitude W 38°30' (PINHEIRO, 1994).

Pacajus está inserida numa região pertencente ao grupo de clima tropical chuvoso, apresentando tipo climático Aw' de acordo Köppen (1948). Localiza-se em área de relevo de tabuleiros litorâneos, com predomínio de vegetação do tipo caatinga arbustiva densa e complexo vegetacional da zona litorânea, possui pluviosidade anual de 791,4 mm com período chuvoso de janeiro a abril (IPECE, 2004), temperaturas médias anuais mínima e máxima em torno de 25 e 35 °C, respectivamente (IBGE, 2013).

O solo da área foi classificado como Argissolo Acinzentado distrófico arênico de acordo com RIBEIRO *et al.*, (2007), solo esse, proveniente de sedimentos arenosos e essencialmente quartzosos do Grupo Barreiras (LIMA *et al.*, 2005), que é uma formação de camadas sedimentares expostas nos tabuleiros da costa atlântica nordestina.

Para fins de caracterização da área estudada, na tabela 1 são apresentados os resultados da análise granulométrica e classificação textural do solo avaliado na profundidade de 0 a 10 cm.

Tabela 1 - Análise granulométrica e classificação textural.

Prof.	Granulometria						Silte	Argila	Classe Textural
	Areia*								
	MG	G	M	F	MF	Total			
cm	----- g kg ⁻¹ -----								
0-10	15	78	459	296	72	920	48	32	Areia

*MG = muito grossa (2,00 - 1,00 mm), G = grossa (1,00 - 0,50 mm), M = média (0,50 - 0,25 mm), F = fina (0,25 - 0,10 mm), MF = muito fina (<0,10 - 0,05 mm).

3.2 Caracterização da área experimental

O trabalho de pesquisa foi realizado em um pomar de caju anão precoce CCP 76 cultivado em sequeiro, em ensaio de adubação com resíduo de caju, o qual foi aplicado sobre o solo em abril de 2009, quando as plantas estavam com 7 a 8 anos de idade.

O resíduo empregado foi obtido em uma indústria de alimentos localizada no município de Pacajus - CE, sendo constituído do pedúnculo, parte da polpa do falso fruto, oriundo do processamento do caju, o qual passou pelo processo de extração do suco, através da moenda, não passando por nenhum tipo de tratamento químico, apenas lavagem com água clorada antes da moagem. O resíduo foi colocado para secar ao sol antes de ser transportado até o local do experimento de campo, também foi determinada a composição química do material, como pode ser vista na tabela 2.

Tabela 2 - Composição química do resíduo de caju.

Amostras	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Cu	Fe	Zn	Mn
1	281,09	34,8	1,6	17,2	9,0	2,8	1,3	0,8	12,8	799,2	49,8	46,4
2	291,46	34,1	1,6	16,4	9,4	3,6	1,4	0,95	12,2	496,8	49,5	43,1
3	276,48	32,4	1,9	16,1	8,0	2,7	1,3	0,87	11,7	722,8	50,9	46,8
4	278,78	33,8	1,6	16,4	5,9	2,1	1,3	1,03	9,1	522,0	44,1	35,5
5	291,46	32,8	1,4	14,8	6,4	2,5	1,2	0,87	9,6	586,5	46,7	40,8
Média	283,85	33,6	1,6	16,2	7,7	2,7	1,3	0,90	11,1	625,46	48,2	42,5

Os tratamentos do experimento consistiram na aplicação de quatro doses de resíduo do processamento de caju, mais a testemunha, distribuídos em 4 blocos, totalizando 20 parcelas.

Cada parcela é constituída por quatro plantas, sob espaçamento de 8 x 6 m. Cada bloco detém 5 parcelas, totalizando 20 plantas por bloco. Desse modo, o número total de plantas no experimento é de 80 plantas distribuídas nos quatro blocos. Para a coleta das amostras apenas uma planta de cada parcela foi selecionada de forma aleatória para a amostragem.

As doses de resíduo aplicadas foram: 16; 32; 48 e 64 t ha⁻¹, em base seca, correspondentes a 25,8; 51,6; 77,4 e 103,2 t ha⁻¹ do resíduo após pré-secagem ao sol (considerando-se cerca de 38% de água presente no resíduo), levando-se em consideração que os resultados das pesquisas iniciais desenvolvidas na Universidade Federal do Ceará - UFC,

em laboratório e casa de vegetação, apontam doses em torno de 40 a 45 t ha⁻¹, na base seca, como aquelas possivelmente relacionadas ao máximo desenvolvimento de plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

A aplicação do resíduo foi feita manualmente sob a projeção da copa, ao redor da planta numa distância de 1 m do caule numa faixa de 1 m de largura sem incorporação ao solo (Figura 1). Para melhorar a padronização granulométrica do material, após secagem ao solo, o resíduo foi triturado mecanicamente antes de ser aplicado sobre o solo (Figura 2). As figuras 3 e 4 mostram o resíduo antes e após a trituração, respectivamente.

Figura 1 - Área de aplicação do resíduo.



Figura 2 - Processo de trituração do resíduo.



Figura 3 - Resíduo antes da trituração.



Figura 4 - Resíduo triturado.



3.3 Coleta das amostras

A amostragem foi realizada nos meses de julho e novembro de 2012, no período seco, por isso foi necessário molhar os pontos a serem amostrados. Foram coletadas amostras com estrutura preservada e não preservada dentro da faixa de aplicação do resíduo de caju, na profundidade de 0-10 cm, na qual se utilizou uma trena para medir a distância do caule ao ponto de coleta. As amostras com estrutura preservada foram coletadas com o auxílio de um amostrador do tipo Uhland com anéis de aço de 5 cm de altura por 5 cm de diâmetro, com acondicionamento estratégico para que a integridade das amostras não fossem danificadas durante o transporte do campo ao laboratório.

Para cada parcela (formada por quatro plantas) foi selecionada apenas uma planta, onde coletou-se 8 amostras dentro da faixa de aplicação do resíduo ao redor de toda a planta, totalizando 160 amostras com estrutura preservada. Também foram coletadas amostras deformadas para a caracterização da área quanto a granulometria do solo e densidade de partículas.

3.4 Determinações

Todas as determinações foram realizadas no Laboratório de Física do Solo (LFS) e no Laboratório de Manejo do Solo (LMS) do Departamento de Ciências do Solo no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

3.4.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta, metodologia encontrada em EMBRAPA (1997), que consiste na dispersão química de 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) utilizando hidróxido de sódio 1 mol L^{-1} e depois dispersão mecânica. O silte e argila foram separados de acordo com a Lei de Stokes e as areias separadas em peneira de malha 0,053 mm de diâmetro e fracionadas em cinco classes conforme classificação granulométrica do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).

3.4.2 Densidade do solo (D_s)

A determinação da densidade do solo foi feita a partir das amostras com estrutura preservada coletadas com o amostrador do tipo Uhland, as quais após a coleta foram colocadas para secar em estufa a 105°C até atingir massa constante (BLAKE; HARTGE, 1986b). Depois pesadas para fazer a relação entre a massa do solo seco e o volume da amostra, considerado igual ao volume do anel.

3.4.3 Densidade de partículas (D_p)

Para a determinação da densidade de partículas utilizou-se o método do balão volumétrico, que consiste na determinação do volume de álcool etílico gasto (líquido penetrante) para completar um balão volumétrico aferido de 50 mL, contendo 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em seu interior (BLAKE; HARTGE, 1986a).

3.4.4 Porosidade

A determinação do volume de poros totais do solo ocupado por água e/ou ar foi realizada a partir dos valores de densidade do solo (D_s) e densidade de partículas (D_p), EMBRAPA (1997).

$$\alpha_v = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) \quad (1)$$

Na determinação da macroporosidade foi utilizado o funil de Haines, aplicando-se tensão de 6 kPa (DANIELSON; SUTHERLAND, 1986), pois essa tensão retira a água dos macroporos (poros com diâmetro $\geq 50 \mu\text{m}$). Após a água que ocupara os macroporos ser drenada, as mesmas foram pesadas e em seguida levadas à estufa a 105°C até atingirem massa constante. Através da diferença da massa de água foi possível calcular a porcentagem de macroporos. Já a microporosidade foi conhecida pela diferença entre a porosidade total e macroporosidade.

3.4.5 Curva de retenção de água no solo (CRA)

A respeito da determinação da curva de retenção de água, as amostras com estrutura preservada foram saturadas por capilaridade por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir 2/3 da sua altura, depois submetidas às tensões de 0,006; 0,008 e 0,01 MPa nas mesas de tensão e 0,03; 0,05; 0,1; 0,5 e 1,5 MPa nas câmaras de pressão de Richards (KLUTE, 1986) até atingirem o equilíbrio. A curva de retenção de água do solo foi ajustada pelo modelo matemático proposto por van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\psi|)^n]^m} \quad (2)$$

onde, θ é o conteúdo de água ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_s e θ_r são, respectivamente, o conteúdo de água na saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e conteúdo de água residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); ψ o potencial mátrico (MPa); α , n e m são parâmetros de ajuste do modelo.

Foi utilizado o software *Soil Water Retention Curve* (SWRC), desenvolvido por Dourado Neto *et al.* (2000), as variáveis θ_s e θ_r foram fixadas com os valores de umidade do solo medidos em laboratório na saturação e na tensão de 1,5 MPa, respectivamente, depois ajustou-se os parâmetros α , n e m através do método iterativo de Newton-Raphson, com o parâmetro m sem dependência com o n .

3.4.6 Resistência do solo à penetração (RP)

Para determinação da resistência do solo à penetração foram utilizadas amostras de solo com estrutura preservada, coletadas em cilindros de 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro, nas quais foram medidas de resistência no centro geométrico com o auxílio de um penetrômetro eletrônico estático de laboratório marca Marconi (MA-933), equipado com uma célula de carga de 20 Kgf, haste com cone de 0,4 cm de diâmetro de base, ângulo de 60° e área de 12,566 mm², com velocidade constante de penetração de 1 cm min⁻¹, acoplado a um microcomputador para coleta dos dados através de um software próprio do equipamento, de acordo com Tormena, Silva e Libardi (1998).

A RP foi realizada após a estabilização das amostras submetidas às tensões de 0,006; 0,008; 0,01; 0,03; 0,05; 0,1; 0,5 e 1,5 MPa. Para cada amostra (160 amostras) foram

realizadas três determinações, totalizando 480 leituras. Depois disso, os valores obtidos em Kgf foram convertidos à MPa e utilizados na determinação do IHML.

As amostras com conteúdo de água correspondente a tensão de 10 kPa (SILVA; KAY; PERFECT, 1994), foram tomadas para a avaliação da RP dos tratamentos.

3.4.7 Intervalo hídrico menos limitante (IHML)

A determinação do intervalo hídrico menos limitante (IHML) foi realizada de acordo com Silva, Kay e Perfect (1994). Tomando-se por base a curva característica de água no solo, resistência do solo à penetração, potencial mátrico, densidade do solo e porosidade de aeração. Assim, foi necessário a obtenção da umidade do solo na capacidade de campo (θ_{CC}) ou o conteúdo de água estimado no potencial de -0,01 MPa, umidade do solo no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) ou o conteúdo de água no potencial de -1,5 MPa, umidade do solo ou conteúdo de água do solo em que a porosidade de aeração (θ_{PA}) é de 10% ($0,1 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e a umidade do solo ou quantidade de água em que a resistência do solo à penetração (θ_{RP}) atinge o valor crítico de 2 MPa (SILVA; KAY; PERFECT, 1994).

A partir das equações obtidas foi gerado um gráfico delimitando faixa de umidade do solo em que as condições físicas são menos limitantes ao desenvolvimento das plantas (IHML), situada entre o limite inferior (RP ou PMP) e o limite superior (CC ou umidade do solo quando a PA é de 10%) (SILVA; KAY; PERFECT, 1994).

3.5 Análise estatística

O trabalho foi analisado em delineamento em blocos ao acaso (DBC), com cinco tratamentos (T1 = a testemunha, T2 = dose de 16 t ha^{-1} do resíduo, T3 = 32 t ha^{-1} , T4 = 48 t ha^{-1} e T5 = 64 t ha^{-1}) e quatro blocos. Para verificar a normalidade dos dados foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov e análise de variância para testar a significância entre tratamentos e blocos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade do solo e densidade de partículas

Solos arenosos, de acordo com a literatura, geralmente apresentam densidade entre 1,25 a 1,40 g cm⁻³, porém nesse caso analisado verificou-se que nos blocos os valores médios estão compreendidos entre 1,50 e 1,53 g cm⁻³ e nos tratamentos 1,49 a 1,53 g cm⁻³ (tabela 3), apresentando valores superiores aos limites estabelecidos para essa classe textural.

Tabela 3 - Médias de densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp) para tratamentos e blocos.

Tratamentos	--- g cm ⁻³ ---		Blocos	--- g cm ⁻³ ---	
	Ds	Dp		Ds	Dp
T1	1,53	2,72	B1	1,51	2,68
T2	1,49	2,70	B2	1,53	2,65
T3	1,52	2,66	B3	1,50	2,74
T4	1,52	2,72	B4	1,50	2,74
T5	1,50	2,72	-	-	-

Talvez a quantidade de areia bastante elevada nesse caso (920 g kg⁻¹) em detrimento as outras partículas primárias, silte e argila, possa ter relação com essa maior densidade do solo. Pois quanto maior a quantidade de areia de um solo maior será sua densidade. A presença significativa de areia, quando associada a baixa quantidade de matéria orgânica do solo, proporciona uma menor predisposição para a formação de agregados, reduzindo a porosidade total e promovendo uma maior densidade.

Observando-se a tabela 4, verifica-se que não houve diferença estatística entre os blocos e também entre os tratamentos analisados, o que indica que as doses de resíduo de caju aplicadas não promoveram alterações sobre a densidade do solo. Como na aplicação do resíduo do caju não houve incorporação do mesmo ao solo, provavelmente fez com que sua decomposição ocorresse mais lentamente devido ao menor contato entre o material aplicado e o solo e, conseqüentemente, com os microrganismos decompositores, logo seus produtos de composição ainda não foram satisfatórios para promover ou causar alterações significativas no solo, não sendo suficientes para reduzir a densidade.

Os resultados encontrados corroboram com Valadão *et al.* (2011), que não detectaram redução significativas sobre a densidade ao aplicar cama de frango sobre o solo em um Latossolo sem incorporação do material, fato que de acordo com os autores atribuído à baixa dose do material orgânico utilizada, que não foi suficiente para promover redução da densidade superficial. Camilotti *et al.* (2006) também verificaram que não houve alterações na densidade do solo após a aplicação de lodo de esgoto. Em trabalho realizado no qual se avaliou a aplicação de doses de biossólido após cinco anos em um Latossolo cultivado com eucalipto Andrade, Oliveira e Cerri (2005) não verificaram alterações nos valores de densidade do solo mesmo com a aplicação da dose máxima (40 t ha^{-1}).

Por outro lado, Andreola, Costa e Olszewski (2000) constataram a redução da densidade do solo na profundidade de 0-10 cm nos tratamentos onde foi recebido adubo orgânico, formado pelo acúmulo de esterco de aves de corte e cama de maravalhas. No entanto, nessa ocasião o material adicionado foi incorporado através do uso de arado de disco, fazendo com que o resíduo tivesse maior contato com o solo, facilitando a ação dos microrganismos, e assim, podendo os produtos da decomposição atuar de forma mais efetiva alteração das características e propriedades do solo. Ainda, trata-se de uma terra roxa estruturada, com 54,73% de argila, classificação textural franco-argilosa, o que permite uma maior interação organo-mineral devido ao maior teor de argila (alta superfície específica, maior reatividade), sendo de grande importância para estabilização da matéria orgânica no solo e processo de agregação, favorecendo a alteração da densidade do solo.

Além disso, a floculação, que é o processo de aproximação entre partículas primárias do solo, é entre outros fatores, proporcionada pela argila, pela atração eletrostática entre as cargas negativas de umas com as positivas das outras (AMARO FILHO; ASSIS JÚNIOR; MOTA, 2008). Logo, uma maior quantidade de argila está diretamente relacionada com a gênese dos agregados, resultando em uma melhor estrutura, favorecendo a ocorrência de valores menores de densidade do solo.

Em trabalho realizado por Monteiro *et al.* (2006) também verificou diminuição na densidade do solo nos horizontes superficiais em área onde foram adicionados à superfície do solo resíduos de madeira ao solo (lâmina triturada e pó de serragem). Segundo os autores, esse fato da menor densidade do solo nos horizontes superficiais pode estar relacionado com a maior concentração de resíduo de madeira, originado da adição do material orgânico adicionado ao solo.

No que diz respeito a densidade de partículas, também não houve diferença significativa tanto para o fator bloco quanto para os tratamentos (tabela 4). Nos blocos os valores de densidade de partículas encontram-se entre 2,65 e 2,74 g cm⁻³ e nos tratamentos 2,66 e 2,72 g cm⁻³ (tabela 3), típico de solos minerais, que geralmente apresentam densidade de partículas variando de 2,60 a 2,70 g cm⁻³ (BUCKMAN; BRADY, 1974), o que indica a predominância de minerais como feldspato, mica, além de colóides silicatados que possuem densidades dentro dessa faixa e principalmente quartzo, que possui densidade específica de 2,66 g cm⁻³.

Alguns solos podem ainda apresentar densidade de partículas superiores a 3 g cm⁻³, quando há predominância de minerais de alta densidade, como a magnetita, zircônio, turmalina e hornblenda.

Esses valores elevados da densidade de partículas, atribuídos a presença principalmente do mineral quartzo, pode ser justificado pelo fato desse mineral ser o principal componente da fração areia, e nesse solo avaliado a expressiva quantidade de areia presente (920 g kg⁻¹), pode potencializar ainda mais o efeito do quartzo sobre a elevação da densidade. Além disso, a própria gênese e formação do Argissolo Acinzentado distrófico arênico encontrado nessa área contribui para os valores elevados de densidade de partículas, pois de acordo com Lima *et al.* (2005) os solos dessa região são oriundos dos sedimentos arenosos, essencialmente quartzosos, da formação do Grupo Barreiras.

De acordo com Reichardt (1975), esta variável praticamente não é alterada pelos sistemas de manejo. Comprovação feita por Jorge *et al.* (1991), que constataram em ensaio realizado em um Latossolo Vermelho que a adição de até 80 t ha⁻¹ de lodo de esgoto também não alterou a densidade de partículas. Corroborando com Valadão *et al.* (2011) que também não verificaram diferença estatística para a variável densidade de partículas entre as áreas e profundidades nas quais foram aplicadas cama de frango crua e composta. Em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar no qual foi aplicado lodo de esgoto Camilotti *et al.* (2006) não constataram alterações nos valores de densidade de partículas.

Porém, Monteiro *et al.* (2006) encontraram resultados contrários, verificando redução quando avaliaram a densidade de partículas em Argissolos amarelos na Amazônia em área de 1 ha cultivada, com aplicação de 60 m³ de resíduos de madeira.

Esses autores atribuem essa diminuição da densidade de partículas à matéria orgânica, material mais leve, que contribui para o seu decréscimo, o que justifica o menor valor

encontrado nas camadas superficiais dos perfis com incorporação de resíduos de madeira, uma vez que a densidade da matéria orgânica é bem inferior a densidade do material mineral, já a presença de óxidos de Fe e metais pesados tendem a aumentar o valor da densidade de partículas.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp).

FV	GL	Teste F	
		Ds	Dp
Blocos	3	2,5865 ^{ns}	2,8165 ^{ns}
Tratamentos	4	1,9577 ^{ns}	0,7693 ^{ns}
Resíduo	12	-	-
Total	19	-	-
CV (%)	-	1,60	2,26

ns - não significativo, * - significativo

Quando se trabalha com dados quantitativos, nesse caso, doses, é necessário análise de regressão nos tratamentos dos dados. A análise de variância (ANOVA) mostra inicialmente se as fontes de variação (blocos e tratamentos, nesse trabalho) tiveram diferenças significativas, e a partir dela procede-se com os testes de médias e/ou as análises de regressão. Porém, como já foi visto não houve diferença estatística (tabela 4), logo não se faz necessária a realização da regressão.

Para maior segurança do ponto de vista estatístico, foi realizado o teste de hipóteses para parâmetros do modelo (tabela 5) no qual é mostrado qual modelo mais se adequa à regressão, como não houve diferença significativa de acordo com a ANOVA espera-se que qualquer que seja o modelo de regressão, linear, quadrática, cúbica ou de 4º grau não haja também significância.

Logo, qualquer gráfico que seja elaborado terá o mesmo comportamento, uma reta, assim não auxiliará a explicação do comportamento dos dados. Porém, observa-se na tabela 5 que houve significância para a variável densidade do solo, adequando-se de acordo com o teste de hipótese para os parâmetros no modelo a uma regressão cúbica. Isso ocorre porque a ANOVA, que trata do Teste F, e o teste de hipóteses para os parâmetros do modelo são independentes um do outro, a análise de variância apenas mostra se há significância, se deve-se proceder ou não com o teste de médias ou análise de regressão, no entanto, podem ocorrer exceções, como observado nesse trabalho.

Tabela 5 - Teste de hipóteses para os parâmetros do modelo para as variáveis densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp).

FV	GL	Teste F	
		Ds	Dp
Reg. Linear	1	0,2596 ^{ns}	0,0241 ^{ns}
Reg. Quadrática	1	0,0079 ^{ns}	1,5023 ^{ns}
Reg. Cúbica	1	6,3744 [*]	0,1938 ^{ns}
Reg. 4º Grau	1	1,1890 ^{ns}	1,3568 ^{ns}

ns - não significativo, * - significativo

4.2 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade

Os valores médios da porosidade total (Pt) situaram-se entre 44,30 % e 46,21 %, não havendo diferença estatística entre blocos e tratamentos (tabela 6). Esses resultados encontrados provavelmente se devem, além do fato já citado da não incorporação do material orgânico, as doses de resíduo aplicadas, que podem ter sido baixas, não sendo suficientes para promover alterações na porosidade total do solo. Pois, a matéria orgânica, juntamente com outros fatores, é responsável pela agregação do solo e grau de estabilidade, refletindo diretamente na porosidade do solo.

Além disso, nos solos arenosos, devido à pequena quantidade de superfície exposta por unidade de massa ou de volume das partículas da fração areia, ocorre baixa influencia dessa fração nas propriedades físicas do solo, associados com fenômenos de superfície (AMARO FILHO; ASSIS JÚNIOR; MOTA, 2008). Esses fenômenos são de grande importância na atração eletrostática entre partículas no processo e floculação, indispensável para a agregação. Assim, a agregação é mais pronunciada em solos com maior quantidade de argila, devido à maior superfície específica apresentada por essas partículas, e menos efetiva em solos arenosos, principalmente quando esses se encontram com baixa quantidade de matéria orgânica. Logo, está relacionada com o espaço poroso do solo.

Como a porosidade do solo pode ser de origem estrutural ou textural, e os poros resultam do arranjo das partículas elementares do solo (Beutler *et al.*, 2005), esperava-se que as doses de resíduo de caju aplicadas promovessem alterações na estrutura do solo, através do seu efeito agregação, pois a porosidade estrutural pode ser alterada pelo manejo como a adição de resíduos orgânicos, o que poderia ser caracterizado principalmente pelo aumento da porosidade total e alterações na relação entre macroporosidade e

microporosidade, porém não houve nenhuma mudança significativa, como pode ser observado na tabela 7.

Mesmo resultado encontrado por Melo *et al.* (2004), que em trabalho realizado com adição de material orgânico, foi verificado que a aplicação de 50 t ha⁻¹ de biossólido durante cinco anos não promoveu efeito algum na porosidade total. Resultado também encontrado por Camilotti *et al.* (2006) que não verificaram diferenças com aplicações de lodo de esgoto e ou vinhaça em um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar após quatro aplicações anuais sucessivas, com médias de porosidade total variando de 44,1 % a 55,5 %.

No entanto, Corrêa *et al.* (2009) constataram aumento na porosidade total quando aplicaram diferentes tipos de resíduo sobre a superfície do solo sem incorporação, após 2,2 anos, sendo o tratamento com lodo de esgoto centrifugado e o tratamento com lama-cal os que promoveram esse aumento nos valores da porosidade até a profundidade de 40 cm. Ambos possuem o maior teor de cálcio (Ca), fato que segundo os autores justifica esse acréscimo na porosidade total, pois esse nutriente está intimamente relacionando com o processo de agregação do solo, atuando como agente cimentante das partículas, o que promove melhorias na estrutura do solo, refletindo diretamente na porosidade.

Navas, Bermúdez, Machín (1998) também obtiveram incremento da porosidade total de 38% para 49%, com a aplicação de lodo de esgoto, porém utilizando uma alta dose, quando comparado a esse e os demais trabalhos citados, nesse caso utilizaram 320 t ha⁻¹. Da mesma forma, Angin e Yaganoglu (2011) tiveram resultados satisfatórios ao aplicar lodo de esgoto em um *Entisol* degradado após três aplicações consecutivas de 40, 80 e 120 t ha⁻¹ durante três anos, sendo que as alterações foram significativas a partir do segundo ano de aplicação. O que reforça a idéia da necessidade de doses maiores do resíduo orgânico, aliadas a aplicações sucessivas.

Para a macroporosidade, os valores médios do tratamento situaram-se entre 25,18% e 32,13%, já para a microporosidade as médias variaram de 17,85% a 20,98% (tabela 6). Nesse caso se observa uma predominância dos macroporos sobre os microporos, os quais são considerados os espaços inter-agregados, responsáveis aeração, infiltração e a drenagem da água no solo. Como nesse estudo trata-se de um solo arenoso, é característica desse a quantidade relativamente inferior de microporos em detrimento dos macroporos, evidenciando a presença de uma estrutura mais frágil, pois solos bem estruturados possuem

agregados estáveis, e com isso, a microporosidade cresce, uma vez que esse tipo de poro compreende os espaços internos, intra-agregados.

Tabela 6 - Médias da porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac) e microporosidade (Mic) para os tratamentos e blocos.

Tratamentos	Médias			Blocos	Médias		
	----- % -----				----- % -----		
	Pt	Mac	Mic		Pt	Mac	Mic
T1	46,16	25,18	20,98	B1	45,03	23,94	21,09
T2	46,21	28,78	17,53	B2	45,86	31,91	13,95
T3	45,82	26,50	19,32	B3	45,65	28,21	17,44
T4	44,30	26,45	17,85	B4	45,63	30,38	15,25
T5	45,11	32,13	12,98	-	-	-	-

Analisando ainda a tabela 7, observa-se que a macroporosidade e microporosidade também não apresentaram resultados significativos quando comparados entre blocos e entre tratamentos, mostrando mais uma vez que a aplicação de doses de até 64 t ha⁻¹ de resíduo de caju não surtiram efeitos sobre essa variável analisada.

Mais que o fato do resíduo orgânico adicionado não ter sido incorporado ao solo e as doses provavelmente terem sido insuficientes para promoverem alterações, a composição do próprio material tem relação com os resultados encontrados. Pois, além da umidade, temperatura e atividade microbiana, a constituição do resíduo também determinará a velocidade da decomposição. Materiais ricos em lignina e celulose tendem a necessitar um prazo mais longo para se decompor, assim levariam mais tempo para que os produtos da decomposição do resíduo provocassem mudanças significativas no solo, como por exemplo, na distribuição de poros por tamanho.

Análise realizada por Freire *et al.* (2011) mostrou valores de 15,41%, 19,59% e 28,40%, para celulose, hemicelulose e lignina respectivamente para o resíduo de caju amonizado. Corroborando com Ferreira Filho, Mattos e Gomes (2004), que ao analisarem o resíduo do pedúnculo de caju obtiveram 18,5 % de hemicelulose, 22,5% de lignina para o resíduo úmido. Para o resíduo desidratado, Almeida e Ferreira Filho (2005) encontraram 15,6% de hemicelulose e 35,5% de lignina.

Em avaliação de dois Latossolos com aplicação de bio sólido Melo *et al.* (2004) verificaram aumento da macroporosidade a partir de 47,5 t ha⁻¹, já a microporosidade não

sofreu alteração, nessa ocasião o material orgânico foi aplicado manualmente sobre o solo e posteriormente incorporado até 0,1 m de profundidade com grade antes da semeadura da cultura do milho. Corroborando com Jorge *et al.* (1991), que também não encontraram diferenças na microporosidade aplicando 20,0 t ha⁻¹ ano⁻¹ de lodo de esgoto, durante quatro anos e Sort e Alcañiz (1999) que em quatro anos de aplicação de 400 t ha⁻¹, não detectaram alterações na microporosidade. No entanto, Guerrini e Trigueiro (2004) em ensaio para obtenção de meio de crescimento adequado para o desenvolvimento de mudas, constaram que o aumento na dose de biossólido elevou a microporosidade, o que proporcionou de acordo com os autores uma elevação na capacidade de retenção de água do substrato.

Esse fato implica diretamente em influências sobre dinâmica da água no solo, pois os microporos, considerados os espaços intra-agregados, são responsáveis pela retenção de água. E quando se trata de solos arenosos, que naturalmente possuem baixa capacidade de retenção de água, um aumento na sua microporosidade é extremamente desejável, para que possa ocorrer melhoria na retenção.

No tocante à macroporosidade, Coneglian e Moraes (2006) não encontraram diferença aplicando resíduos vegetais de milho após o período de dois anos da adição do material. Concordando com Camilotti *et al.* (2006) que também não encontraram alterações na macroporosidade utilizando aplicações de lodo de esgoto e/ou vinhaça.

Já Conte e Castro *et al.* (2008) comprovou um aumento dos macroporos com a aplicação de resíduos orgânicos, principalmente com a adição de 10 t ha⁻¹ de cama de aviário, em que a macroporosidade passou de 4,11% no início no experimento para 8,77% após a utilização do resíduo, fato que não ocorreu com os microporos.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis, porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac) e microporosidade (Mic).

FV	GL	Teste F		
		Pt	Mac	Mic
Blocos	3	0,2532 ^{ns}	1,7341 ^{ns}	1,6013 ^{ns}
Tratamentos	4	1,0842 ^{ns}	1,4214 ^{ns}	2,2968 ^{ns}
Resíduo	12	-	-	-
Total	19	-	-	-
CV (%)	-	3,52	20,56	32,57

ns - não significativo, * - significativo

Na tabela 8 encontra-se o resultado para o teste de hipóteses para os parâmetros do modelo, na qual se observa que não há significância para nenhum dos graus de regressão testados, logo não há necessidade de se realizar análise de regressão para as variáveis resposta porosidade total, macroporosidade e microporosidade, reforçando o que já foi constatado pela ANOVA (tabela 7).

Tabela 8 - Teste de hipóteses para os parâmetros do modelo para as variáveis, porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac) e microporosidade (Mic).

FV	GL	Teste F		
		Pt	Mac	Mic
Reg. Linear	1	3,0977 ^{ns}	1,0557 ^{ns}	2,4608 ^{ns}
Reg. Quadrática	1	0,0110 ^{ns}	1,5273 ^{ns}	1,8137 ^{ns}
Reg. Cúbica	1	1,6183 ^{ns}	1,0136 ^{ns}	2,0040 ^{ns}
Reg. 4º Grau	1	0,3711 ^{ns}	2,0888 ^{ns}	2,9086 ^{ns}

ns - não significativo, * - significativo

4.3 Resistência do solo à penetração

No que se refere à resistência do solo à penetração, nos blocos as médias variaram entre 0,414 e 0,460 MPa e nos tratamentos 0,358 e 0,488 MPa (tabela 9), porém pode-se verificar que não houve diferença significativa para tratamentos e blocos (tabela 10). Provavelmente as quantidades de resíduo de caju aplicadas não foram suficientes para causar alterações no solo, ou ainda o fato do resíduo não ter sido incorporado ao solo fez com que sua seus efeitos ainda não alcançassem a profundidade avaliada 0-10 cm.

Tabela 9 - Médias de resistência do solo à penetração (RP) para tratamentos e blocos.

RP			
Tratamentos	---- MPa ----	Blocos	---- MPa ----
T1	0,386	B1	0,414
T2	0,358	B2	0,417
T3	0,446	B3	0,460
T4	0,488	B4	0,422
T5	0,462	-	-

O tempo também pode ser considerado um fator importante, pois o ele pode ter sido insuficiente para promover mudanças, uma vez que se pode afirmar que os efeitos da matéria

orgânica sobre as propriedades físicas do solo não são perceptíveis em curtos espaços de tempo.

Trabalhos como o de Souza *et al.* (2005) mostram que no período de cinco anos não houve mudanças significativas na resistência do solo à penetração, o que serve de base para a hipótese de que o tempo de três anos tenha sido insuficiente para provocar alterações no solo, ou seja, essas modificações devem está ocorrendo muito lentamente. Até mesmo porque foi possível se verificar a presença do resíduo de caju sobre o solo na ocasião da coleta das amostras, comprovando que a sua decomposição completa ainda não havia ocorrido.

Também é importante resaltar que os valores médios de resistência à penetração não ultrapassaram o limite crítico de 2 MPa, logo, pode-se afirmar que não há restrição ao desenvolvimento das plantas do ponto de vista da RP. Já Valadão *et al.* (2011), verificaram valores superiores a 2 MPa nas profundidades de até 30 cm em Latossolo Vermelho de textura franco-argiloarenosa quando aplicados $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ por quatro anos consecutivos de cama de frango crua e cama de frango após compostagem.

Resultado também encontrado por Magalhães Filho *et al.* (2011) quando avaliaram a resistência do solo à penetração de um Neossolo Quartzarênico cultivado com cana de açúcar sob a influência da adubação orgânica e mineral, onde os resultados de todos os tratamentos apresentaram valores de resistência do solo à penetração considerados impeditivos ao desenvolvimento radicular da cultura, chegando ao valor máximo próximo a 4,5 MPa . Porém, não houve diferença estatística entre os tratamentos, mesmo quando aplicado a dose com 100% do resíduo, na ordem de 20 t ha^{-1} de composto orgânico, o que pode ser atribuído ao fato do tempo, 10 meses, ter sido muito curto para que o composto tenha provocado alterações no solo.

Souza *et al.* (2005), ao avaliarem o efeito da aplicação de quatro doses de biossólido durante cinco anos em dois Latossolos em área cultivada com milho, verificaram que a aplicação de até $50,0 \text{ t ha}^{-1}$ de biossólido (maior dose) não alterou significativamente a resistência do solo à penetração nos dois solos. Camilotti *et al.* (2006) também não encontraram diferença significativa para os valores de resistência do solo à penetração com a adubação com lodo de esgoto, evidenciando que esse tipo de resíduo não atenuam nem agravam o problema da compactação do solo.

Confirmando com Gonçalves Júnior *et al.* (2009) que não encontraram diferença na resistência do solo à penetração em área adubada com doses diferentes de dejetos líquido de

suíno. Moura *et al.* (2012) avaliando a aplicação de dejetos líquidos de suínos e cama de frango em pastagem cultivada com *Brachiaria decumbens* verificaram que esses resíduos agrícolas também não influenciaram a resistência do solo à penetração.

Assim, vê-se que testes com diferentes tipos e doses de resíduos orgânicos não têm promovido diferenças significativas na resistência do solo à penetração, fato que alguns autores atribuem às doses que podem ter sido baixas e principalmente ao tempo, pois as modificações nas propriedades físicas ocorrem muito lentamente.

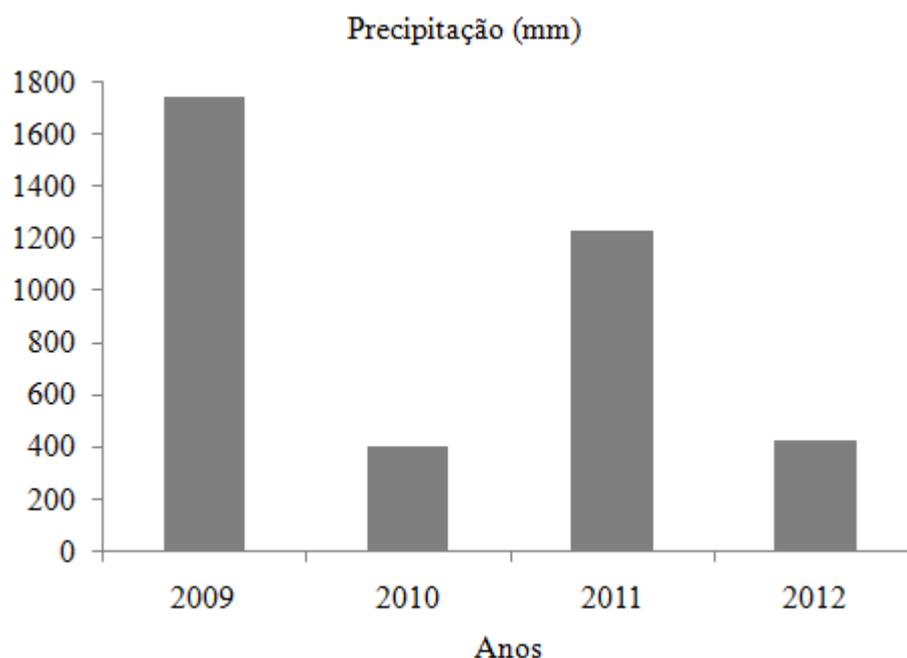
A umidade também é determinante na velocidade de decomposição do material orgânico, bem como na translocação dos produtos de decomposição e síntese que ocorre por meio do movimento de água dentro do solo, distribuindo-os e levando-os para camadas inferiores. Com isso, a falta de umidade no solo, proveniente da precipitação pluviométrica já que se trata de cultivo em sequeiro, pode ocasionar redução da taxa de decomposição e conseqüentemente reduzir os efeitos da matéria orgânica no solo, ou pelo menos fazer com que esses efeitos surjam mais tarde, necessitando de mais tempo para que mudanças significativas sejam percebidas, passíveis de medição pelo uso de indicadores de qualidade.

Analisando a figura 4, verifica-se que a maior precipitação no município de Pacajus - CE ocorreu em 2009, ano de aplicação do resíduo, seguido na menor precipitação registrada, ano de 2010. Em 2011 houve um aumento, porém em 2012, ano da coleta das amostras, verificou-se novamente uma redução da pluviosidade.

A alta precipitação no ano da aplicação (abril de 2009) aliada as altas temperaturas típicas da região contribuíram para que ocorresse decomposição da fração lábil da matéria orgânica, que de acordo com Silva e Mendonça (2007), apresenta alta taxa de decomposição e um curto período de permanência no solo, e sua principal função é o fornecimento de nutrientes às plantas pela mineralização, além de energia e C aos microrganismos do solo, restando no solo, apenas o material mais recalcitrante, o qual apresenta maior resistência à decomposição, ficando no solo mais tempo, conforme Guiotoku e Radomski (2010), pode permanecer durante anos.

Além de continuar sobre o solo a fração mais recalcitrante, o baixo índice pluviométrico no ano de 2010 contribuiu ainda mais para reduzir a taxa de decomposição, porém em 2011 pode-se observar na figura 5 que houve um acréscimo significativo na precipitação, mesmo assim ainda foi possível observar a presença do resíduo de caju na superfície do solo na ocasião da visita de reconhecimento da área e coleta de amostras.

Figura 5 - Precipitação pluviométrica acumulada para os anos de 2009 a 2012 no município de Pacajus - CE.



Fonte: FUCEME (2013).

Esse resíduo remanescente, composto por material de difícil decomposição, geralmente rico em lignina e polifenóis, possui baixa qualidade, principalmente no que diz respeito a promover alterações nas propriedades físicas do solo, fato comprovado pela realização, observação e interpretação da análise de resistência à penetração, além dos demais indicadores utilizados.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para a variável resistência do solo à penetração (RP).

FV	GL	Teste F RP
Blocos	3	0,2118 ^{ns}
Tratamentos	4	1,0677 ^{ns}
Resíduo	12	-
Total	19	-
CV (%)	-	24,42

ns - não significativo, * - significativo

Da mesma forma como realizada para as variáveis anteriores, também para a resistência do solo à penetração foi feito o teste de hipóteses para os parâmetros do modelo, como pode ser observado na tabela 11. Verifica-se que, para todos os tipos de regressão, não houve diferença significativa; assim, todas elas apresentariam o mesmo comportamento para o parâmetro avaliado, não sendo necessária a realização da mesma para explicar o comportamento dos dados.

Tabela 11 - Teste de hipóteses para os parâmetros do modelo para a variável resistência do solo à penetração (RP).

FV	GL	Teste F
		RP
Reg. Linear	1	2,8869 ^{ns}
Reg. Quadrática	1	0,0481 ^{ns}
Reg. Cúbica	1	1,2340 ^{ns}
Reg. 4º Grau	1	0,1018 ^{ns}

ns - não significativo, * - significativo

4.4 Curva de retenção de água no solo

As curvas de retenção de água no solo (CRA) para os cinco tratamentos avaliados na profundidade de 0-10 cm são apresentados na figura 6. Onde se observa que em todos os tratamentos, a disposição das curvas foi típica de solos arenosos, nas quais é perceptível que para as primeiras tensões aplicadas boa parte da umidade presente nas amostras foi eliminada, fato observado até o quinto ponto das curvas.

Na faixa de umidade compreendida até a tensão de 60 hPa, encontra-se a água retida nos macroporos, responsáveis pela drenagem de água no solo, logo, essa umidade é perdida com maior facilidade, até mesmo pela ação da gravidade, sendo necessário a aplicação de baixos valores de sucção.

Em solos arenosos ocorre a predominância de macroporos sobre os microporos de modo geral, e em sistemas de sucção forçada grande parte da água é eliminada nas primeiras tensões aplicadas, baixa tensões, permanecendo apenas uma pequena quantidade de água para ser eliminada gradualmente à medida que se aumenta a sucção (HILLEL, 1998). Fato comprovado por Oliveira (2011), que ao avaliar um Argissolo Amarelo Eutrófico Típico em área com pastagem e vegetação natural constatou que a disposição das curvas de retenção de

água também foi típica de solos arenosos, com maior parte umidade perdida nas primeiras tensões aplicadas. Esse fato do ponto de vista prático, implica diretamente na disponibilidade de água para as culturas, uma vez que maior parte da umidade contida nesse tipo de solo é perdida facilmente, ficando pouco tempo disponível para as plantas, assim a água que ficará retida por mais tempo, além de ser em pequena quantidade pode está condicionada a uma energia potencial mais alta, ou seja, as plantas necessitaram de maior energia para a retirá-la do solo.

O comportamento das curvas para os cinco tratamentos foi muito semelhante quando se analisa a faixa de tensão em que a água está retida nos microporos, a partir de 60 hPa até a última tensão aplicada. Assim, é possível observar que mesmo aplicando maiores forças de sucção a perda de umidade foi bastante reduzida, pois a maior parte da água foi eliminada nas primeiras tensões, confirmando a informação de Hillel (1998) supracitada.

Ainda na figura 6, observa-se que as curvas T2, T3 e T4 obtiveram pequena diferença de umidade entre elas. Já T1 e T5 obtiveram a maior e menor capacidade de retenção de água, respectivamente. Essa diferença da capacidade de água disponível (CAD) entre os tratamentos 1 e 5, com T1 (a testemunha) apresentando a maior CAD vai em confronto com os resultados esperados, pois a hipótese afirma que a adição do resíduo de caju promoveria intensificação da atividade biológica e seus produtos de decomposição e síntese causaria alterações na geometria porosa da matriz do solo, podendo esse efeito ser observado pela melhoria da estrutura do solo, através da análise das condições de densidade do solo, porosidade ou mesmo a relação com os atributos físico-hídricos do solo, como a observação do comportamento da curva de retenção de água no solo.

Então, esperava-se que a matéria orgânica atuasse no solo aumentando a capacidade de retenção de água, fosse pela absorção da umidade no próprio material orgânico ou pelo seu feito provocado pela granulação das partículas minerais, pois de acordo com Kiehl (1985) a matéria orgânica do solo não decomposta possui capacidade de retenção de água na faixa de 80 %. Costa *et al.* (2006) dizem que os materiais humificados podem apresentar de 300 a 400% de capacidade de retenção, podendo segundo Stevenson (1982) atingir 20 vezes o seu peso seco.

Ainda existe o efeito que pode ser dito indireto, gerado pela ação da matéria orgânica sobre o processo de cimentação e agregação do solo, que ao contribuir para a formação de agregados mais estáveis estará promovendo melhoria na estrutura do solo, resultando em

alterações na geometria porosa da matriz do solo, com melhor distribuição dos poros por tamanho caracterizado principalmente pelo aumento da microporosidade, espaço dentro dos agregados, responsáveis pela retenção de água.

Essa correlação positiva entre o conteúdo de matéria orgânica do solo, proveniente da adição do resíduo de caju, e o armazenamento de água do mesmo não foi observada nesse estudo, pois as maiores doses de resíduo aplicadas causaram redução na capacidade de água disponível, podendo esse fenômeno ser atribuído ao chamado efeito hidrofóbico causado pela matéria orgânica.

A hidrofobicidade pode ser entendida conforme Vogelmann (2011) como a repelência do solo à água, dificultando o seu molhamento, estando esse fenômeno associado ao recobrimento das partículas do solo por substâncias orgânicas hidrofóbicas. Esse fenômeno reduz a taxa de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, a quantidade de água disponível é diminuída, conforme ocorreu nesse estudo (figura 6).

A ocorrência de hidrofobicidade no solo está condicionada a diversos fatores, dentre eles a qualidade da matéria orgânica, pois de acordo com sua composição química, poderá contribuir com compostos orgânicos hidrofóbicos, via deposição ou por decomposição, os quais, recobrando as partículas do solo, criam o caráter de repelência à água (MATAIX-SOLERA *et al.*, 2007).

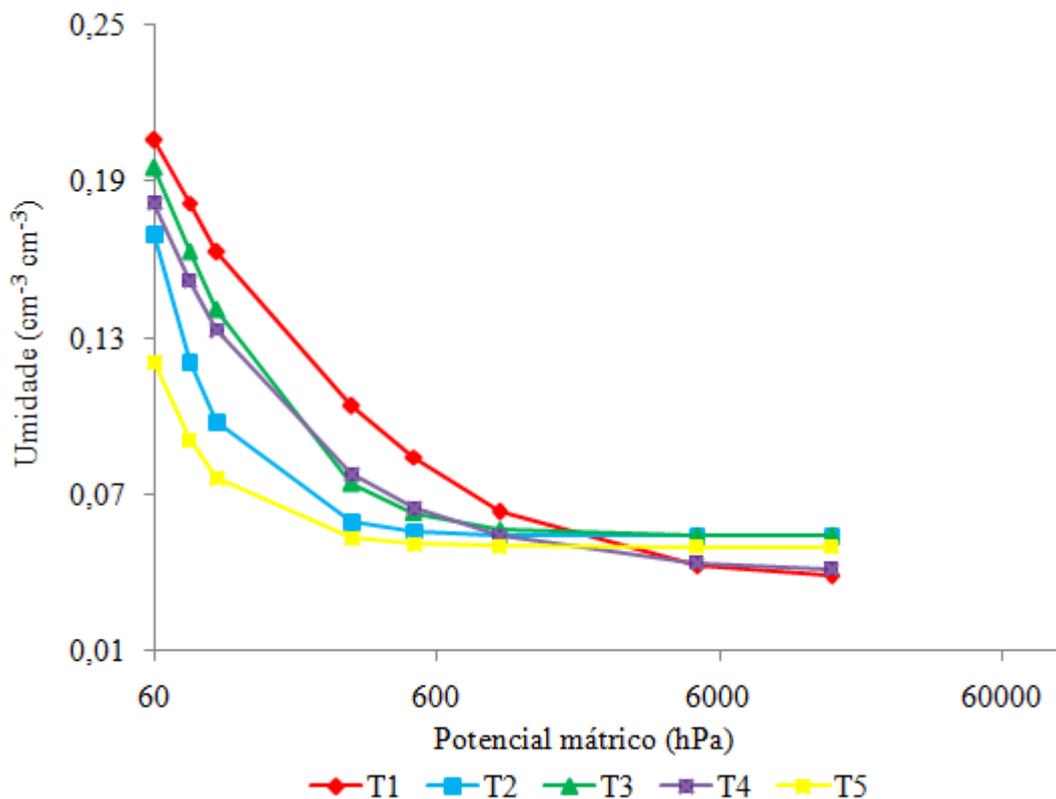
Esse fenômeno exige uma atenção diferenciada, principalmente em relação ao uso e manejo do solo diz Vogelmann (2011), pois essa repelência provoca redução da taxa de infiltração, resultando em menor quantidade de água disponível. Além disso, a diminuição da infiltração pode favorecer aumento da ocorrência de enxurradas e, conseqüentemente, erosão do solo, principalmente quando o solo apresenta declividade mais acentuada aliada a fragilidade apresentada pelos solos arenosos.

Dessa forma, comprova-se que a adição de material orgânico ao solo nem sempre é benéfica, pois a qualidade do resíduo, entre outros fatores, está relacionada a ocorrência do caráter hidrofóbico. Com isso, pode-se afirmar que o resíduo de caju não é apropriado para a adubação orgânica, uma vez que ele provavelmente provocou redução da capacidade de água disponível do solo nos tratamentos onde foi aplicado, possivelmente devido a hidrofobicidade.

Tabela 12 - Parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten para as curvas de retenção de água no solo (CRA).

Parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten					
Tratamentos	θ_{sat}	θ_{res}	α	m	N
	----- $cm^3 cm^{-3}$ -----	----- $cm^3 cm^{-3}$ -----	hPa		
T1	0,477	0,037	0,0006	5,6954	0,5022
T2	0,443	0,054	0,0313	0,2070	9,2755
T3	0,440	0,054	0,0135	1,7146	1,0847
T4	0,437	0,040	0,0593	0,1591	5,1632
T5	0,469	0,050	0,0419	0,2979	6,4590

Figura 6 - Curvas de retenção de água no solo (CRA) em área de adubação com resíduo de caju para os cinco tratamentos, T1 = 0 t ha⁻¹, T2 = 16 t ha⁻¹, T3 = 32 t ha⁻¹, T4 = 48 t ha⁻¹ e T5 = 64 t ha⁻¹.



Além disso, essa diferença entre curvas de retenção de água no solo, do ponto de vista prático/agronômico representa uma diferença significativa na quantidade de água armazenada, pois para uma mesma profundidade os tratamentos avaliados apresentaram diferentes curvas,

o que reflete em uma maior quantidade de água para as plantas, principalmente no tratamento 1 em detrimento dos demais.

4.5 Intervalo hídrico menos limitante

Nas figuras 7, 8, 9, 10 e 11 são apresentadas as variações de umidade do solo nos limites críticos, que são menos restritivos ao desenvolvimento das plantas, são eles: umidade na capacidade de campo (θ_{CC}), porosidade de aeração de 10 % (θ_{PA}), resistência do solo à penetração (θ_{RP}) e ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) em função da densidade do solo (Ds) para os tratamentos de 1 a 5, sendo denominado de intervalo hídrico menos limitante (IHML). A área hachurada nas figuras representa o IHML.

Para todos os tratamentos o limite superior foi a capacidade de campo (CC) e o limite inferior foi o ponto de murcha permanente (PMP), ou seja, o intervalo hídrico menos limitante (IHML) para esse trabalho foi igual a capacidade de água disponível (CAD).

Figura 7 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo ($\psi = 0,01$ MPa), ponto de murcha permanente ($\psi = 1,5$ MPa), porosidade de aeração de 10% e resistência à penetração de 2 MPa no tratamento T1.

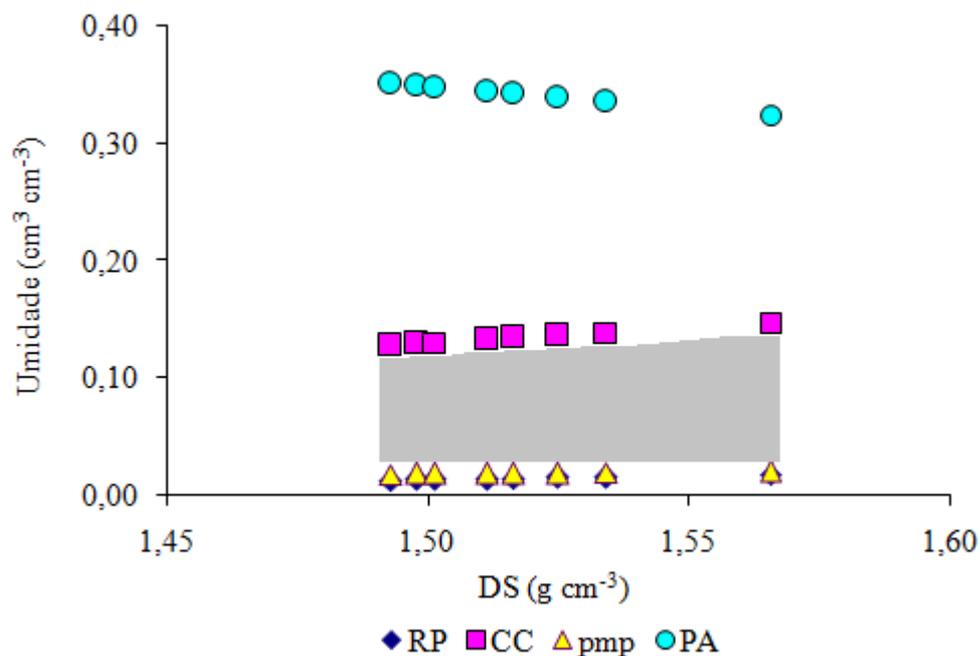


Figura 8 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo ($\psi = 0,01$ MPa), ponto de murcha permanente ($\psi = 1,5$ MPa), porosidade de aeração de 10% e resistência à penetração de 2 MPa no tratamento T2.

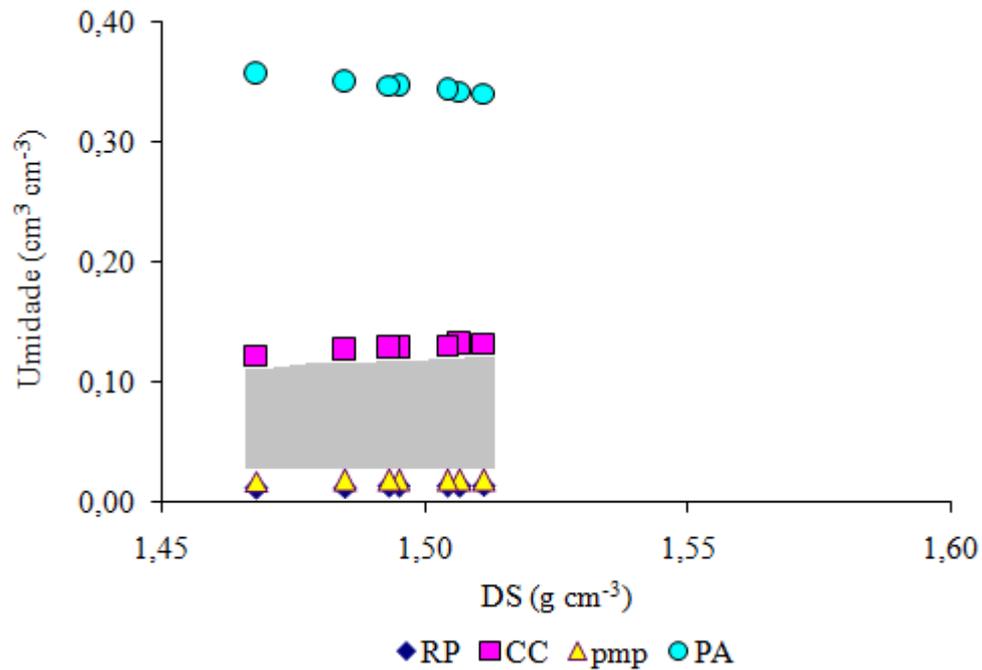


Figura 9 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo ($\psi = 0,01$ MPa), ponto de murcha permanente ($\psi = 1,5$ MPa), porosidade de aeração de 10% e resistência à penetração de 2 MPa no tratamento T3.

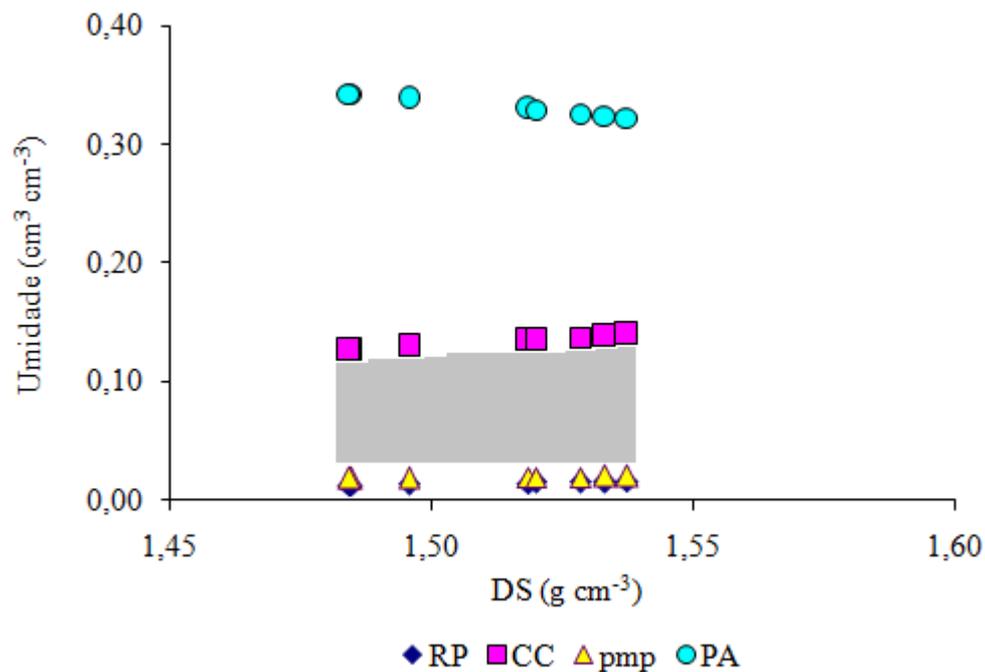


Figura 10 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo ($\psi = 0,01$ MPa), ponto de murcha permanente ($\psi = 1,5$ MPa), porosidade de aeração de 10% e resistência à penetração de 2 MPa no tratamento T4.

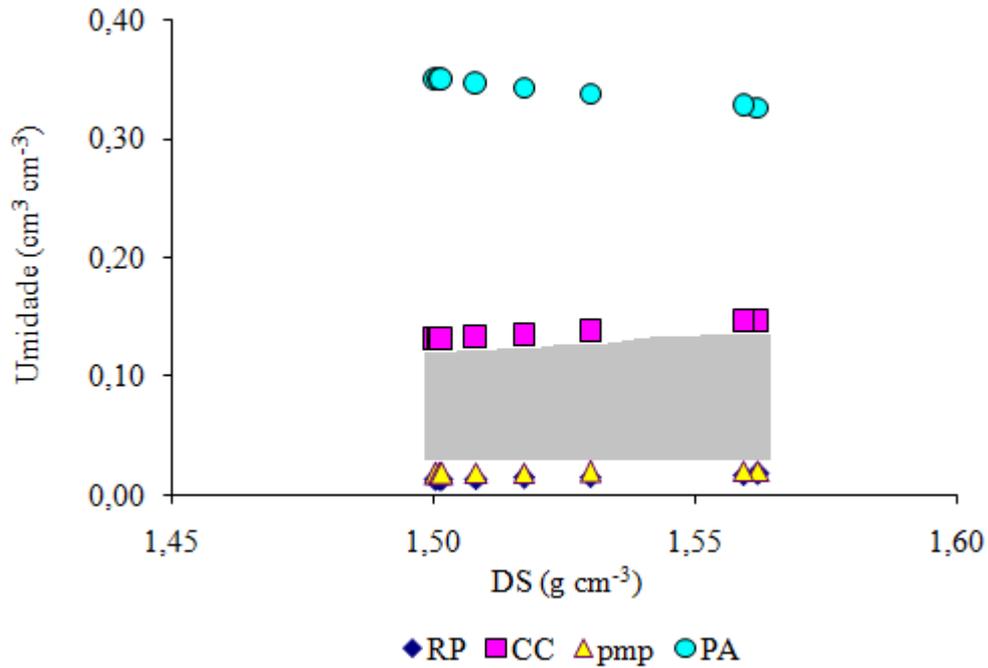
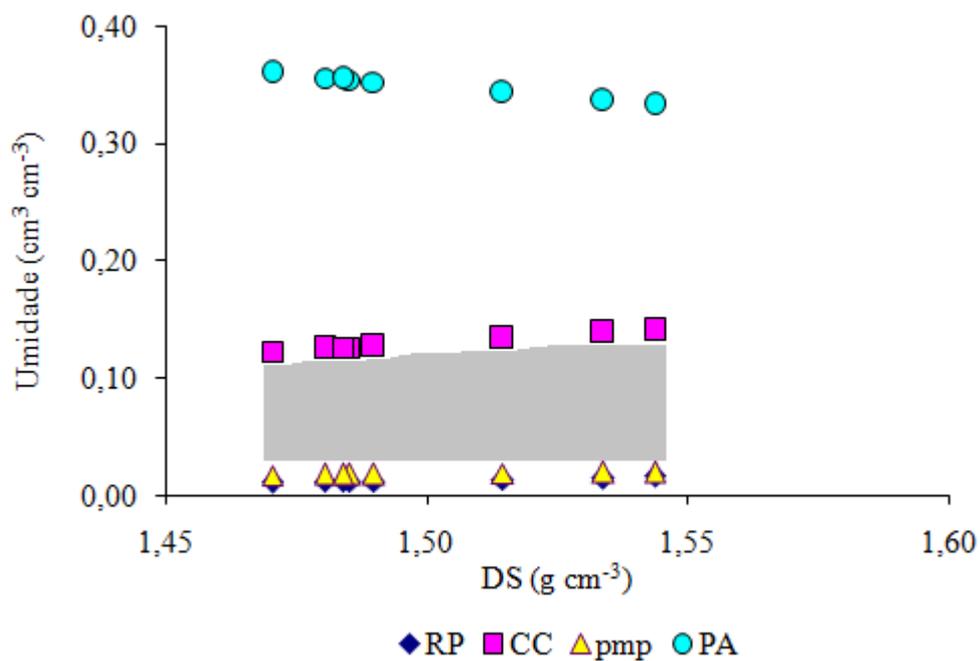


Figura 11 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo ($\psi = 0,01$ MPa), ponto de murcha permanente ($\psi = 1,5$ MPa), porosidade de aeração de 10% e resistência à penetração de 2 MPa no tratamento T5.



Nesse caso se pode observar que o limite superior do IHML foi θ_{CC} para todos os tratamentos, ou seja, a θ_{PA} não substituiu a θ_{CC} como fator impeditivo no solo. Logo, é possível afirmar que o solo da área avaliada possui espaço poroso necessário para a realização das trocas gasosas. O que pode ser confirmado pela predominância da macroporosidade, responsável pela aeração e troca de gases, sobre os microporos, já mostrados anteriormente.

Pereira (2009) que também encontrou a capacidade de campo como limite superior para todos os casos estudados diz que isso significa que para as condições do solo estudado e na faixa de alta umidade, o fator condicionante da adequação hídrica é o potencial da água e não a aeração. E ainda ressalta que isso ocorre devido a alta quantidade de poros de maior diâmetro, pois tratava-se de um da classe textural areia, assim como o solo desse estudo (tabela 1).

O limite superior encontrado foi a θ_{PMP} também para os cinco tratamentos, ao invés do θ_{RP} . Logo, o IHML foi igual à capacidade de água disponível (CAD), ou seja, a umidade do solo compreendida entre a CC e o PMP. No entanto, pode-se observar nas figuras 7, 8, 9, 10 e 11 que a θ_{RP} o esteve muito próximo de substituir o θ_{PMP} como limite inferior, havendo pouca diferença. Assim, uma pequena redução da umidade além do PMP, consiste no surgimento de um novo fator impeditivo, a RP, indicando que imediatamente depois do solo atingir a umidade no PMP a planta também passará a sofrer restrições quanto ao desenvolvimento do sistema radicular por impedimento mecânico.

Araújo, Tormena e Silva (2004) também encontraram o IHML igual à água disponível em solo sob mata nativa, ou seja, com a capacidade de campo como limite superior e ponto de murcha permanente como limite inferior. Porém, em solo sob cultivo os mesmos autores encontraram a porosidade de aeração e resistência do solo à penetração como condições restritivas. O que demonstra que há casos que a CAD não é suficiente para determinar o intervalo hídrico menos limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Fontanela (2008) afirma ainda que a incorporação da porosidade de aeração do solo e da resistência do solo à penetração na definição do IHML para o crescimento de plantas resultou num parâmetro mais sensível às alterações da estrutura do solo do que o conceito de água disponível.

Tormena, Silva e Libardi (1998) encontraram a capacidade de campo como limite superior em 97% das amostras em relação à porosidade de aeração. Mesmo resultado encontrado por Fontanela (2008) em trabalho realizado com parâmetros físico-hídricos de um

Latossolo sob diferentes sistemas de manejo e níveis de tráfego, no qual todos os tratamentos apresentaram a capacidade de campo como limite superior e em alguns tratamentos o limite inferior foi o ponto de murcha permanente, porém com o aumento da densidade a resistência do solo à penetração passou a ser o fator mais limitante.

Com isso percebe-se que os limites convencionais da faixa de disponibilidade de água, CC e PMP, mesmo com novos fatores sendo levados em consideração, ainda devem ser levados em conta, quando se tem a finalidade de se obter a produção máxima das plantas, pois eles são tão determinantes na produção quanto os outros limites incorporados para a determinação do IHML.

Porém, Oliveira (2011) cita situações com a maior influência da RP no IHML, demonstrando que o conceito de água disponível não é suficiente para prever valores de umidade do solo adequados ao bom desempenho das plantas, principalmente quando se trata de manejo da água em agricultura irrigada para fins de produção ótima das culturas, onde em função da variabilidade do solo não se permite somente a adoção desses limites convencionais (TORMENA *et al.*, 1999). Para alguns autores a resistência do solo à penetração e a porosidade de aeração tornam-se fatores limitantes principalmente em solos com quantidades mais elevadas de argila, como solos com textura muito argilosa, argilosa e textura média.

No geral pode-se observar uma correlação negativa entre a porosidade de aeração e a densidade do solo, redução da porosidade de aeração de acordo com o aumento da densidade, porém não foi suficiente para torná-la um fator impeditivo. Corroborando com Tormena, Silva e Libardi (1998), que afirmam em seu estudo que a porosidade de aeração foi fortemente influenciada pela densidade do solo. Quando a densidade do solo aumenta, que é a relação entre massa e volume, um mesmo volume de solo passar a ser ocupado por uma quantidade maior de massa, logo o espaço poroso é reduzido, assim pode ser explicado a diminuição da porosidade de aeração com o acréscimo da densidade do solo.

Já para a capacidade de campo, nota-se que esse acréscimo na densidade promoveu um aumento da umidade na capacidade de campo, apresentando uma correlação positiva. O que pode ser explicado pelo fato do solo trabalhado ser arenoso, como predomínio de macroporos, então um adensamento poderia provocar uma elevação na quantidade de poros de menor diâmetro, permitindo uma maior capacidade de retenção de água. O mesmo também foi observado por Pereira (2009) em Neossolo Quartzarênico e Cavalieri *et al.* (2006) em Latossolo de textura franco-argilo-arenosa.

Nesse estudo não foi verificado nenhum valor de D_s maior que D_c (valor da densidade do solo que o IHML é igual na zero), o que indica que não há restrições físicas graves ao crescimento das plantas. Oliveira (2011) em trabalho realizado em um Argissolo sob pastagem irrigada, também não encontrou D_s maior que a D_c tanto em duas situações avaliadas quanto em diferentes profundidades.

Por fim, a partir do conceito do IHML, pode-se inferir que a área estudada provavelmente não apresenta sérias limitações para o crescimento das plantas, pois a densidade do solo não superou a densidade crítica. Porém a baixa amplitude do IHML pode consistir em problemas para a cultura de acordo com o teor de umidade do solo. Com isso pequenas variações na umidade provavelmente poderão causar limitações ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Kay (1990) verificou que quanto menor o IHML maiores são as chances de o sistema radicular encontrar restrições físicas relacionadas ao crescimento. Tormena (1998) constatou que os sistemas de manejo que proporcionam um menor valor de IHML expõem as culturas a um maior número de situações de estresse, por excesso ou por falta de água.

5 CONCLUSÕES

5.1 - As doses de resíduo de caju aplicadas não surtem efeito sobre a densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, resistência do solo à penetração e intervalo hídrico menos limitante.

5.2 - A aplicação de resíduo de caju sobre o solo reduz a capacidade de água disponível, provavelmente pelo efeito hidrofóbico causado por esse tipo de matéria orgânica.

5.3 - A não incorporação ao solo, resistência do material em se decompor, quantidade insuficiente de resíduo e o tempo relativamente curto da aplicação até avaliação foram os fatores responsáveis para que não houvesse alterações significativas nas variáveis analisadas.

5.5 - A adição de doses maiores aplicadas sucessivamente e avaliações ao longo dos anos possivelmente possam resultar em mudanças passíveis de serem detectadas pelos indicadores de qualidade do solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 115-119, 1995.
- ALMEIDA, J.; FERREIRA FILHO, J. R.; Mandioca: uma boa alternativa para alimentação animal. **Bahia Agrícola**, v.7, p.50-56. 2005.
- ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo vermelho-escuro e a sustentabilidade de agrossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 933-942, 1999.
- ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 753-761, 1999.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do solo: conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008. 290 p.
- ANGIN, I.; YAGANOGLU, A. V. Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 13, p. 757-768, 2011.
- AN, S.; MENTLER, A.; MAYER, H.; BLUM, W. E. H. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. **Catena**, v. 81, p. 226-233, 2010.
- ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C.; CERRI, C. C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 803-816, 2005.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Uso do índice S na determinação da condutividade hidráulica não-saturada de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 376-381, 2008.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 857-865, 2000.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de uma Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 337-345, 2004.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT; W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2007.

ARCENEGUI, V.; GUERRERO, C.; MAYORAL, A. M.; MORALES, J.; GONZÁLEZ, J. ; GARCÍA-ORENES, F.; GÓMEZ, I. Water repellency under different plant species in a calcareous forest soil in a semiarid Mediterranean environment. **Hydrological Processes**, v. 21, p. 2300-2309, 2007.

ASGHARI, S.; ABBASI, F.; NEYSHABOURI, M. R. Effects of soil conditioners on physical quality and bromide transport properties in a sandy loam soil. **Biosystems Engineering**, v. 109, p. 90-97, 2011.

BENGHOUGH, A.G.; BRANSBY, M.F.; HANS, J.; MCKENNA, S.J.; ROBERTS, T.; VALENTINE, T.A. Root responses to soil physical conditions: Growth dynamics from field to cell. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 437-443, 2006.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; ANDRIOLI, I. Efeito da compactação do solo na estabilidade de agregados e no conteúdo gravimétrico de água. **Maringá**, v. 27, p. 193-198, 2005.

BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A. C. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M. V.; GUIMARÃES, R. M. L. Intervalo hídrico ótimo num Nitossolo Vermelho Distroférico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 273-281, 2009.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986b. pt. 1, p.363-375. (Agronomy Monography, 9).

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986a. pt. 1, p.377-382. (Agronomy Monography, 9).

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. 1974. **Natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 594 p.

CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2183-2190, 2011.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M. O.; SILVA, A. R.; TASSO JÚNIOR, L. C.; NOBILE, F. O. Atributos físicos de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.738-747, 2006.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARTER, M. B., GREGORICH, E. G., ANDERSON, D. W., DORAN, J. W.; JANZEN, H. H., PIERCE, F. J. Concepts of soil quality and their significance. In: GREGORICH, E. G.;

CARTER, M. R. (eds) Soil quality for crop production and ecosystem health. Developments in Soil Science. **Elsevier**, v. 25, p. 1-19, 1997.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no estado de São Paulo**. 2005. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Universidade de São Paulo/ESALQ, Piracicaba, 2005.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1153-1155, 2004.

CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; FILHO, P. S. V.; GONÇALVES, A. C. A.; COSTA, A. C. S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 137-147, 2006.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Variabilidade da resistência à penetração do solo em função da dimensão da malha amostral. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, p.4-9, 2011.

CONEGLIAN, C.; MORAES, M. H. Efeito de resíduos vegetais de milho (*Pennisetum americanum*) e da calagem em algumas propriedades físicas e químicas de um Nitossolo Vermelho em sistema de semeadura direta. **Irriga**, v. 11, p. 293-304, 2006.

CONTE E CASTRO, A. M.; SILVA, S. C.; PAULETTI, D. R.; SPACKI, A. P.; VACARIN, R. I.; SILVA, L. P. E.; DARTORA, J. **Resíduos orgânicos nas características físicas do solo cultivado com crisântemo**. In: FERTBIO: DESAFIOS PARA O USO DO SOLO COM EFICIÊNCIA E QUALIDADE AMBIENTAL, 2008, Londrina. [Anais...]. Londrina: FERTBIO, 2008. 5f.

CORRÊA, J. C.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MORAES, M. H. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 263-272, 2009.

COSTA, A. **Retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina: avaliação e geração de funções de pedotransferência**. 2012. 423 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias: Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.

COSTA, A. S. V.; SILVA, M. B.; GALVÃO, E. R.; RUFINI, J. C. M.; MONTEIRO, C. L. O. Alterações na capacidade de retenção de água no solo após a aplicação de resíduo sólido proveniente de uma fábrica de celulose. **Revista Universidade Rural: Série da Vida**, v. 26, p. 01-10, 2006.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1185-1191, 2006.

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, v.10, p. 1-7, 2002.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt. 1, p.443-461. (Agronomy Monography, 9).

DEXTER A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, p. 201-214, 2004.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Soil Science Society of America, Madison, p. 3-21, 1994. (Special Publication, 35).

DOURADO NETO, D.; NIELSON, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scienta Agrícola**, v. 57, p. 191-192, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Análises de Solo**. 2ª ed., Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

FERREIRA FILHO, J. R.; MATTOS, P. L. P.; GOMES, J. C. **Raspa de mandioca na alimentação animal**. Cruz das Almas, BA: EBDA/CAR/EMBRAPA, 2004. Folder.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SCAPIM, C. A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho cultivado com citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 9-19, 2007.

FILHO, J. T.; FELTRAN, C. T. M.; OLIVEIRA, J. F.; ALMEIDA, E. Modelling of Soil Penetration Resistance for an Oxisol under No-Tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 89-95, 2012.

FONTANELA, E. **Parâmetros físico-hídricos de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo e níveis de tráfego**. 2008. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FREIRE, A. P. A.; ARAÚJO, A. B.; GOMES, G. M. F.; BITTAR, C. M. M.; ROGERIO, M. C. P. **Composição química e digestibilidade *in vitro* do pedúnculo de caju**. In: ENCONTRO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL VALE DO ACARAÚ, 6., 2011, Sobral. [Anais...]. Sobral: UVA, 2011. 6f.

FREITAS, I. C.; SANTOS, F. C. V.; FILHO, R. O. C.; SILVA, N. R. A.; CORRECHEL, V. Resistência à penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.1275-1281, 2012.

FUCEME - **Gráfico de chuvas dos postos pluviométricos**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/grafico-de-chuvas-dos-postos-pluviometricos>>. Acesso em 20 mar. 2013.

GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P.; ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of convencional, organic and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 80, p. 29-45. 2000.

GOMES, A. S. Qualidade do solo: conceito, importância e indicadores da qualidade. **Revista Cultivar Hortaliças e Frutas**, Grupo Cultivar Artigos Técnicos, 2010.

GOMES, A. S.; SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S. **Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Embrapa Clima Temperado, Pelotas. Documentos, 169. 2006. 40 p.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Embrapa Meio Norte, Jaguariúna. 2006. 8 p.

GONÇALVES JÚNIOR, D.; SILVA, G. P.; MENEZES, J. F. S.; GONÇALVES, M. E. M. P.; SANTOS, C. J. L.; SILVA, T. R. **Influência da resistência do solo á penetração no peso radicular da cultura da cana de açúcar em solos adubados com dejetos líquido de suíno**. In: I SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS: USO DOS RESÍDUOS DA PRODUÇÃO ANIMAL COMO FERTILIZANTE, 2009, Florianópolis. [Anais...]. Florianópolis, 2009. 4p.

GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga**, v. 17, p. 337-345, 2012.

GRZESIAK, S., GRZESIAK, M. T., FILEK, W., HURA, T., STABRYŁA, J. The impact of different soil moisture and soil compaction on the growth of triticale root system. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 24, p. 331-342, 2002.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por bio sólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1069-1076, 2004.

GUIOTOKU, M.; RADOMSKI, M. I. **Qualidade da matéria orgânica do solo de sistema agroflorestal: uma abordagem de avaliação termogravimétrica**. In: EVENTO DE INICIATIVAS E MELHORIAS DAS ATIVIDADES DE APOIO TÉCNICO-ADMINISTRATIVO DA EMBRAPA FLORESTAS, 5., 2010, Colombo. Anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. (Embrapa Florestas. Documentos, 197). CD-ROM.

HAYNES, R. J. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. **Advances in Agronomy**, v. 85, p. 221-268, 2005.

HILLEL, D. Flow of water in unsaturated soil. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, p.203-241. 1998.

INGARAMO, O. E. **Indicadores físicos de la degradación del suelo**. 2003. 298 p. Tese (Doutorado em Edafologia) - Universidade da Coruña, La Coruña, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Perfil básico municipal: Pacajus. Banco de dados agregados. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA: Tema Agricultura. Disponível em <[http:// www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br) >. Acesso em: 5 jan. 2013.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE. **Perfil básico municipal - Pacajus**. Fortaleza: IPECE, 2004. 10p.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 116-121, 2008.

JORGE, J. A.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 237-40, 1991.

JORGE, R. F.; ALMEIDA, C. X.; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R. Distribuição de poros e densidade de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 159-169, 2012.

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**, v. 33, p. 845-855, 2009.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, v. 114, p. 145-156, 2003.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMMAN, G. E. Soil quality: A concept, definition and Framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 4-10, 1997.

KAY, B. D. Rates of change of soil structure under different cropping systems. In: STEWART, B. A. **Advances in Soil Science**; New York: Springer-Verlag, Heidelberg. v. 12, p. 1-52, 1990.

KAY, B. D.; VANDENBYGAART, A. J. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. **Soil & Tillage Research**, v. 66, p. 107-118, 2002.

KELLER, T.; HÅKANSSON, I. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. **Geoderma**, v. 154, p. 398-406, 2010.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: Relação solo-planta. Piracicaba: Ceres, 1979. 262p.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (ed) **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison, America Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt. 1, p. 635-662. (Agronomy Monography, 9).

KOOREVAAR, P.; MENELIK, G.; DIRKSEN, C. Elements of soil physics. Development of soil science. **Elsevier**, v. 13, 1983. 228 p.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Mexico: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

LAL, R.; PIERCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIERCE, F. J., eds. Soil management for sustainability. Ankeny: **Soil Water Conservation Society**, v. 46, p. 1-5, 1991.

LANNA, A. C. **Impacto ambiental de tecnologias, indicadores de sustentabilidade e metodologias de aferição: uma revisão**. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás. Documentos, 144. 2002. 31p.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; PERFECT, E.; TORMENA, C. A. An algorithm for calculating the least limiting water range of soil using SAS. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 1210-1215, 2005.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA E. S.; NEVES J. C. L.; MACHADO P. L. O. A.; GALVÃO J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 821-832, 2003.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v. 1, p.277-294, 1985.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 335 p.

LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N.; LIMA, A. C. R. **Qualidade Física do Solo: Indicadores Quantitativos**. Embrapa Clima Temperado, Pelotas. Documentos, 196. 25 p. 2007.

LIMA, H. V.; SILVA, A.P.; ROMERO, R. S.; JACOMINE, P. K. T. Comportamento físico de um Argissolo Acinzentado Coeso no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 33-40, 2005.

LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C. O.; SERAFIM, M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 71-78, 2012.

LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Intervalo Hídrico Ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 71-78, 2012.

LIPIEC, J.; KUS, J.; SŁOWIN´SKA-JURKIEWICZ, A.; NOSALEWICZ, A. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. **Soil & Tillage Research**, v. 89, p. 210-220, 2006.

LOGSDON, S. D.; KARLEN, D. L. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 78, p. 143-149, 2004.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos: São Paulo, 115 p, 2004.

MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; DIOGO, L. O.; RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. **Resistência do solo à penetração de um Neossolo Quartzarênico cultivado com cana de açúcar sobre a influência da adubação orgânica e mineral**. In: II CBRO - II CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS: RECICLAGEM E SUSTENTABILIDADE, 2011, Vitória. [Anais...]. Vitória, 2011. 6p.

MATAIX-SOLERA, J.; CERDÀ, A.; ARCENEGUI, V.; JORDÁN, A.; ZAVALA, L.M. Fire effects on soil aggregation: A review. **Earth-Science Reviews**, v. 109, p. 44-60, 2011.

MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R. & CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, p. 331-338, 2009.

MELO, V. P.; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M.; CENTURION, J. F.; MELO, W. J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 67-72, 2004.

MODOLO, A. J.; FERNANDES, H. C.; SCHAEFER, G. C. E.; SILVEIRA, J. C. M. Efeito da compactação do solo sobre a emergência de plântulas de soja em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p. 1259-1265, 2008.

MONTEIRO, K. F. G.; KERN, D. S.; RODRIGUES, T. E.; RUIVO, M. L. P.; FARIAS, P. R. S. Caracterização dos Argissolos amarelos com adição de resíduos de madeira: uma alternativa de uso como cobertura em solos da Amazônia Paraense. **Ciências Naturais**, v. 1, p. 139-148, 2006.

MOURA, J. B.; MARASCA, I.; MENESES, L. A. S.; PIRES, W. M.; MEDEIROS, L. C. Resistência a penetração do solo em pastagem cultivada com *Brachiaria decumbens* sob

aplicação de dejetos líquidos suínos e cama de frango. **Global Science and Technology**, v. 05, p. 162-169, 2012.

NAVAS, A.; BERMÚDEZ, F.; MACHÍN, J. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. **Geoderma**, v.87, p.123-135, 1998.

NEVES JUNIOR, A. F. **Avaliação da qualidade física de solos em pastagens degradadas da Amazônia**. 2005. 65 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M.; 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**, v. 34, p. 1271-1282, 2010.

OLIVEIRA, O. R.; CORRÊA, M. C. M.; PINTO, C. M.; BRAGA, M. M.; OLIVEIRA, C. H. A. **Desenvolvimento de plantas de pimentão em substrato com diferentes doses de bagaço de caju**. VI Encontro Nacional sobre substratos para plantas: materiais regionais como substrato. Embrapa Agroindústria Tropical, SEBRAE, UFC, Fortaleza, 2008.

OLIVEIRA, S. P. **Qualidade do solo em Argissolo sob pastagem irrigada**. 2011. 61 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

ORELLANA, J. A.; PILATTI, M. A.; GRENÓN, D. A. Soil quality: an approach to physical state assessment. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 9, p. 91-108, 1997.

PEREIRA, E. P. **Índices de qualidade física do solo para um Neossolo Quartzarênico de Russas - CE**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

PINHEIRO, C. A. F. **Levantamento detalhado de solos da Estação Experimental de Pacajus, CE, do Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical**. 1994. 75p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1994.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Piracicaba: CNEN - Fundação Cargill, 1975. 268 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27. p. 29-48, 2003.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, p. 131-146, 2002.

RIBEIRO, K. A.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; XAVIER, F. A. Z.; MAIA, S. M. F.; SOUSA, H. H. F. Qualidade do solo na cultura do cajueiro anão precoce cultivado sob

diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 341-351, 2007.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, p. 321-344, 2005.

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. C. Qualidade do solo: Uma visão holística. Boletim Informativo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 15-18, 2002.

SASAL, M. C.; ANDRIULO, A.E.; TABOADA, M. A. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. **Soil & Tillage Research**, v. 87, p. 9-18, 2006.

SAYGIN, S. D.; CORNELIS, W. M.; ERPUL, G.; GABRIELS, D. Comparison of different aggregate stability approaches for loamy sand soils. **Applied Soil Ecology**, v. 54, p. 1-6, 2012.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of least limiting water ranges of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, E. A. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V.; SOUZA, E. G. Um Estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos do solo e planta. **Acta Scientiarum**, v. 25, p. 365-371, 2003.

SILVA, E. M.; LIMA, J. E. F. W.; AZEVEDO, J. A.; RODRIGUES, L. N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 323-330, 2006.

SILVA, G. J.; LIMA, H. V.; CAMPANHA, M. M.; GILKES, R. J.; OLIVEIRA, T. S. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. **Geoderma**, v. 167-168, p. 61-70, 2011.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. **Matéria orgânica do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

SILVA, L. G. **Uso e monitoramento de indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade de solos de cerrado sob diferentes ecossistemas**. 2008. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2008.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 191-199, 2000.

- SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van., eds. Soil compaction in crop production. **Elsevier**, p. 1-21, 1994.
- SOLONE, R.; BITTELLI, M.; TOMEI, F.; MORARI, F. Errors in water retention curves determined with pressure plates: Effects on the soil water balance. **Journal of Hydrology**, p. 65-74, 2012.
- SORT, X.; ALCANIZ, J.M. Modification of soil porosity after application of sewage sludge. **Soil & Tillage Research**, v.49, p.337- 345, 1999.
- SOUZA, Z. M.; BEUTLER, A. N.; MELO, V. P.; MELO, W. J. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em Latossolos adubados por cinco anos com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.117-23, 2005.
- SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, Í. H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 36, p. 128-134, 2006.
- SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, v. 114, p. 143-144, 2003.
- STEVENSON, E. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York, NY: John Wiley & Sons., 1982. 443p.
- SUUSTER, E.; RITZ, C.; ROOSTALU, H.; REINTAM, E.; KÖLLI, R.; ASTOVER, A. Soil bulk density pedotransfer functions of the humus horizon in arable soils. **Geoderma**, v. 163, p. 74–82, 2011.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 725-730, 2001.
- TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER Jr., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, p. 18-22, 1966.
- TORMENA, C. A. **Caracterização e avaliação do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo**. 1998. 106 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: um conceito para avaliação da qualidade física do solo e

manejo da água na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, p.286-292, 1999.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microorganismos e processos microbiológicos como bioindicadores de qualidade dos solos. In: Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, p. 105-276, 2002.

URACH, F. L. **Estimativa da retenção de água em solos para fins de irrigação**. 2007. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

VALADÃO, F. C. A.; MAAS, K. D. B.; WEBER, O. L. S.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; SILVA, T. J. Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2073-2082, 2011.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-897, 1980.

VAZ, C. M. P.; MANIERI, J. M.; MARIA, I. C.; TULLER, M. Modeling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content. **Geoderma**, v. 166, p. 92-101, 2011.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2105-2114, 2011.

VOGELMANN, E. S. **Ocorrência de hidrofobicidade em solos do Rio Grande do Sul**. 2011. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. C.; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 20, p. 391-411, 2003.