



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

GILDIVAN DOS SANTOS SILVA

QUALIDADE FÍSICA DE UM ARGISSOLO ACINZENTADO DO MUNICÍPIO DE
PACAJUS (CE) APÓS A APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE CAJU

FORTALEZA
2013

GILDIVAN DOS SANTOS SILVA

QUALIDADE FÍSICA DE UM ARGISSOLO ACINZENTADO DO MUNICÍPIO DE
PACAJUS (CE) APÓS A APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE CAJU

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação 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 do solo.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

S58q Silva, Gildivan dos Santos.
Qualidade física de um argissolo acinzentado do município de Pacajus (CE) após a aplicação de resíduo de caju / Gildivan dos Santos Silva..– 2013.
60 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,
Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de
Plantas, Fortaleza, 2013.

Área de Concentração: Dinâmica do Solo e da Água Associada ao Manejo do Solo.

Orientação: Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior.

1. Adubação. 2. Adubação orgânica. 3. Geometria porosa. 4. Solo arenoso. 5. Caju- resíduo.

I. Título.

CDD 631.4

GILDIVAN DOS SANTOS SILVA

QUALIDADE FÍSICA DE UM ARGISSOLO ACINZENTADO DO MUNICÍPIO DE
PACAJUS (CE) APÓS A APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE CAJU

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação 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 do solo.

Aprovado em: 25 / 07 / 2013

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Alexsandro dos Santos Brito (Membro Externo)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano (IFBaiano)

*Primeiramente a Deus, minha fortaleza; à
minha família, a quem devo minha vida; e aos
que me ensinaram a nunca desistir.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por ter me dado força, compreensão, serenidade e discernimento, e por me dar a chance de aproveitar as oportunidades que me conduziram ao crescimento pessoal e profissional.

Aos meus pais, Francisco e Cícera, por serem o alicerce constante em minha vida. Eles que me ensinaram os verdadeiros valores, os quais levo sempre comigo, em minha “bagagem”. Aos meus irmãos, Gildo, José e Gilvanilda, que estão sempre torcendo por mim. Aos meus avós maternos, Vicente e Expedita, pelos quais tenho imenso respeito e consideração. E aos meus avós paternos, Martinho e Maria Oflía (*in memoriam*), por trazerem ao mundo aquele de quem nunca me canso de falar, meu pai, um agricultor que nunca deixou faltar o alimento em casa e que faz de tudo para ser um bom esposo para minha mãe.

Aos meus tios e tias, primos e primas, que mesmo não citando nome, pois são muitos, deixo aqui o meu agradecimento por estabelecer um ambiente respeitoso, no qual eu nasci.

À Universidade Federal do Ceará, ao Departamento de Ciências do Solo e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de plantas e aos professores que contribuíram para minha formação nesta instituição.

Ao Professor Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior, pela disposição de me orientar e pela preocupação de me mostrar as verdadeiras premissas que regem a pesquisa.

Aos amigos e colegas de demais departamentos da UFC e, especialmente, do curso de Pós-graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas: Alisson Simplício, Alcione Guimarães, Antônio Alves, Carlos Vítor, Cleiton Saialy e Luis Francinélío que dividiram comigo os momentos de estudo, trabalho e diversão.

Às pessoas que, além de amigas, fizeram um papel de família, me aconselhando e dando forças quando mais precisei: Bruna Iwata, Bruno Meneses, Juciane Maria, Leandro Moscoso, Francisco Thiago, Régis Braz, Ramon Costa, Rodolfo Assis, Manoel Francisco, Marlene Alexandrina, Melchior Naelson, Mirla Gardênia, Sherly Aparecida, Vanuza Xavier e Thales Pantaleão.

Aos amigos e locutores da Rádio Dom Bosco, Nilcemar Linhares e Edvânio Alencar; aos ouvintes e a toda família Salesiana, que foram um canal de Deus em minha vida espiritual e religiosa.

Por fim, a todos que, de alguma forma, acreditaram no meu potencial.

“Os desejos da vida formam uma corrente cujos elos são as esperanças”

Lucius A. Seneca

RESUMO

Desde que o homem descobriu na agricultura uma forma de obter alimentos, a natureza passou a ser modificada. Alterações foram causadas no ecossistema e com elas vieram as perdas na qualidade do solo. Com isso, sentiu-se a necessidade da implantação de sistemas que preconizam pela conservação do solo e, dessa forma, os resíduos que antes eram queimados ou retirados da área agrícola começam a ser deixados na superfície do solo com o intuito de protegê-lo e promover melhorias na sua qualidade. Nesse contexto, a aplicação de resíduo orgânico no solo, como o bagaço de caju, pode trazer benefícios à qualidade física do mesmo. Diante do exposto, o objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de resíduo de caju sobre a qualidade física do solo por meio de indicadores. Foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada e não preservada. As análises foram determinadas em campo (infiltração e condutividade hidráulica) e em laboratório (índice S e permeabilidade do solo ao ar). O delineamento empregado foi o de blocos ao acaso, composto por 5 tratamentos (cinco níveis de aplicação – 0, 1, 2, 3, 4, que corresponde, respectivamente a: testemunha, 16, 32, 48, 64 t ha⁻¹ de resíduo orgânico) e quatro blocos. Para a análise estatística, verificou-se a normalidade dos dados a partir do teste de Kolmogorov-Smirnov e, em seguida, realizou-se a análise de variância e o teste Tukey a 5 % de probabilidade. Os valores condutividade hidráulica em solo saturado (K_0) estiveram na faixa que variou de alta a muito alta, reduzindo a possibilidade de escoamento superficial. O resíduo não influenciou na retenção de água no solo, mesmo em doses elevadas. O índice S mostrou valores acima dos considerados pela literatura ($>0,035$), sugerindo um bom indicador na qualidade estrutural do solo em estudo. A permeabilidade do solo ao ar (K_{ar}) também demonstrou valores muito acima daquele considerado crítico ($> 1\mu m^2$), não sendo, portanto, restritivo ao crescimento das plantas. É possível afirmar que os resultados elevados K_0 , índice S e K_{ar} estiveram intimamente relacionados com a macroporosidade, característica inerente ao solo utilizado nessa pesquisa. As doses crescentes de resíduo de caju não influenciaram significativamente nos resultados supracitados.

Palavras-chave: adubação orgânica, geometria porosa, solo arenoso

ABSTRACT

Since man discovered agriculture as a way to get food, nature has been modified. Changes were caused in the ecosystem and with them came the losses in soil quality. Therefore, it was presumed the need to implement systems that imply on the conservation of soil and thus the plant residues that were burned or removed from the agricultural area started to be left on the soil surface in order to protect the soil and to promote improvements in their quality. In this context, the application of plant residues on the soil, such as cashew residues, can bring benefits to physical quality of the soil. Given this, the present research objective was to evaluate the effect of cashew residue on soil physical quality measured through indicators. Samples were collected from both undisturbed not preserved soil. The analyzes were determined in the field (infiltration and hydraulic conductivity) and in the laboratory (index S and soil air permeability). The experimental design was randomized blocks, consisting of 5 treatments (five application rates: 0, 1, 2, 3, 4, which correspond, respectively, to: control, 16, 32, 48, 64 t ha⁻¹ organic waste) and four blocks. For statistical analysis, it was verified the normality of data from the Kolmogorov-Smirnov and, then, followed by the analysis of variance and Tukey test at 5% probability. The values for saturated hydraulic conductivity (K_0) was found to be in the range varying from high to very high, with reducing the possibility of superficial runoff. The residue did not affect the soil water content, even at high rate applications. The S index showed values above those shown in the literature (> 0.035), suggesting a good indicator of the soil quality under study. The soil air permeability (K_{ar}) also had values above that considered critical ($> 1\mu\text{m}^2$), being, therefore, limiting to plant growth. It can be argued that the high results K_0 , S and K_{ar} were closely related to macroporosity, inherent characteristic of the soil used in this research. Increasing application rates of cashew residues did not significantly influence the above results.

Keywords: organic fertilizer, geometry porous, soil sand

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localização da área no Campo Experimental de Pacajus (CEP).....	29
Figura 2.	Resíduo triturado.....	31
Figura 3.	Aplicação do resíduo.....	31
Figura 4.	Médias de condutividade hidráulica em solo saturado (K_0) em área de adubação com resíduo de caju para T1 = testemunha, T2 = 16 t ha ⁻¹ , T3 = 32 t ha ⁻¹ , T4 = 48 t ha ⁻¹ e T5 = 64 t ha ⁻¹	38
Figura 5.	Curva característica de água no solo 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	41
Figura 6.	Médias de Índice S em área de adubação com resíduo de caju para os cinco tratamentos, T1 = testemunha, T2 = 16 t ha ⁻¹ , T3 = 32 t ha ⁻¹ , T4 = 48 t ha ⁻¹ e T5 = 64 t ha ⁻¹	44
Figura 7.	Permeabilidade do solo ao ar em área de adubação com resíduo de caju para os cinco tratamentos, T1 = testemunha, T2 = 16 t ha ⁻¹ , T3 = 32 t ha ⁻¹ , T4 = 48 t ha ⁻¹ e T5 = 64 t ha ⁻¹	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Caracterização química do resíduo de caju.....	30
Tabela 2.	Análise granulométrica, classificação textural e parâmetros físicos do solo.....	32
Tabela 3.	Médias de carbono orgânico total (COT) no solo para os cinco tratamentos determinadas 3 anos após a aplicação do resíduo.....	32
Tabela 4.	Resumo da análise de variância para condutividade hidráulica em solo saturado (K_0).....	37
Tabela 5.	Parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten para a curva característica de água no solo.....	40
Tabela 6.	Resumo da análise de variância para índice S.....	44
Tabela 7.	Resumo da análise variância para permeabilidade do solo ao ar (K_{ar}).....	46
Tabela 8.	Médias de permeabilidade do solo ao ar para a interação Dose x Tensão.....	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	O solo como recurso multifuncional.....	14
2.2	Uso do solo na agricultura x Impacto ambiental.....	15
2.3	Conservação do solo e qualidade ambiental.....	16
2.4	Qualidade do solo: conceitos e relevância.....	18
2.5	Atributos indicadores da qualidade do solo.....	19
2.6	Indicadores físicos de qualidade do solo.....	20
2.6.1	<i>Infiltração de água no solo</i>	22
2.6.2	<i>Condutividade hidráulica</i>	23
2.6.3	<i>Índice S</i>	26
2.6.4	<i>Permeabilidade do solo ao ar</i>	27
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1	Localização da área de estudo.....	29
3.2	Condução da pesquisa.....	30
3.3	Coleta das amostras de solo.....	31
3.4	Determinações.....	32
3.4.1	<i>Análise granulométrica</i>	33
3.4.2	<i>Densidade do Solo, Densidade de Partículas e Porosidade</i>	33
3.4.3	<i>Infiltração de água no solo (I)</i>	33
3.4.4	<i>Condutividade hidráulica em solo saturado (K_0)</i>	34
3.4.5	<i>Índice S</i>	34
3.4.6	<i>Permeabilidade do solo ao ar (K_{ar})</i>	35
3.5	Análise estatística.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1	Condutividade hidráulica em solo saturado (K_0).....	37
4.2	Curva característica de água no solo.....	40
4.3	Índice S.....	43
4.4	Permeabilidade do solo ao ar (K_{ar}).....	46
5	Conclusões.....	51
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A agricultura, durante muitos anos tem procurado atender a grande demanda de alimentos pelos consumidores. Para que isso se tornasse possível, foi necessário aumentar as fronteiras agrícolas em virtude do crescimento demográfico nos últimos tempos. Porém, junto com aumento na produção de alimentos também vieram problemas ambientais relacionados com a degradação aos recursos da natureza. Entre eles merece destaque o solo, cujo recurso sofreu degradações físicas, químicas e biológicas, tendo, portanto, a sua qualidade afetada.

Por causa do sistema de produção convencional, extensas áreas passaram por grandes perdas de solo em virtude dos processos erosivos desencadeados por esse sistema de produção. Este, por sua vez, prioriza o intenso revolvimento do solo a partir de implementos como grades e arados e, dessa forma, promovem a quebra de seus agregados e afetam negativamente os atributos do solo, principalmente a estrutura.

Além disso, as máquinas pesadas utilizadas junto com os implementos agrícolas atuam pressionando o solo e causando a sua compactação, aumentando a densidade, reduzindo a porosidade de aeração e a infiltração da água no solo. Uma vez não infiltrando, a água escoar superficialmente e gera a chamada erosão hídrica, a qual é responsável pela grande quantidade de sedimentos transportados das áreas agrícolas para leitos de rios e outras fontes de água, acarretando assoreamento dos mesmos e deixando os solos quimicamente pobres.

Deve ser destacado o fato de que todo esse problema supracitado tem uma consequência negativa sobre o desenvolvimento das plantas, a começar pelas suas raízes que ficam impedidas de crescer e explorar o espaço físico do solo quando ele se apresenta compactado. A esse impedimento dá-se o nome de resistência do solo à penetração de raízes. Quando isso ocorre, as culturas ficam impossibilitadas de expressarem o seu máximo potencial produtivo. Dessa forma, a atividade agrícola torna-se inviável ao produtor rural, haja vista que os custos são maiores que a receita.

Em virtude dos danos que o preparo convencional tem provocado à qualidade física do solo e, conseqüentemente, ao ambiente, tem-se buscado sistemas de produção mais sustentáveis que reduzam os impactos causados na agricultura. Uma delas é aplicação de resíduo de caju, uma adubação orgânica que tem sido recomendada para melhorar a fertilidade do solo, uma vez que apresenta em sua constituição nitrogênio, fósforo e potássio, elementos importantes para nutrição vegetal.

Além de benefícios nutricionais, o resíduo de caju também pode promover melhoria da qualidade física do solo. O material proveniente de sua decomposição por microrganismos disponibiliza compostos orgânicos que atuam na agregação do solo, proporcionando benefícios à sua estrutura. Assim, alguns parâmetros físico-hídricos, tais como taxa de infiltração, condutividade hidráulica, índice S e permeabilidade do solo ao ar serão alterados com a aplicação desse resíduo na superfície do solo. Eles servirão, portanto, como indicadores físicos de qualidade do solo frente ao efeito do resíduo aplicado.

Dentro do contexto, foi possível formular a seguinte hipótese: a aplicação do resíduo de caju promove melhoria na qualidade física do solo, sendo esta função dos quantitativos.

Diante do exposto, o objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de doses de resíduo de caju sobre a qualidade física do solo por meio de parâmetros indicadores.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O solo como recurso multifuncional

O solo é caracterizado como sendo um recurso de grande importância para o homem e o ambiente. Apresenta caráter multifuncional, desempenhando funções fundamentais aos seres vivos. As principais funções são: habitat para organismos vivos; purificação de água; ciclagem de nutrientes; material para uso humano e meio para crescimento de plantas (SAMPAIO, 2004; KARLEN *et al.*, 1997).

Estudos têm mostrado que o solo funciona como um ambiente onde habitam diversos organismos vivos. Estes normalmente são classificados em três grupos: macrofauna, mesofauna e microfauna. De acordo com Wink *et al.* (2005), a fauna edáfica influencia nos processos biológicos, e, por isso possui um papel essencial como indicadora dos níveis de impacto ambiental. Além disso, existe a flora do solo, que junto com a fauna edáfica, tem ação direta ou indireta sobre o processo de formação da matéria orgânica do solo (Guerra, 1990).

Outra propriedade importante do solo é a de purificação da água que percorre os leitos de rios bem como daquela que infiltra no solo. No entanto, a água vem perdendo a pureza, principalmente em áreas agrícolas, nas quais é comum o uso intensivo de fertilizantes, agrotóxicos, bem como a adição de água salina por meio da irrigação. Tais práticas podem afetar a qualidade da água e do solo. Segundo Neves *et al.* (2009), na região semiárida é comum a utilização, na agricultura, de água salina cujas concentrações totais de sais e de sódio (Na^+) são elevadas, o que pode comprometer a qualidade deste recurso e do próprio solo. Os mesmos autores ressaltam ainda que esse tipo de manejo acarreta perdas na capacidade produtiva da terra e traz sérios prejuízos socioeconômicos.

Além de participar da purificação e da armazenagem da água, o solo tem importância fundamental na ciclagem de nutrientes, pois tem um grande potencial em estocar nutrientes. Estes, quando liberados para a solução do solo, são absorvidos pelas raízes e incorporados à biomassa vegetal. A incorporação dos restos vegetais, ou serrapilheira, e sua posterior decomposição fornece ao solo parte dos nutrientes dele retirados fechando, portanto, o ciclo.

O processo acima reflete a dinâmica dos nutrientes no solo, resultando em entrada e saída de energia no ambiente. A dinâmica de liberação dos nutrientes depende da velocidade de decomposição dos resíduos culturais. Por isso, é importante conhecer o tempo de persistência dos resíduos no solo, uma vez que os mesmos contribuem na fertilidade química do solo, manutenção da umidade e proteção do solo contra efeitos erosivos (BOER *et al.*, 2007).

Tal dinamismo é possível graças à relação mantida entre dois fatores, solo e planta, sendo o primeiro preponderante para o crescimento do segundo. O solo disponibiliza água e nutrientes às plantas, dando suporte ao seu desenvolvimento. A quantidade de água armazenada pode ser afetada se o solo estiver compactado, já que nesta condição há redução na taxa de infiltração e aumento no escoamento superficial, gerando erosão hídrica e prejudicando, portanto, a disponibilidade deste recurso às plantas.

A degradação das propriedades físicas do solo é um dos principais responsáveis pela perda da qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica. Tais alterações podem manifestar-se de várias maneiras (aumento da densidade, redução no tamanho e volume de macroporos, redução na infiltração de água no solo), afetando negativamente o desenvolvimento das plantas (BERTOL *et al.*, 2001).

Assim, é fato que o homem pode interferir na relação solo-água-planta e estudos têm demonstrado que essa interferência é relativamente recente (AGUIAR; MONTEIRO, 2005); ela faz parte da história da evolução humana. Com isto, a ocupação e o uso da terra pelo homem têm gerado alguns impactos ambientais.

2.2 O uso do solo na agricultura x Impacto ambiental

Desde que o homem passou de nômade a sedentário, a agricultura tornou-se o principal meio de aquisição de alimento. Tal agricultura, desde a década de 70, foi pautada no revolvimento intensivo do solo com o permanente tráfego de máquinas e a utilização intensa de insumos externos, como fertilizantes sintéticos e defensivos agrícolas (AGUIAR; MONTEIRO, 2005). Dessa forma, se estabeleceu o sistema de manejo convencional que ganhou mais força principalmente com o avanço da tecnologia durante o período da Revolução Industrial.

Foi em função desse tipo de sistema que muitas áreas agrícolas tiveram seus solos degradados estruturalmente, pois, segundo Bertol *et al.* (2001), o intenso revolvimento provocado pelo sistema de cultivo convencional pode favorecer a decomposição mais rápida da matéria orgânica, ocasionando considerável efeito prejudicial na qualidade estrutural do solo.

Os efeitos negativos causados pelo plantio convencional ainda perduram até hoje, principalmente nas regiões tropicais. De acordo com Pignataro Netto, Kato e Goedert (2009), nestas regiões ainda é um grande desafio desenvolver sistemas de produção que possam preservar a elevada produtividade e conservar a sustentabilidade ambiental. A explicação dada por eles é que em tais locais predominam solos com elevado nível de intemperismo, os quais necessitam de tratos conservacionistas que preservem e melhorem a qualidade dos componentes do meio.

Em função do problema destacado acima, outras alternativas tem sido implantadas com a finalidade de produzir alimentos e, ao mesmo tempo, reduzir e/ou prevenir os impactos causados pelas ações humanas na agricultura. Diante dessa proposta, buscou-se a implantação dos sistemas conservacionistas na agricultura, como por exemplo, o Sistema de Plantio Direto (SDP).

Tal alternativa tomou proporções crescentes ao longo dos anos, pois, além de ser conhecido como um sistema economicamente viável tem como objetivo a redução da erosão do solo, principal problema causado pelo cultivo convencional. Dessa forma, recomenda-se a manutenção de uma quantidade significativa de resíduos (ou palha) que protegem a superfície do solo pelo maior período de tempo possível (AMADO; SANTI; ACOSTA, 2003; MURAISHI *et al.*, 2005).

2.3 Conservação do solo e qualidade ambiental

Baseadas na premissa de conservação e uso do solo, técnicas conservacionistas como adubação verde, uso de cobertura morta e rotação de culturas têm sido alvos de uma agricultura mais sustentável.

Com isso, os produtores agrícolas têm procurado os meios que levam à aplicação de práticas que respeitem a qualidade ambiental, tendo em vista que, tecnologias que preservam a “saúde do solo” estão intimamente relacionadas com a manutenção da qualidade

do ambiente. O uso e manejo adequado do solo, portanto, é algo que se faz necessário para manter tal qualidade.

Vários esforços (estudos e pesquisas no que se refere à conservação do solo e da água) foram realizados na tentativa de buscar manejos e tecnologias que culminem na sustentabilidade dos agroecossistemas. Isto porque é crescente conscientização da sociedade sobre os impactos negativos das atividades agrícolas no ambiente, do uso inadequado dos recursos naturais e da falta de equidade social no modelo de desenvolvimento vigente (FERREIRA, 2005).

Assim, são crescentes os estudos que envolvem as relações agricultura e ambiente, a respeito da adoção de critérios que avaliem corretamente as condições atuais bem como as ideias dos compartimentos do agroecossistema, sejam eles de ordem física, química ou biológica (GOMES; FILIZOLA, 2006).

Numa tentativa de aproximar os sistemas de produção aos ecossistemas naturais, o Sistema de Plantio Direto (SPD) foi posto em prática no intuito de conservar o solo, mantendo a sua biodiversidade com vistas a manter ou melhorar a qualidade ambiental. O SPD surgiu da necessidade de semear no tempo certo, de economizar insumos, de simplificar as operações e de contornar os problemas do manejo de solo, como afirmam Muraishi *et al.* (2005). Segundo eles, a sustentabilidade da propriedade rural moderna se baseia nos parâmetros que demonstrem viabilidade econômica e ambiental.

Tais sistemas depositam uma quantidade considerável de restos culturais sobre o solo, os quais têm as mesmas funções que a serrapilheira em ecossistemas naturais, ou seja, proteção do solo e fornecimento de nutrientes pelo processo de decomposição do material. A serrapilheira compreende todo o material adicionado ao solo pelos organismos, comumente localizado em ambiente de florestas; é composto principalmente por folhas, caules, frutos, flores e restos de animais ou suas próprias fezes (SOARES *et al.*, 2008).

Assim como os resíduos nos sistemas conservacionistas, a serrapilheira contribui com a fertilidade do solo, liberando nutrientes após sua decomposição. Baseado nisso, Arato, Martins e Ferrari (2003) concluíram que a taxa elevada de decomposição da serrapilheira favorece a rápida liberação e o conseqüente reaproveitamento dos nutrientes por parte do sistema radicular da vegetação do sistema agroflorestal.

Além da contribuição química, a decomposição dos resíduos orgânicos em sistemas conservacionistas também pode proporcionar benefícios aos atributos físicos do solo. A matéria orgânica oriunda dessa decomposição atua na agregação do solo, afetando

positivamente na sua estrutura e melhorando sua permeabilidade e aeração. Portanto, as propriedades físicas são influenciadas pelo manejo (BERTOL *et al.*, 2001), uma vez que tais sistemas de produção promovem um aumento do carbono orgânico, sendo fundamental na agregação e estabilidade dos agregados, principalmente os macroagregados (SILVA *et al.*, 2011), o que torna o solo melhor estruturado.

Dentro desse entendimento é possível notar que a qualidade do solo pode ser intimamente influenciada por técnicas de manejo e, com isso, é interessante que se tenha um entendimento mais aprofundado sobre a qualidade desse recurso. Assim, é fundamental que se conheçam os conceitos e aspectos relevantes da qualidade do solo.

2.4 Qualidade do solo: conceitos e relevância

A discussão sobre Qualidade do Solo (QS), de acordo com Vezzani e Mielniczuk (2009), remonta ao início da década de 90, e intensificou-se quando a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar, nas publicações, a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto.

Diante disso, passaram a existir vários conceitos a respeito desse tema, mas um dos conceitos mais difundidos é o de Doran e Parkin (1994) que definem qualidade do solo como “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”.

A definição de qualidade do solo e a identificação de critérios e métodos adequados para avaliá-la com respeito às suas funções variadas é um processo evolutivo (KARLEN *et al.*, 1997).

O conceito de qualidade do solo tem sido essencial para explicar a relação do solo com aspectos ambientais e com a sustentabilidade dos sistemas de produção. Porém, dada à complexidade desse conceito, a avaliação dessa qualidade por meio de atributos do solo é bastante difícil em virtude da grande quantidade de definições de um solo com qualidade para determinado uso, da multiplicidade de inter-relações entre fatores físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e dos aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço (MELLONI *et al.*, 2008). O grande desafio encontra-se em relacionar o desenvolvimento de métodos para avaliação da qualidade do solo com o ambiente onde há

interferência antrópica, em virtude da diversidade de usos desses sistemas pelo homem (MENDES; MELLONI; MELLONI, 2006).

A partir desse argumento, é de interesse da ciência propor alguns parâmetros ou atributos que sirvam como objeto de estudo para avaliar a qualidade do solo, sendo eles relacionados ao manejo desse recurso. Há, atualmente, um esforço interdisciplinar tentando quantificar diferentes atributos que estão relacionados com a sustentabilidade, traduzindo-os na forma de indicadores de qualidade do solo (MELLONI *et al.*, 2008).

2.5 Atributos indicadores da qualidade do solo

O monitoramento da capacidade produtiva do solo por produtores e técnicos pode ser aprimorado com o uso de indicadores de qualidade do solo, desde que se abordem as diversas inter-relações dos componentes do solo e do sistema de produção como um todo, com vistas a contemplar e entender os mecanismos destas interações (FERREIRA, 2005).

Nesse aspecto, o monitoramento da qualidade do solo normalmente é realizado por meio de atributos ou indicadores de qualidade do solo, os quais são classificados em físicos, químicos e biológicos (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Além desses, os indicadores visuais também são aplicados (NIERO *et al.*, 2010).

É importante salientar que no solo estes atributos não atuam de forma isolada, portanto, nenhum método isolado pode ser utilizado com eficiência na avaliação da qualidade do solo (GLOVER; REGANOLD; ANDREWS, 2000). Diante disso, a variação desses atributos, determinada pelo manejo e uso do solo, e sua avaliação são importantes para o melhor manejo visando a sustentabilidade do sistema (CARNEIRO *et al.*, 2009).

Existem vários trabalhos que avaliam a qualidade física do solo por meio de indicadores de qualidade do solo, frente a diversas situações. Uma possibilidade é verificar o efeito de resíduos orgânicos na melhoria dessa qualidade. Chaer e Tótola (2007) avaliaram o impacto desses resíduos sobre a qualidade do solo englobando indicadores físicos, químicos e biológicos. Tais autores verificaram que os indicadores bioquímicos e microbiológicos mostraram-se mais sensíveis para avaliar mudanças qualitativas no solo devido ao manejo, quando comparados com os químicos ou físicos. Outros autores, como Oliveira *et al.* (2002), evidenciaram melhoria na qualidade física do solo com relação à condutividade hidráulica, após ter aplicado composto de lixo urbano em área de cana-de-açúcar.

Na prática, os indicadores visuais de qualidade do solo são aplicados em uma primeira avaliação normalmente por técnicos e produtores agrícolas, embora não sejam tão precisos quanto aqueles medidos em laboratório. Gomes (2010) ressalta que os indicadores visuais podem ser medidos tanto de forma direta como indireta. A interpretação por meio de fotografias aéreas do solo é uma forma indireta de se medir a qualidade visual de um solo. Outras observações podem ser realizadas diretamente, como a exposição do subsolo, mudança de cor do solo, escoamento superficial, entre outras. Ele acrescenta que evidências visuais podem ser indicadores claros de que a qualidade do solo está ameaçada ou passando por alterações.

Entre os principais indicadores físicos de qualidade de solo sob o ponto de vista agrícola, estão: a textura, estrutura, resistência à penetração, profundidade de enraizamento, capacidade de água disponível e percolação de água no solo (GOMES; FILIZOLA, 2006). Dentre eles, a estrutura é considerada como sendo o mais sensível, face ao manejo aplicado, seja naqueles em que há intenso revolvimento (convencional) ou naqueles cujo objetivo é proteger o solo do impacto de processos erosivos por meio da conservação de resíduos ou palhadas sobre o solo (conservacionista).

A matéria orgânica, nesses agroecossistemas, embora considerada por alguns autores como indicador biológico, se sobressai diante dos demais parâmetros medidores químicos de qualidade do solo e pode ser facilmente alterada em função do sistema de manejo aplicado. Oliveira Júnior *et al.* (2008) verificaram que o manejo orgânico de cafeeiro se destacou pela manutenção de todos os atributos químicos da matéria orgânica em condições similares à mata nativa, contribuindo para uma maior sustentabilidade das áreas de produção.

Em relação aos aspectos biológicos, a microbiota do solo é considerada uma forte representante na mensuração da qualidade do solo, uma vez que são sensíveis às condições impostas sobre esse recurso, principalmente na presença de matéria orgânica. De acordo com Araújo e Monteiro (2007), os microrganismos possuem a capacidade de dar respostas rápidas a mudanças na qualidade do solo, característica que não é observada nos indicadores químicos ou físicos. Em alguns casos, alterações na população e na atividade microbiana podem preceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo um claro sinal na melhoria ou na degradação do solo.

2.6 Indicadores físicos de qualidade do solo

Os atributos físicos, geralmente se destacam por manterem relação com os aspectos de degradação, uso e manejo do solo, sendo estes essenciais no estímulo à busca por um sistema agrícola mais sustentável (ANDRADE; STONE, 2008).

Em termos agronômicos, os sistemas de uso e manejo devem manter a capacidade do solo em exercer as funções físicas para o crescimento e sustentação das raízes, bem como de favorecer o fornecimento de água, nutrientes e oxigênio às plantas, ressaltam Blainski *et al.* (2008). Eles comentam ainda que a perda de solo por erosão, a redução da matéria orgânica e a compactação são alguns dos fatores que contribuem na degradação física do solo, com consequente perda de uma ou mais destas funções.

Diante disso, condições físicas favoráveis são necessárias para que as plantas expressem o seu máximo potencial produtivo, enfatizam Collares *et al.* (2006) e Kaiser *et al.* (2009). Essas condições determinam os fluxos de água, calor e gases no solo. A umidade do solo, por sua vez, controla a aeração, a temperatura e a resistência mecânica à penetração das raízes no solo, as quais são afetadas pela densidade e distribuição do tamanho de poros. A interação entre esses fatores físicos produz um efeito de regulação no crescimento e funcionalidade das raízes, refletindo consequentemente na produtividade dos cultivos (COLLARES *et al.*, 2006).

Segundo Reichert, Reinert e Braida (2003), um solo expressa qualidade física quando: permite a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas; 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.

Entre as propriedades que influenciam nestes parâmetros, algumas podem ser citadas, tais como: estrutura, densidade, porosidade, infiltração, condutividade hidráulica e resistência do solo à penetração. Todas elas mantêm uma correlação entre si, na qual a relação mantida pode ser direta ou inversamente proporcional.

A estrutura é considerada por Mendes, Melloni e Melloni (2006) como um dos atributos mais importantes para se avaliar a qualidade do solo, pois atua de modo complementar no estudo de avaliação do arranjo entre sólidos e vazios. Assim, as avaliações podem ser determinadas de forma indireta (quantidade de agregados estáveis em água ou à seco, ou pela capacidade dos agregados resistirem ao impacto das gotas de chuva simulada), ou direta pelos atributos densidade do solo, porosidade, índices de flocculação e infiltração de água no solo.

Enfim, são muitos os indicadores de qualidade física do solo. Diante disso, é necessário que se faça a seleção daqueles que melhor representam sua qualidade física. Partindo desse pressuposto, Doran e Parkin (1994) estabeleceram os seguintes critérios de seleção: envolver processos ocorrentes no ecossistema; integrar propriedades e processos físicos, químicos e biológicos; ser acessível e aplicável no campo; ser sensível a variações de manejo e de clima; e ser componente de banco de dados de solos, sempre que possível. Tais critérios facilitaram a escolha dos que melhor representam qualitativamente um solo frente às alterações provocadas pelo manejo.

2.6.1 Infiltração de água no solo

A infiltração da água no solo é definida como sendo um processo dinâmico de penetração vertical da água através da superfície do solo (PAIXÃO *et al.*, 2004). De acordo com esses autores, é primordial o conhecimento referente à taxa de infiltração da água no solo, uma vez que pode ser usado para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo.

Das propriedades do solo, a capacidade de infiltração é uma das principais, pois reflete a capacidade máxima que o solo tem em permitir a entrada de água no seu interior, sob determinadas condições, tornando-se um dos parâmetros mais importantes que afetam a irrigação (COSTA *et al.*, 1999). Alves e Cabeda (1999) afirmam que o conhecimento do processo de infiltração e de suas relações com as propriedades do solo é de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água. Portanto, sistemas de manejo do solo que visem a proteção da sua superfície e o aumento da infiltração de água devem ser otimizados. Assim, essa propriedade necessita de estudos com relação à sua quantificação, a fim de proporcionar melhor compreensão sobre seu papel nesses agroecossistemas.

A infiltração de água no solo deve ser quantificada por meio de métodos simples que possibilitem a representação adequada das condições naturais em que se encontra o solo, uma vez que essa variável pode sofrer influência, direta e indiretamente, de uma série de fatores: conteúdo inicial de água, condições da superfície do solo, condutividade hidráulica do solo saturado, distribuição de tamanho e volume de poros, presença de horizontes

estratificados, distância entre suprimento e umedecimento, textura e tipo de argila (PAIXÃO *et al.*, 2004).

Assim, vários métodos são propostos para a quantificação da infiltração. Destes são citados: o método do infiltrômetro do Anel e o permeâmetro de Gelf (ou Permeâmetro de Carga Constante), para medição indireta da infiltração, conforme foi utilizado por Scherpinski *et al.* (2010). Outro aparelho muito utilizado é o infiltrômetro de tensão que, de acordo com Ankeny, Kaspar e Horton (1990), tem a capacidade determinar o fluxo de água através dos macroporos. Além desses, podem ser utilizados métodos empíricos de determinação, os quais possibilitam que seus resultados sejam comparados com aqueles obtidos em campo pelo infiltrômetro do anel, como fez Paixão *et al.* (2004).

Um solo alterado estruturalmente pode ter a taxa de infiltração afetada. Para um solo em condições de compactação, a infiltração da água da chuva é reduzida e, assim, há um aumento do escoamento superficial, intensificado pela maior declividade do terreno e a presença reduzida de matéria vegetal na superfície do solo (MIGUEL; VIEIRA; GREGO, 2009).

As propriedades de transmissão de água no solo pelos macroporos podem exercer considerável influência na infiltração além de influenciar na drenagem e nas perdas de água por escoamento. Isso tem um efeito significativo sobre o desenvolvimento das culturas e a qualidade ambiental (ABREU; REICHERT; REINERT, 2004). Nesse contexto, um solo compactado apresenta uma considerável redução na quantidade de macroporos, o que pode reduzir a infiltração da água no solo, afetando significativamente a sua qualidade.

A redução na infiltração da água no solo induz ao escoamento superficial, cujo movimento proporciona o carreamento de partículas de sedimento e intensifica o processo de erosão hídrica, reduzindo a qualidade desse recurso. Nesse sentido, é preciso lançar mão de técnicas que reduzam os efeitos deste processo. A cobertura por resíduos culturais e a rugosidade superficial induzida por métodos de preparo constituem as condições físicas de superfície do solo mais importantes do ponto de vista de redução da erosão hídrica (CASTRO; COGO; VOLK, 2006), uma vez que melhora a qualidade estrutural e a taxa de infiltração da água no solo.

Nesse contexto, a qualidade do solo somente será reestabelecida quando houver utilização de medidas que possam melhorar a taxa de infiltração da água, aprofundar os conhecimentos sobre as condições estruturais edáficas, bem como atentar para os fenômenos que influenciam na dinâmica hídrica.

2.6.2 Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica, assim como a infiltração, é um dos parâmetros de qualidade física do solo que está relacionado com a dinâmica da água. É definida como a facilidade com que a água flui através de um solo (PAZZETTO, 2009). Dessa forma, o movimento hídrico só ocorre devido à permissibilidade do solo em deixar a água atravessar o seu espaço poroso.

É considerada por alguns autores, dentre eles Mesquita e Moraes (2004), como uma das propriedades de maior relevância para estudos de movimento de água e solutos no solo, inclusive exerce influência na elaboração de projetos de irrigação e drenagem, quantificação da erosão e lixiviação de substâncias químicas (fertilizantes). Além disso, é um dos atributos físicos mais importantes para indicar a qualidade estrutural de um solo (MARTINS *et al.*, 2002).

A literatura, segundo Mesquita e Moraes (2004), evidencia várias propriedades das quais a condutividade hidráulica depende: a densidade do solo, a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade e outras. Além desses, a textura também influencia nessa propriedade havendo, portanto, uma correlação entre a classe textural e a condutividade hidráulica (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2006).

A macroporosidade é a propriedade que mais interage com a condutividade hidráulica. Ambas dependem da estrutura do solo, portanto, é de se esperar que haja uma correlação entre elas (MESQUITA; MORAES, 2004). Tal propriedade quando modificada (ANDRADE; STONE, 2009a) interfere significativamente no comportamento da permeabilidade do solo.

O conhecimento da condutividade hidráulica em nível experimental esbarra na morosidade, no custo elevado e na alta variabilidade de seus valores, no espaço e no tempo. Em função desses problemas, é comum o uso de formas alternativas baseadas em modelos numéricos que calculam esta condutividade de modo rápido e a um custo bem menor (ANDRADE; STONE, 2009b).

A permeabilidade ou condutividade hidráulica é determinada em solos saturados e não saturados, sendo medidas em campo ou laboratório. Ribeiro *et al.* (2007b) enfatizam que algumas equações empíricas são usadas no intuito de reduzir o tempo e o custo das análises laboratoriais, especialmente para aplicação rápida e precisa desses valores em projetos

agrícolas. No entanto, esses autores ressaltam que a grande variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado dificulta o uso de equações empíricas na estimativa da porosidade drenável, sendo a medida direta no campo ou em laboratório uma das alternativas de determinação desta variável.

Lacerda *et al.* (2005) comentam que a condutividade hidráulica sob condições de não saturação é essencial na solução de problemas relacionados ao manejo de irrigação, visto que, a maior parte dos processos que envolvem o movimento de água em condições de campo, ocorre quando o solo se encontra não saturado.

Apesar dos questionamentos sobre qual método deve-se utilizar ainda se usa tanto os métodos diretos como os indiretos. Os métodos indiretos expressam uma relação entre condutividade hidráulica e as propriedades do solo (distribuição do tamanho dos poros, textura, porosidade drenável e densidade do solo). Nos métodos diretos, a condutividade hidráulica do solo pode ser determinada em condições de laboratório e de campo (MARQUES *et al.*, 2008).

Os métodos de laboratório apresentam vantagens na facilidade de execução e na rapidez, no entanto são desvantajosos por promoverem alterações na estrutura (métodos destrutivos). Marques *et al.* (2008) testaram dois métodos utilizados em laboratório na determinação da condutividade hidráulica, sendo um deles o Permeâmetro de Carga Constante (PCC) e o outro o Permeâmetro de Carga Decrescente (PCD), com o intuito de verificar sua aplicabilidade e variabilidade em solos amazônicos. Segundo os autores o PCC foi mais apropriado para a classe de solo estudado (Latosolos).

Já os métodos de campo são mais representativos, porém os mesmos esbarram na grande variabilidade espacial do solo, relatada por Grego e Vieira (2005), com reflexos nas características físico-hídricas deste. Angelotti Netto e Fernandes (2005), afirmam que a condutividade hidráulica é variável tanto em solos diferentes como no mesmo solo e que depende, portanto, das propriedades do meio e do fluido.

Assim como na infiltração, o infiltrômetro de tensão tem sido usado para medir a condutividade hidráulica no solo. Segundo Ankeny, Kaspar e Horton (1990), o infiltrômetro de tensão tem sido útil na avaliação do efeito de diferentes práticas de manejo agrícola por meio de parâmetros que ocasionam alterações na estrutura porosa do solo, bem como nas propriedades hidráulicas.

Baseado no pressuposto da grande variabilidade apresentada pela condutividade hidráulica frente às alterações de manejo e às características intrínsecas ao solo, o

conhecimento do comportamento dos atributos físico-hídricos deste torna-se uma premissa básica quando se pretende estabelecer práticas de manejo adequadas de solo e de culturas, pois a não observância desses conceitos ocasionará erros na amostragem e manejo do solo (CAMPOS *et al.*, 2007), afetando a sua qualidade.

2.6.3 Índice S

O uso dos indicadores de qualidade do solo para avaliação da sustentabilidade ambiental é de grande relevância (SÁ *et al.*, 2010). Recentemente, Dexter (2004a) estabeleceu um indicador para a avaliação da qualidade física dos solos, o índice S. Ele é definido como sendo a inclinação da reta tangente ao ponto de inflexão da curva característica de água no solo. Apesar de haver controvérsias, Dexter (2004b) reporta que o índice S pode ser utilizado no cálculo da condutividade hidráulica do solo não saturado pelo fato de ambos manterem uma correlação significativa.

Este índice vem sendo aceito como parâmetro indicador da qualidade estrutural de solos, pois representa a distribuição do tamanho de poros de maior frequência, possibilitando a comparação direta dos efeitos de diferentes práticas de manejo aplicadas sobre o solo (SILVA *et al.*, 2012).

Dexter (2004a) determinou que o crescimento favorável da raiz não ocorre para valores de S inferiores a 0,020 e que apenas uma pequena quantidade de raízes vai crescer se S for maior que 0,020 e menor que 0,035. O crescimento radicular normalmente exige valores de S superiores a 0,035. Já Andrade e Stone (2009b) fizeram a correlação entre índice S, porosidade e densidade em solos do Cerrado e verificaram que valores de 0,045 são considerados ideais na distinção entre solos com boa qualidade estrutural e solos com tendência à degradação. Em contrapartida, solos com índice abaixo de 0,025 representam aqueles degradados fisicamente.

Os fatores relacionados com o solo (textura e estrutura) e com manejo (matéria orgânica do solo, compactação e preparo) influenciam na distribuição do tamanho de poros e refletem mudanças nos valores de S, e, portanto, na qualidade física do solo. Nesse sentido, o índice S apresenta o caráter de sensibilidade para indicar a qualidade física de um solo (SÁ *et al.*, 2010).

Li *et al.* (2011) referem-se ao fato de que avaliar fisicamente a qualidade do solo requer muito tempo e, portanto, o uso de um parâmetro global para essa função facilitaria a

avaliação. O índice S, segundo eles, se enquadraria nessa proposta, a qual precisaria de um estudo mais aprofundado sobre o assunto, principalmente quando se leva em consideração solos com diferentes tipos de manejo.

Diante do que foi explanado, o índice S pode ser caracterizado como uma técnica facilitadora em diagnosticar a qualidade estrutural do solo (SILVA *et al.*, 2012), uma vez que mantém relação com características importantes desse recurso (MAIA, 2011). Portanto, é imprescindível o melhor entendimento das respostas desse indicador face às práticas de manejo que visem melhorar as características físicas do solo, principalmente tomando como referência os solos de vegetação nativa.

2.6.4 Permeabilidade do solo ao ar

O fluxo de ar no solo detém um importante papel no processo de desenvolvimento radicular das plantas. Esse fluxo somente ocorre quando o solo apresenta uma boa permeabilidade ao ar, a qual é definida como a capacidade de transmissão da fração gasosa por meio de poros interconectados em função de um gradiente de pressão (MOREIRA *et al.*, 2011).

A permeabilidade ao ar é um dos parâmetros bastante usados na avaliação da qualidade estrutural do solo com ênfase nos estudos sobre disponibilidade de oxigênio para as raízes das plantas. De acordo com Silva *et al.* (2009a), essa propriedade determina o fluxo convectivo de gases na matriz do solo e a troca de gases na interface do sistema solo-atmosfera, influenciando diretamente a qualidade do ambiente físico para o crescimento de plantas e a taxa de ocorrência de processos dependentes da concentração de gases no solo.

Segundo Rodrigues *et al.* (2011), esse atributo é utilizado para avaliar as alterações que ocorrem na estrutura do solo em virtude da adoção de diferentes sistemas de manejo. Além disso, enfatizam a necessidade de se conhecer a quantidade de ar disponível às plantas nas áreas de produção agrícola em que o revolvimento do solo exerce grande impacto sobre a aeração.

A pressão exercida sobre o solo, nessas áreas, aumenta a densidade e reduz a porosidade, afetando a aeração. Em estudos realizados por Lima *et al.* (2005a), foi concluído que a compactação superficial, causada pela exploração agrícola e pelo tráfego de máquinas afetou, distintamente, a forma e a distribuição do espaço poroso. Moreira *et al.* (2012),

complementam afirmando que as alterações estruturais decorrentes do tráfego de máquinas e de animais, bem como dos sistemas de uso e manejo dos solos e culturas, traduzem-se em modificações na macroporosidade do solo, a qual é responsável pelo processo de drenagem de água e fluxo de gases no solo.

Portanto, procurar metodologias que quantifiquem a permeabilidade do solo ao ar é um meio de visualizar até que ponto essa propriedade pode limitar o crescimento e o desenvolvimento das plantas em áreas impactadas pelas atividades agrícolas.

É comum o uso de métodos laboratoriais na determinação da permeabilidade do solo ao ar. Essa propriedade pode ser estimada por um método simplificado baseado em uma modificação da lei de Darcy para fluxo de gases no solo, submetido à pressão decrescente (SILVA *et al.*, 2009a).

O movimento de um gás (CO_2 ou O_2) na matriz porosa acontece por um processo de difusão associado à pressão e temperatura, sendo o seu movimento considerado como o principal mecanismo de aeração do solo (PEREIRA; CRUCIANI, 2001). De acordo com estes autores, o coeficiente de difusão de um gás depende do tipo de gás que está se difundindo, da pressão, da temperatura, do espaço aéreo do solo e, com relação a este, da forma e do nível de interligação dos poros.

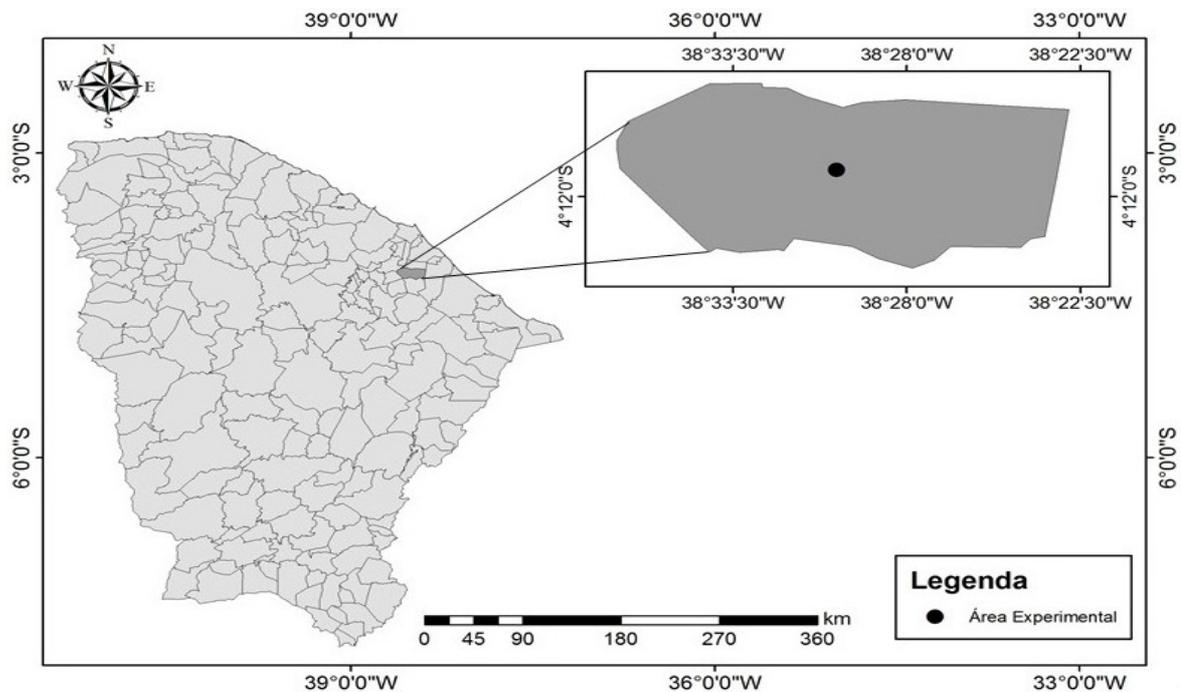
Nesse contexto, é interessante salientar que quanto menos ou nenhum impedimento houver sobre o fluxo dos gases no solo, menores serão as restrições para que haja um bom desenvolvimento radicular. Aliás, não só é fundamental estudar questões sobre fatores de impedimento do fluxo difusivo do ar do solo, como também aliar essa informação à quantidade de ar presente no solo após o mesmo ter sofrido alterações de manejo. Dessa forma, o conhecimento pode auxiliar agricultores e pesquisadores a planejar com eficiência as exigências de manejo para a produção de uma dada cultura (RODRIGUES *et al.*, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

O estudo foi realizado em uma área de cultivo de cajueiro localizada no Campo Experimental de Pacajus (CEP) pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa Agroindústria Tropical (EMBRAPA/CNPAT), município de Pacajus-CE, situado a 50 km de Fortaleza, entre a região litorânea e o semiárido, sendo sua altitude de 60 m acima do nível do mar, cuja localização está representada na figura 1.

Figura 1. Localização da área no Campo Experimental de Pacajus (CEP)



A classificação climática, segundo Köppen (1941), é do tipo Aw'. A precipitação média anual é de 791,4 mm e o regime pluviométrico é caracterizado pela concentração de chuvas no período de janeiro a abril, com temperatura média variando entre 26 e 28°C. A vegetação é composta por Caatinga Arbustiva Densa e Complexo Vegetacional de Zona Litorânea (IPECE, 2006).

O solo da área foi classificado como Argissolo Acinzentado distrófico arênico conforme Ribeiro *et al.* (2007a). A textura deste solo é arenosa e, segundo o IPECE (2006), esta característica não pode ser modificada, porém algumas práticas podem ser empregadas,

como a adubação orgânica, para melhorar as condições físicas superficiais e reduzir os efeitos negativos da condição textural.

3.2 Condução da pesquisa

A pesquisa foi conduzida numa área de pomar de caju anão precoce, variedade 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 se encontravam com 7 a 8 anos de idade.

O resíduo empregado foi obtido do pedúnculo do caju triturado numa usina de extração e beneficiamento de suco em polpa, localizada no município de Pacajus - CE. Após secagem ao sol, o resíduo foi novamente triturado (para desfazer os grumos) e conduzido ao CEP para ser aplicado na área de destino. Determinou-se, por meio de análise, suas características químicas, as quais estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do resíduo do caju

Amostras	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Cu	Fe	Zn	Mn	C/N
	----- g kg ⁻¹ -----								----- mg kg ⁻¹ -----				
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	8,08/1
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	8,55/1
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	8,53/1
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	8,25/1
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	8,88/1
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	8,46/1

Para o ensaio utilizou-se um delineamento em blocos ao acaso (DBC). Os tratamentos consistiram da aplicação de quatro doses do resíduo (16, 32, 48, 64 t ha⁻¹) mais a testemunha, que foram distribuídos em quatro blocos (repetições), totalizando 20 parcelas.

As doses de 16, 32, 48, 64 t ha⁻¹, em base seca, correspondem a aproximadamente 25,8; 51,6; 77,4 e 103,2 t ha⁻¹ do bagaço fresco (quando se leva em consideração cerca de 38% de água presente no resíduo antes do mesmo ter passado por um processo de pré-secagem). Estes valores se baseiam em pesquisas anteriormente desenvolvidas por Oliveira *et*

al. (2008) na Universidade Federal do Ceará, em condição de laboratório e casa de vegetação, os quais revelam doses em torno de 40-45 t ha⁻¹, em base seca, como aquelas que possivelmente favoreceram o máximo desenvolvimento das plantas.

As parcelas foram representadas por quatro plantas, as quais estiveram dispostas em um espaçamento de 8 x 6 m, perfazendo uma área total de 192 m². Cada bloco continha 5 parcelas, consistindo em um total de 20 plantas por bloco. Dessa forma, o número total de plantas no experimento foi de 80 plantas distribuídas em quatro blocos. Porém, de cada tratamento foi escolhida apenas uma planta de forma aleatória dentro da parcela para a coleta do solo.

A aplicação do resíduo foi feita manualmente ao redor de cada planta, numa distância de 1 m (Figura 3) do caule e numa faixa de 1 m de largura sem incorporá-lo ao solo. Para a obtenção de uma granulometria mais uniforme do material, o resíduo foi triturado de forma mecânica (Figura 2).

Figura 2. Resíduo triturado (06/04/2009)



Figura 3. Aplicação do resíduo (07/04/2008)



3.3 Coleta das amostras de solo

A coleta de solo foi realizada nos meses de julho e novembro de 2012, no período seco, necessitando de molhar os pontos antes de 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. A coleta das amostras com estrutura preservada foi efetuada com o auxílio de um amostrador do tipo Uhland, com anéis de aço de 5 cm de altura por 5 cm de

diâmetro, as quais foram acondicionadas para que sua integridade permanecesse intacta no momento do transporte (do campo ao laboratório).

Para fins de caracterização física da área estudada, na tabela 2 são apresentados os resultados da análise granulométrica, classificação textural, e parâmetros físicos do solo avaliados na profundidade de 0 a 10 cm. Já na tabela 3, constam os valores de carbono orgânico total do solo (COT).

Tabela 2. Análise granulométrica, classificação textural e parâmetros físicos do solo

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	Arenosa	
Parâmetros Físicos do Solo										
Prof.	Densidade do solo	Densidade de Partículas	Porosidade Total	Macroporos	Microporos					
cm	-----g cm ⁻³ -----		-----%-----							
0-10	1,50	2,71	44,49	32,72	11,77					

*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).

Tabela 3. Médias de carbono orgânico total (COT) no solo para os cinco tratamentos determinadas 3 anos após a aplicação do resíduo

Tratamentos*	Carbono orgânico total (g kg ⁻¹)
T1	3,8979
T2	5,1525
T3	3,5725
T4	3,9017
T5	3,5629

*T1 = testemunha; T2 = 16 t ha⁻¹; T3 = 32 t ha⁻¹; T4 = 48 t ha⁻¹; e T5 = 64 t ha⁻¹

3.4 Determinações

Algumas análises foram determinadas em campo e outras no Laboratório de Física do Solo e no Laboratório de Manejo do Solo. Ambos pertencentes ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC), situados no Centro de Ciências Agrárias (CCA).

3.4.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), que consiste na dispersão química de 20 g de terra fina seca ao ar (TFSE) utilizando hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹ e depois a dispersão mecânica. O silte e a 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, Densidade de Partículas e Porosidade

A densidade do solo (D_s) foi calculada pela razão entre a massa da amostra de solo seco a 105 °C e o volume do cilindro por ela ocupado (BLAKE; HARTGER, 1986a). Em seguida foi calculada a densidade de partículas (D_p) segundo metodologia de Blake e Hartger (1986b). Ambos os valores foram inseridos no cálculo da porosidade total (α), descrito na equação (1), conforme sugerido pela Embrapa (1997):

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

Para determinar a macroporosidade utilizou-se o funil de Haines, aplicando-se a tensão de 6 kPa (DANIELSON; SUTHERLAND, 1986), a qual retira a água dos macroporos (poros com diâmetro $\geq 50 \mu\text{m}$). Após a água que ocupara os macroporos ser drenada, as amostras foram pesadas e levadas à estufa a 105°C até que atingissem massa constante. Por meio da diferença da massa de água foi possível calcular a percentagem de macroporos. Já a microporosidade foi conhecida pela diferença entre a porosidade total e a macroporosidade.

3.4.3 Infiltração da água no solo (I)

Os testes de infiltração de água foram executados no campo a partir do Método do Infiltrômetro de Tensão, cujo modelo, proposto por Perroux e White (1988), tem a capacidade

de determinar a infiltração da água sob potencial negativo, e, assim, permitir a verificação do movimento da água em solos não saturados (POTT; DE MARIA, 2003) e saturados.

A superfície de medição do infiltrômetro foi aplainada e posteriormente adicionada uma camada uniforme de areia de modo que favorecesse o maior contato do aparelho com o solo. O tubo móvel foi aberto para que a água pudesse se infiltrar no solo e, só então, serem iniciadas as leituras. Nesse caso não foi necessária a aplicação da tensão, pois o solo esteve em condição de saturação.

As leituras foram encerradas quando a infiltração da água no solo apresentou valores constantes ao longo do tempo, com no mínimo três medidas iguais de leituras, considerando-se que neste momento atingiu-se a velocidade de infiltração básica (VIB) ou taxa de infiltração constante, processo descrito conforme Sato et al. (2012). O tempo para obtenção da VIB variou de 5 a 10 min; em cada parcela foi realizada uma leitura para determinação da velocidade de infiltração, totalizando vinte medições. Os valores da VIB encontrados no campo em cm min^{-1} foram transformados em mm h^{-1} .

3.4.4 Condutividade hidráulica em solo saturado (K_0)

No presente estudo a condutividade hidráulica em solo saturado (K_0) foi obtida diretamente pelos valores da VIB em mm h^{-1} , já que o solo encontrava-se numa condição de saturação. Portanto, cada valor da VIB corresponde ao mesmo valor da condutividade hidráulica do solo saturado, cujos dados foram utilizados na análise estatística, para posterior discussão.

3.4.5 Índice S

As amostras com estrutura preservada foram submetidas à saturação pelo mecanismo de capilaridade, por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir 2/3 da altura do cilindro com a amostra. Em seguida, foram aplicadas tensões de 6; 10; 33; 100; e 1500 kPa. As umidades nas tensões de 6 e 10 kPa foram obtidas com o auxílio do funil de Haines e as demais tensões pelo Extrator de Richards (EMBRAPA, 1997).

Os dados do conteúdo de água do solo na classe de solo estudada, ou seja, de textura arenosa, foram ajustados à curva característica de água no solo, pelo modelo de van Genuchten (1980), na equação (2) seguinte:

$$\theta = (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}})[1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_{\text{res}} \quad (2)$$

em que:

θ , θ_{sat} e θ_{res} : são, respectivamente, os conteúdos de água do solo correspondentes à tensão h , à saturação e à umidade residual (em base volume), expressos em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$;

h : é a tensão matricial da água do solo, em cm;

n e m : são parâmetros de ajuste do modelo; e

α : é um parâmetro expresso em cm^{-1} .

Foi utilizado o software Soil Water Retention Curve (SWRC), desenvolvido por Dourado Neto *et al.* (2000), para encontrar a umidade ajustada. As umidades em base volume (θ_{sat} e θ_{res}) da equação 3, tendo seus valores fixos, foram transformadas para umidade em base massa (u_{sat} e u_{res}) e substituídas na equação 3. Com base nos parâmetros obtidos, determinou-se, em função da curva, o índice S, sem a restrição conforme descrito por Dexter (2004a) na equação (3).

$$S = \frac{1}{1-m} (u_{\text{sat}} - u_{\text{res}}) \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{-(1+m)} \quad (3)$$

3.4.6 Permeabilidade do solo ao ar (K_{ar})

Para a determinação desse parâmetro foi tomada como base a metodologia proposta por Kirkham (1946), em que a amostra, equilibrada nas tensões de 6, 10, 33 e 100 kPa foi encaixada no suporte de cilindro de aço; com a válvula fechada, o reservatório foi pressurizado com pressão até 1 kPa. A partir da pressurização do reservatório, esperou-se cerca de 60 s para a estabilização da pressão no seu interior e, em seguida, a válvula foi aberta. Na medida em que o ar fluiu pela amostra, o decréscimo da pressão no reservatório foi registrado no programa computacional (*PermeAR v.1.0*), utilizado por Silveira *et al.* (2011).

Os dados registrados de pressão foram transformados pela função logarítmica, de modo que a relação *pressão versus tempo* foi ajustada por uma função log-linear entre as duas variáveis. A permeabilidade ao ar da amostra foi calculada utilizando a equação (4) a seguir:

$$K_{ar} = \frac{\mu LV}{AP_a} \cdot |S| \quad (4)$$

em que:

K_{ar} : é a permeabilidade do solo ao ar (m^2);

μ : é o coeficiente de viscosidade dinâmica do ar ($18,1 \times 10^{-6} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$);

V : é o volume do reservatório (m^3);

P_a : é a pressão atmosférica ao nível do mar (Pa);

L : é o comprimento da amostra (m);

A : é a área da amostra (m^2); e

S : é o módulo de declividade (ou slope), estimado estatisticamente por regressão linear a partir da relação logarítmica de *pressão versus tempo*.

3.5 Análise estatística

Para análise estatística dos dados, o trabalho contou com o delineamento em blocos ao acaso (DBC) com 5 tratamentos e 4 blocos (repetições). Para testar a normalidade dos dados foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Aplicou-se também a análise de variância e o Teste Tukey a 5% de probabilidade para a comparação das médias. A regressão não foi realizada porque os dados de ANOVA não foram significativos para nenhuma das variáveis.

Para permeabilidade do solo ao ar considerou-se a interação das doses com as tensões aplicadas, sendo considerado um fatorial 5×4 , (cinco doses de adubo anteriormente citadas *versus* quatro tensões – 6, 10, 33, 100 kPa). Diante disso, também realizou-se o teste F, com posterior comparação de médias pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condutividade hidráulica em solo saturado (K_0)

Na tabela 4, encontra-se o resumo da análise de variância para condutividade hidráulica em solo saturado (K_0). Verifica-se que não houve significância para esta variável entre os tratamentos e também entre os blocos a 5% de probabilidade. Isso mostra que possivelmente houve baixa ou nenhuma interação do resíduo orgânico com as partículas do solo, independente da dose aplicada sobre o solo, principalmente por este apresentar textura arenosa em sua superfície.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para condutividade hidráulica em solo saturado (K_0)

FV	GL	F
		Condutividade Hidráulica (K_0)
Blocos	3	3,4280 ^{ns}
Tratamentos	4	2,4068 ^{ns}
Resíduo	12	-
Total	19	-
CV (%)	-	48,33

ns - não significativo

Os solos de textura arenosa geralmente apresentam, em sua constituição, minerais primários como, por exemplo, quartzo e feldspato. Estes detêm uma pequena quantidade de superfície exposta por unidade de massa ou de volume (AMARO FILHO; ASSIS JÚNIOR; MOTA, 2008), o que dificulta a sua interação com os compostos da matéria orgânica.

A quantidade bastante elevada de areia (920, g kg⁻¹) associada ao fato do resíduo não ter sido incorporado e o baixo teor de argila (tabela 2), provavelmente influenciaram para que a interação organomineral fosse muito pequena ou quase inexistente. Sendo assim, a formação de agregados é menos efetiva, não havendo influência na estrutura porosa do solo e, conseqüentemente, na condutividade hidráulica (K_0).

Estes resultados corroboram com os encontrados por Silva, Andrade e Silva (2006) em um Luvisolo Crômico, onde constataram uma granulometria acima de 50% de areia fina e muito fina e baixas quantidades de argila o que, segundo eles, contribuiu para o aumento da desagregação e do transporte de partículas pela erosão hídrica.

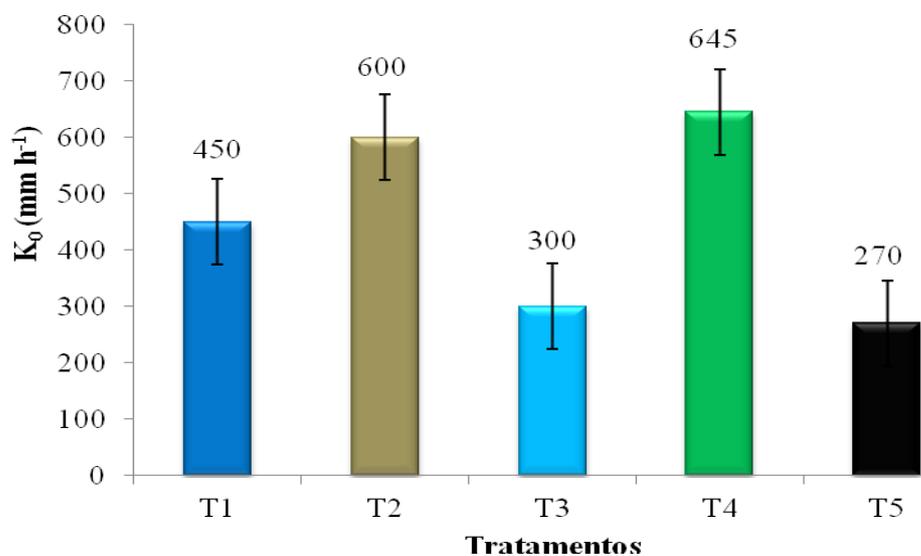
Diferentemente dos resultados encontrados por Corrêa *et al.* (2009), que observaram uma maior agregação das partículas do solo, desde a superfície até 40 cm de profundidade, após terem aplicado lama cal na dose de 8 t ha^{-1} , sendo este resultado atribuído a presença do Ca (agente floculante).

Na figura 4, são apresentadas as médias de condutividade hidráulica em solo saturado (K_0), quando a taxa de infiltração atinge a velocidade de infiltração básica (VIB). De acordo com a classificação Soil Survey Staff (1993) para a condutividade hidráulica em solo saturado, os tratamentos T3 e T5 se enquadram na classe alta ($36 \text{ a } 360 \text{ mm h}^{-1}$) e os demais na classe muito alta ($\geq 360 \text{ mm h}^{-1}$).

Tais valores são elevados em virtude da presença significativa de macroporos ($32,72 \%$), o qual permitiu um maior fluxo de água no solo, comportamento considerado comum, pois o solo era arenoso. Resultados similares foram evidenciados por Stone, Guimarães e Moreira (2002), os quais constataram maior fluxo de água em função da maior quantidade de macroporos, principalmente em solos não compactados.

Os valores de K_0 apresentados na figura 4 são considerados muito bons, pois na condição de sequeiro onde foi instalado o experimento, espera-se que o solo conduza água com a mesma intensidade daquela infiltrada no momento da chuva, diminuindo a probabilidade de escoamento superficial.

Figura 4. Médias de condutividade hidráulica em solo saturado (K_0) em área de adubação com resíduo de caju para T1 = testemunha, T2 = 16 t ha^{-1} , T3 = 32 t ha^{-1} , T4 = 48 t ha^{-1} e T5 = 64 t ha^{-1}



O tratamento de maior dose (T5), apresentou a menor K_0 , a qual chegou a 270 mm h^{-1} , porém não houve diferença estatística significativa quando o mesmo é comparado aos demais tratamentos. Isso comprova que as doses máximas do resíduo não provocaram alterações sobre a estrutura do solo e, conseqüentemente, na K_0 deste solo.

Tal comportamento foi verificado por Uyeda (2009), que ao estudar um Latossolo Vermelho-Escuro proveniente de uma área com um histórico de aplicação de vinhaça de aproximadamente 30 anos, verificou baixos valores de K_0 para doses elevadas, embora em valor não significativo. Corroborando com Barbosa, Tavares Filho e Fonseca (2004), os quais não notaram diferença significativa de K_0 para as maiores doses de lodo de esgoto aplicadas em um Latossolo Vermelho eutroférico.

O fato do material orgânico não ter sido incorporado ao solo pode ter limitado sua interação com as partículas do solo em profundidade. Nesse caso, o material orgânico que ficou sobre a superfície do solo demorou mais tempo a se decompor, permanecendo sobre o solo a fração mais recalcitrante do resíduo orgânico. Em contrapartida, a fração mais lábil possivelmente se decompôs de forma tão rápida que seus efeitos não foram percebidos sobre a melhoria da estrutura do solo e, conseqüentemente, na K_0 .

É provável que a rápida decomposição da fração lábil do resíduo orgânico tenha ocorrido em função da sua baixa relação C/N (8,46/1). A intensificação desse processo possivelmente ocorreu em função das condições de temperaturas elevadas, comumente apresentadas no local. Silva *et al.* (2009b) afirmam que material de baixa relação C/N induz a degradação intensa pelos microrganismos. Essa característica aliada à temperatura e umidade elevadas fornecem condições favoráveis à rapidez deste processo.

É possível que uma parte do material seja constituída pela fração recalcitrante, fato que explica a presença de material parcialmente degradado sobre o solo no momento da coleta. Nesse caso, o resíduo costuma apresentar substâncias como lignina e celulose, que necessitam de um tempo maior para entrar em processo de decomposição. Assim, os microrganismos precisam de elevada quantidade de energia para degradar o carbono considerado mais resistente. Essa resistência foi evidenciada por Oliveira *et al.* (2002), em parte do carbono de baixa relação C/N, quando aplicaram doses de composto de lixo urbano em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar, durante três anos consecutivos.

De acordo com Nicoloso (2005), a recalcitrância ocorre devido às características químicas próprias do substrato, que devido à complexidade de suas moléculas em um estado

mais avançado de decomposição, tornam mais lento ou impedem o processo de degradação do material. A mesma explicação confirma a ideia de que alguns compostos resilientes do resíduo de caju foram determinantes na lenta decomposição deste, bem como, na redução da sua eficiência como tal.

Para situações em que se trabalha com dados quantitativos (nesse caso doses) se recomenda o uso do teste de regressão. Quando a análise de variância apresenta resultados significativamente diferentes, aplica-se o teste de médias e/ou análise de regressão. Dessa forma, já que os valores de K_0 , índice S e permeabilidade ao ar não mostraram diferenças significativas entre tratamentos e entre blocos avaliados na ANOVA (tabelas 4, 6 e 7), a regressão não será necessária.

4.2 Curva característica de água no solo

Na tabela 5 estão descritos os parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten, cujos valores foram utilizados para obtenção das curvas características de água no solo. A figura 5 representa o comportamento destas curvas nas tensões de 6 a 1500 kPa para os respectivos tratamentos, os quais foram avaliados na profundidade de 0-10 cm.

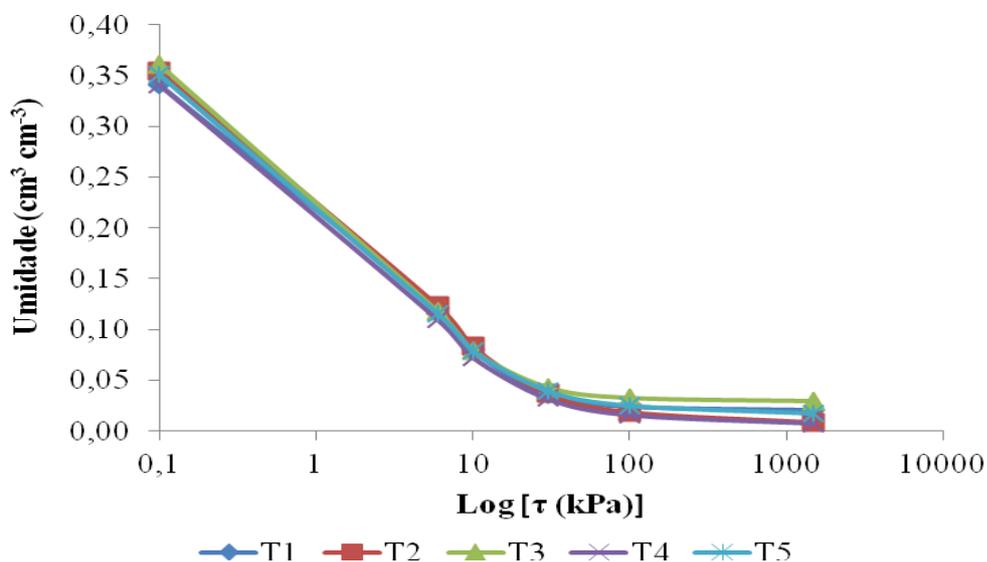
Tabela 5. Parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten para a curva característica de água no solo

Tratamentos*	Parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten				
	θ_{sat}	θ_{res}	α	m	n
	-----cm ³ cm ⁻³ -----		-hPa		
T1	0,341	0,021	0,0339	2,7205	3,3194
T2	0,355	0,007	0,0366	2,2821	3,2385
T3	0,362	0,029	0,0460	0,5862	3,6236
T4	0,341	0,007	0,0615	0,3422	4,1144
T5	0,351	0,016	0,0477	0,6523	3,1039

*T1 = testemunha, T2 = 16 t ha⁻¹, T3 = 32 t ha⁻¹, T4 = 48 t ha⁻¹ e T5 = 64 t ha⁻¹

A tensão de 6 kPa (figura 5) drenou a maior quantidade da água encontrada nos poros de maior diâmetro. Isso significa um problema para os solos arenosos, pois a grande quantidade de água presente nos macroporos é perdida facilmente ou permanece pouco tempo disponível para as plantas. Por outro lado, o pouco de água que resta está retida nos microporos, o que exige das plantas maior gasto de energia para conseguir absorvê-la.

Figura 5. Curva característica de água no solo 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



Para a maioria das tensões aplicadas, todas as curvas demonstraram comportamentos semelhantes para os tratamentos avaliados. Para tais, pode-se afirmar que o resíduo, independentemente do nível da dose aplicada, não provocou alterações significativas na estrutura do solo por meio da agregação. Este processo é importante por aumentar o número de espaços intra-agregados (microporos) e a retenção de água do solo. Essa justificativa refuta a hipótese do trabalho, a qual afirma que a aplicação do material orgânico promove melhoria na qualidade física do solo, sendo esta uma função dos quantitativos.

Observa-se, que o resíduo orgânico, embora em doses elevadas (T4 e T5), não diferiu em relação à menor dose (T2) e à testemunha (T1), o que sugere que o resíduo não influenciou na retenção de água no solo, mesmo quando submetido a tensões elevadas. Provavelmente a dose de 16 t ha⁻¹ (T2) tenha sido baixa, a ponto de não ser suficiente em promover qualquer melhoria no solo, com vistas a aumentar a retenção de água. Já as maiores doses 48 e 64 t ha⁻¹, dos tratamentos T4 e T5, respectivamente, talvez precisassem de um maior período de decomposição que proporcionasse alterações do ponto de vista da retenção de água no solo.

Tais resultados corroboram os observados por Beutler *et al.* (2002), que constataram pouca influência da matéria orgânica sobre a retenção de água no solo cultivado com algodão e cana-de-açúcar e nos tratamento testemunha, onde teores de matéria orgânica

acima de 47 g kg^{-1} , na camada de 0-10 cm, pouco influenciaram na retenção de água. Isto reforça a hipótese de que o resíduo de caju quando aplicado sobre a superfície do solo sem incorporação, embora em quantidades elevadas, não influencia na retenção de água.

Já Costa *et al.* (2006), ao avaliarem o efeito de resíduo sólido de fábrica de celulose, notaram que houve um grande acréscimo na capacidade de retenção de água no solo com o aumento da camada de cobertura com esterco + resíduo de celulose. Segundo eles, a explicação está no fato do resíduo de celulose apresentar degradação extremamente lenta em função de sua composição química e elevada relação carbono/nitrogênio, em torno de 500/1. Diferentemente do que ocorre para o resíduo de caju, cuja relação carbono/nitrogênio foi extremamente baixa (tabela 1), o que provavelmente contribuiu para sua rápida degradação no solo.

Esse comportamento comprova as baixas taxas carbono orgânico encontrados no solo desta pesquisa (tabela 3). Dessa forma, o incremento de carbono no solo foi extremamente baixo, uma vez que não houve incorporação do resíduo, o que proporcionou uma baixa disponibilidade do carbono orgânico para os microrganismos decompositores, dificultando a degradação do resíduo e limitando seus efeitos sobre a retenção de água no solo em superfície.

Abreu Júnior *et al.* (2002) não encontraram efeito da aplicação do composto de lixo sobre o incremento de carbono orgânico em relação à testemunha, sendo esse comportamento explicado pelos autores em função do composto apresentar carbono facilmente degradável quando incorporado. Tal resultado reforça a importância de incorporar o resíduo quando ele não é tão efetivo em superfície, principalmente em solos arenosos.

Situação inversa foi encontrada por Oliveira *et al.* (2002) que afirmaram ter encontrado incremento nas taxas de carbono orgânico no solo. Os autores informam que além de efetuarem aplicações sucessivas de lixo urbano, também incorporaram o resíduo, o que confirma a importância da incorporação com vistas a aumentar o incremento de carbono no solo. Silva *et al.* (2005) enfatizam que os teores de carbono orgânico aliados à distribuição de poros alteram as forças de retenção de água no solo e sua disponibilidade, os quais são fatores determinantes para o desenvolvimento de plantas em sistemas não irrigados.

Em contrapartida, no tratamento T3 (32 t ha^{-1} de resíduo) a retenção de água foi ligeiramente maior, em relação aos demais tratamentos, quando as amostras foram submetidas às maiores tensões. Talvez o próprio resíduo tenha absorvido mais umidade neste tratamento, porém em teores não significativos, refletindo na baixa capacidade do resíduo em reter água.

Diferentemente dos relatos que se tem na literatura, em que a matéria orgânica é conhecida por apresentar elevada capacidade de reter e absorver umidade em sua própria estrutura.

Segundo Kiehl (1985), a matéria orgânica não decomposta apresenta capacidade de retenção de água em torno de 80%. Os materiais humificados, ricos em colóides, podem apresentar de 300 a 400% de capacidade de retenção (COSTA *et al.*, 2006). Para Stevenson (1982), a capacidade de retenção de água do material húmico do solo pode atingir 20 vezes o seu peso seco.

Na presente pesquisa, cujo solo apresenta classe textural arenosa, pode ocorrer retenção de água em valores não significativos, como foi observado no T3, o que pode ser reflexo da porosidade de retenção (microporos), que mesmo em baixas proporções em detrimento dos macroporos (tabela 2), proporcionaram um pequeno aumento no processo de retenção de água no solo. Reichert, Suzuki e Reinert (2007) observaram que a presença da microporosidade é responsável pela retenção de água no solo, bem como o conteúdo de água retido é dependente do número e distribuição dos microporos.

A presença e distribuição de microporos, neste trabalho, são reflexos do percentual de partículas muito finas de areia apresentado na tabela 2, cujo teor chegou a 72 g kg⁻¹, sendo que a influência destas partículas na porosidade de retenção foi relativamente maior no T3. Cássaro *et al.* (2008), encontraram alterações significativas nas curvas de retenção de água (CRs) em tensões de 1 a 12 kPa aplicadas em solos arenosos. Os autores ressaltam que o tamanho das partículas é um fator preponderante nessa alteração, logo quanto menor o tamanho das partículas que constituem as amostras, menores são seus poros e, conseqüentemente, maior é a sucção necessária para se retirar a água retida.

A presença de partículas finas podem se tornar mais acentuado quando o solo se encontra em condições de compactação, cuja condição limita a disponibilidade de água para as plantas que se encontra fortemente retida pelos microporos do solo. Lima *et al.* (2006) também constataram efeito negativo da compactação adicional sobre a porosidade, densidade e condutividade hidráulica de um Argissolo Vermelho distrófico arênico. Normalmente, quando o problema persiste, compromete a quantidade de água disponível para as culturas.

4.3 Índice S

A análise de variância (ANOVA) representada na tabela 6 revela valores estatisticamente não significativos de índice S, para blocos e tratamentos. A partir destes

resultados é possível notar que independente da dose aplicada, o resíduo não foi o responsável por promover melhorias na qualidade física do solo, no que se refere ao índice S.

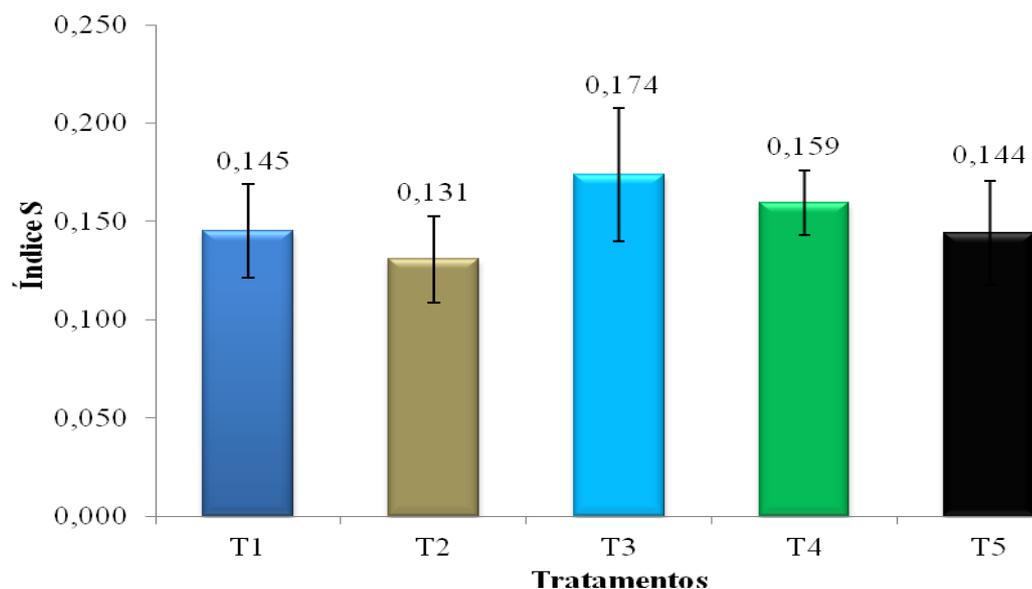
Tabela 6. Resumo da análise de variância para índice S

FV	GL	F
		Índice S
Blocos	3	1,6034 ^{ns}
Tratamentos	4	0,4810 ^{ns}
Resíduo	12	-
Total	19	-
CV (%)	-	31,43

ns - não significativo

Como não houve significância entre as doses de resíduo em relação a esta variável, optou-se por plotar um gráfico, para demonstrar as médias de índice S em função dos tratamentos avaliados. De acordo com a figura 6, os valores de índice S para os tratamentos em estudo variaram entre 0,131 e 0,174, os quais estão muito acima do limite crítico considerado por Dexter (2004a), que é de 0,035. Segundo ele, solos com índice acima deste valor possuem boa qualidade física já que podem oferecer condições ideais para o bom desenvolvimento radicular das plantas.

Figura 6. Médias de Índice S em área de adubação com resíduo de caju para os cinco tratamentos, T1 = testemunha, T2 = 16 t ha⁻¹, T3 = 32 t ha⁻¹, T4 = 48 t ha⁻¹ e T5 = 64 t ha⁻¹



Valores de índice S acima do limite supracitado também foram observados por Silva *et al.* (2012), em um Latossolo Vermelho distrófico sob manejo intensivo, com valores de até 0,172, sendo verificado na camada de 5 cm um índice de 0,131. Dados similares foram encontrados por Sá *et al.* (2010) que verificaram valores de S na camada superficial de 0,144 para um Latossolo Vermelho amarelo. Os solos apresentavam classificação textural muito argilosa e média, respectivamente.

Porém, valores muito altos podem ser constatados também em solos arenosos, sendo esta afirmativa comprovada por Andrade e Stone (2009b), que verificaram valores de índice S próximos de 0,12 para solos de textura arenosa e afirmaram que o índice manteve correlação positiva com a porosidade do solo, mostrando tratar-se de um indicador adequado da qualidade física de solos de cerrado.

As análises realizadas em laboratório indicaram que o solo apresenta uma porosidade de 44,49% (tabela 2), sendo 32,72% composta por macroporos, o que do ponto de vista da qualidade estrutural do solo é muito bom, pois não oferece impedimento para o crescimento radicular das plantas de cajueiro. Amaro Filho, Assis Júnior e Mota (2008), ressaltam que é comum encontrar nos horizontes superficiais dos solos arenosos porosidade entre 35 a 50%, sendo os macroporos os maiores representantes deste percentual. Estes poros são responsáveis pela aeração do solo (REICHERT, SUZUKI; REINERT, 2007) e, por isso, contribuem no desenvolvimento do sistema radicular das plantas, favorecendo a respiração de suas raízes.

Já a densidade do solo mantém uma correlação inversa com a porosidade total e, portanto, é inversamente proporcional ao índice S (ANDRADE; STONE, 2009b). Em solos arenosos, a densidade costuma ser mais elevada em comparação com solos de textura argilosa. No entanto, para esta pesquisa, a densidade, mesmo sendo alta (em média $1,50 \text{ g cm}^{-3}$), não atingiu o nível considerado crítico (BRAZ, 2013), não sendo considerada impeditiva ao crescimento das plantas.

Reinert *et al.* (2008) afirmam que o crescimento normal das plantas de cobertura ocorre até o limite de densidade de $1,75 \text{ g cm}^{-3}$ (ou $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$). Entre a faixa de $1,75$ e $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$, ocorre restrição com deformações na morfologia das raízes em grau médio e, acima de $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$, essas deformações são significativas, com grande engrossamento, desvios no crescimento vertical e concentração na camada mais superficial.

Porém, de acordo com Kiehl (1979) a densidade anteriormente citada para o presente trabalho está acima do limite proposto por ele, para solos arenosos, que é de $1,40 \text{ g}$

cm⁻³. Já segundo o USDA (1998) o valor é considerado ideal para o mesmo solo, pois está abaixo do limite que se propôs em suas pesquisas (>1,69 g cm⁻³). Essa densidade pode ser explicada pela presença de sedimentos arenosos, essencialmente quartzosos, comumente encontrados nos solos da região, que segundo Lima *et al.* (2005b), pertence a formação do Grupo Barreiras. Portanto, a densidade do solo pode ser correlacionada inversamente com o índice S, revelando que o índice demonstrou ser um bom indicador de qualidade física do solo para esta pesquisa.

Esperava-se que o resíduo de caju fosse proporcionar a redução da densidade pelo processo de granulação iniciado após a decomposição do mesmo. No entanto, o solo em estudo apresentou uma qualidade física bastante expressiva revelada pelo índice S. Tal resultado possivelmente não foi proporcionado pelo resíduo, mas pela condição de macroporosidade inerente ao próprio solo.

Alterações significativas na densidade do solo foram encontradas por Pires *et al.* (2008), quando aplicaram resíduo orgânico de mandioca em um Neossolo Flúvico, sendo esta redução atribuída ao aumento da matéria orgânica pela decomposição do resíduo. Este aumento de MO e redução na densidade refletem melhoria da qualidade estrutural do solo avaliado pelo índice S.

4.4 Permeabilidade do solo ao ar (K_{ar})

Verifica-se na tabela 7, que as doses não mostraram diferença significativa para a permeabilidade do solo ao ar a 5% de probabilidade. Já as tensões diferiram entre si para a mesma variável. Por outro lado, a interação entre dose e tensão mostrou significância para o mesmo teste. Nesse caso, prevalece o resultado da interação sendo interessante avaliar o efeito conjunto dos dois fatores sobre a permeabilidade do solo ao ar.

Tabela 7. Resumo da análise variância para permeabilidade do solo ao ar (K_{ar})

FV	GL	F
		Permeabilidade do solo ao ar (K_{ar})
Dose (D)	4	3,36 ^{ns}
Tensão (T)	3	16,97*
D x T	12	0,09*
CV (%)	-	22,15

ns - não significativo; * - significativo

Na tabela 8, têm-se as médias para permeabilidade do solo ao ar (K_{ar}) na interação entre doses e tensões utilizadas. Para qualquer tensão avaliada observa-se que não houve efeito significativo entre as doses do resíduo com relação à K_{ar} . Já quando se analisa esta variável comparando-a entre as tensões, verifica-se que para o tratamento testemunha (T1), a menor tensão diferiu apenas da maior. Para a maioria dos tratamentos que receberam as doses do resíduo verificou-se que as maiores tensões não diferiram estatisticamente entre si. Esse resultado é esperado, principalmente entre as tensões de 33 e 100 kPa, onde o fluxo de gás tende a se equilibrar.

Tabela 8. Médias de permeabilidade do solo ao ar para a interação Dose x Tensão

Doses**	Permeabilidade do solo ao ar (μm^2)*			
	Tensões (kPa)			
	6	10	33	100
T1	21,05 Ab	26,70 Aab	31,27 Aab	38,11 Aa
T2	26,99 Ab	33,78 Aab	35,89 Aab	39,97 Aa
T3	25,99 Ab	33,21 Ab	37,50 Aab	44,45 Aa
T4	29,73 Aa	37,85 Aa	41,34 Ab	46,50 Ab
T5	22,88 Ab	30,12 Aab	35,30 Aa	39,98 Aa

*Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. **T1 = testemunha, T2 = 16 t ha⁻¹, T3 = 32 t ha⁻¹, T4 = 48 t ha⁻¹ e T5 = 64 t ha⁻¹

Na figura 7 tem-se a representação da permeabilidade do solo ao ar nas diferentes tensões para cada tratamento. Nota-se um comportamento similar para qualquer tensão aplicada, entre os tratamentos que receberam as doses do resíduo. Todos os tratamentos demonstraram uma permeabilidade consideravelmente elevada, tendo em vista que o solo é provido de uma elevada quantidade de macroporos, o que permitiu maior fluxo de gases.

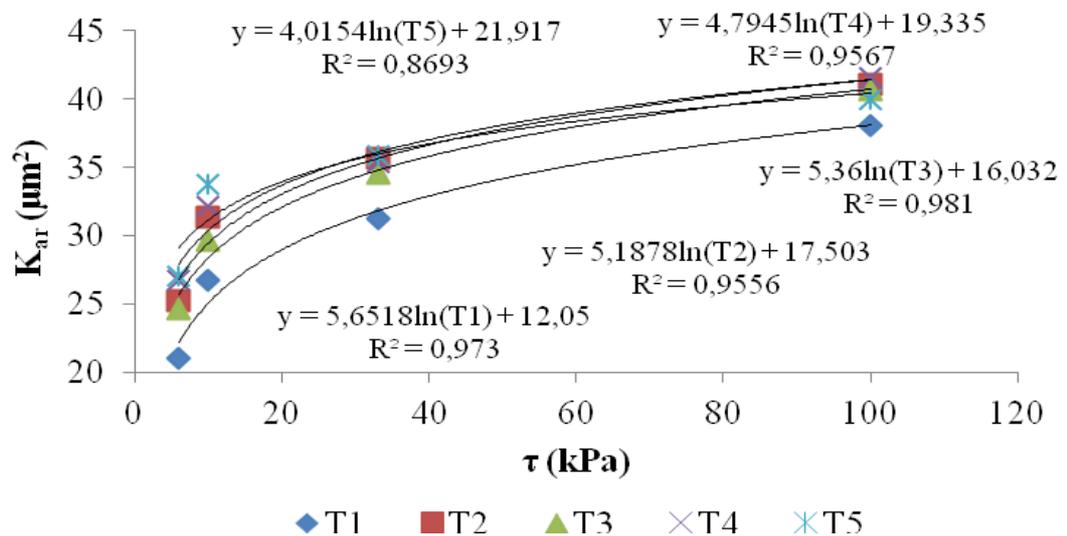
O mesmo foi constatado para a condutividade hidráulica em solo saturado, onde os tratamentos com resíduo não diferiram estatisticamente em relação à testemunha, provando que o resíduo não influenciou na permeabilidade da água, embora tenha ela sido considerada elevada pela Soil Survey Staff (1993). Tal função foi atribuída também aos macroporos que foi maior em detrimento dos microporos (tabela 2), o que é comum para o solo arenoso da pesquisa.

Observa-se que na testemunha (T1) todos os valores de K_{ar} apresentados na figura 7 estiveram muito abaixo daqueles encontrados para os demais tratamentos, apesar de na análise de variância da tabela 8, os tratamentos não demonstrarem diferença significativa

entre si. Mesmo sendo a análise realizada em laboratório, o coeficiente de variação (CV) da K_{ar} para este estudo comprova a alta variabilidade entre os dados (22,15%).

Valor similar (23,12%) foi encontrado por Rodrigues *et al.* (2011) sendo que o maior CV atingiu 82,07%, o que comprova a grande variabilidade apresentada pela variável K_{ar} . O CV para o presente estudo foi elevado possivelmente em função da existência de caminhos de fluxo preferenciais (MCKENZIE; DEXTER, 1996) na amostra de solo durante o processo de determinação em laboratório.

Figura 7. Permeabilidade do solo ao ar em área de adubação com resíduo de caju para os cinco tratamentos, T1 = testemunha, T2 = 16 t ha⁻¹, T3 = 32 t ha⁻¹, T4 = 48 t ha⁻¹ e T5 = 64 t ha⁻¹



A presença de elevado volume de macroporos foi o grande responsável pelo fluxo de ar considerado elevado neste estudo. Este comportamento corrobora a afirmação de Effgen (2006) ressaltando que o fluxo de gases bem como o movimento de água no solo está intimamente relacionado ao seu volume de macroporos, ou seja, a garantia da oxigenação radicular, a capacidade de infiltração e a redistribuição de água no perfil dependem desse atributo.

Segundo Santos (2008) a permeabilidade do solo ao ar não depende somente do volume de macroporos, mas da conectividade entre eles. Esse autor explica que o sistema de manejo ao mesmo tempo em que produz um aumento na macroporosidade do solo, pode

produzir uma diminuição da conectividade entre os macroporos e poros pré-existentes na matriz do solo. Nesses casos faz-se necessário avaliar a conectividade entre os macroporos.

Rodrigues (2009) reforça afirmando que o tamanho dos poros e a conectividade entre eles determinam se o solo possui alta ou baixa permeabilidade. Esta ressalva está de acordo com o percentual de poros de maior tamanho encontrado neste trabalho, o qual chegou a 32,72% de macroporos (tabela 2), o que provavelmente contribuiu para o maior fluxo de gás, não sendo restritivo ao crescimento e desenvolvimento radicular das plantas de caju. Essa restrição ocorre quando o percentual de aeração é de até 10% (GRABLE; SIEMER, 1968; ZOU *et al.*, 2000; LEÃO *et al.*, 2004) quando se considera o intervalo hídrico menos limitante (IHML). Entretanto, de acordo com Silva *et al.* (2009a), este índice é estático e a aeração do solo é um processo dinâmico codependente de outras características do solo e do ambiente, como por exemplo o conteúdo de água no solo e a densidade.

Observa-se ainda na figura 7 que nas tensões mais baixas o conteúdo de água presente nas amostras foi maior, sendo o fluxo de gás menor. À medida que as tensões foram aumentando para retirar a água presente nas amostras após a saturação, o fluxo de gás aumentou, tendendo ao equilíbrio na tensão de 100 (kPa).

Do ponto de vista prático, isso é normal, pois quando um solo está saturado todos os poros estão ocupados por água, não permitindo o fluxo de ar. Esse fluxo vai acontecer no momento em que a água passa a ser drenada do solo, tomando proporções crescentes com o aumento da drenagem. Dessa forma, o fluxo de gás é inversamente relacionado ao conteúdo de água no solo (SILVA *et al.*, 2009a).

Embora a densidade do solo também contribua para alterar a permeabilidade do solo ao ar, entende-se que para este caso, por ela não atingir níveis críticos (BRAZ, 2013), provavelmente não afetou significativamente o fluxo de gases nos tratamentos avaliados. Esta justificativa pode ser reforçada quando se analisa os valores de K_{ar} na figura 7, os quais estiveram todos acima de $1\mu\text{m}^2$, limite crítico empiricamente estabelecido por Ball, O'Sullivan e Hunter (1988) e McQueen e Shepherd (2002). Segundo estes autores, tal limite é um indicativo de solos impermeáveis aos gases, em cujas condições físicas do solo as plantas tem seu crescimento restringido.

Diante desses resultados, presume-se que as plantas de cajueiro implantadas no local possivelmente não sofreram nenhum impedimento restritivo ao seu desenvolvimento, do ponto de vista da porosidade de aeração, já que a macroporosidade foi o maior contribuinte na

aeração natural do solo, sendo esta fundamental para a respiração do sistema radicular dessas plantas.

5 CONCLUSÕES

5.1- A aplicação de resíduo de caju não causa alteração na estrutura de solos de classe textural arenosa, com predomínio da fração areia média ou maior;

5.2- Assim, também não promove nenhuma alteração em atributos físicos do solo dependentes da geometria porosa do solo;

5.3- Em consequência, o resíduo de caju não deve ser utilizado como condicionador da qualidade física do solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 519-531, 2004.
- ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F.C. Carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre em solos tratados com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 769-780, 2002.
- AGUIAR, T. J. A.; MONTEIRO, M. S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do cerrado piauiense. **Ambiente e sociedade**, São Paulo, v. 8, p. 1-19, 2005.
- 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**, Viçosa, v. 23, p. 753-761, 1999.
- AMADO, T. J. C.; SANTI, A.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. II - Influência na decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1085-1096, 2003.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Física do solo: conceitos e aplicações. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008. 290 p.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 382-388, 2009b.
- 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**, Campina Grande, v. 13, p. 376-381, 2009a.
- ANGELOTTI NETTO, A. A.; FERNANDES, E. J. Condutividade hidráulica de um Latossolo Vermelho em pousio e cultivo intensivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 797-802, 2005.
- ANKENY, M. D.; KASPAR, T. C.; HORTON, R. Characterization of tillage and traffic effects on unconfined infiltration measurements. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.837-840, 1990.
- ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, p. 715-721, 2003.
- ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 66-75, 2007.
- BALL, B. C.; O'SULLIVAN, M. F.; HUNTER, R. Gas diffusion, fluid flow and derived pore continuity indices in relation to vehicle traffic and tillage. **Journal of Soil Science**, v. 39, p. 327- 339, 1988.

- BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Condutividade hidráulica saturada e não saturada de latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.403-407, 2004.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58; p. 555-560, 2001.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I. & ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolo sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 829-834, 2002.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, 1986a. pt. 1, p. 363-375. (Agronomy Monography, 9).
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, 1986b. pt. 1, p. 377-382. (Agronomy Monography, 9).
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARAES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 975-983, 2008.
- BRAZ, R. S. **Qualidade do solo medida por indicadores físicos em área com aplicação de resíduo de caju**. 2013. 72p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1269-1276, 2007.
- CAMPOS, M. C. C.; FERRAZ, F. B.; FREITAS, E. W. S.; SOUZA, Z. M. Dependência espacial de atributos físicos e hídricos de um Espodossolo da zona da mata de Pernambuco. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 7, p. 84-91, 2007.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 147-157, 2009.
- CÁSSARO, F. A. M.; PIRES, L. F.; SANTOS, R. A.; GIMÉNEZ, D. & REICHARDT, K. Funil de Haines modificado: curvas de retenção de solos próximos à saturação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2555-2562, 2008.
- CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 339-352, 2006.
- CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1381-1396, 2007.

- COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. K. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 1663-1674, 2006.
- CORRÊA, J. C.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MORAES, M. H. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 203-209, 2002.
- 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**, Rio de Janeiro, v. 26, p. 1-10, 2006.
- COSTA, E. L.; SILVA, A. M. da; COLOMBO, A.; ABREU, A. R. de. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, p. 131-134, 1999.
- 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**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004a.
- DEXTER, A.R. Soil physical quality: part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 227-239, 2004b.
- 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.1-20, 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). *Scientia Agrícola*, v. 57, p. 191-192, 2000.
- EFFGEN, T. A. M. **Atributos do solo em função de tratos culturais em lavouras de cafeeiro conilon no sul do estado do Espírito Santo**. 2006. 91p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, CNPS, 1997. 212p.
- FERREIRA, J. M. L. **Indicadores de qualidade do solo e de sustentabilidade em cafeeiros arborizados**. 2005. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- GRABLE, A.R. & SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials and elongation of corn roots. **Soil Science Society of American Proc.**, v. 32, p. 180-186, 1968.

GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P.; ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of conventional, 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 Hortalças e Frutas**, Grupo Cultivar Artigos Técnicos, 2010.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola. **Embrapa Meio Norte**, Site Projeto Biosfera, São Paulo, 17 mar. 2004.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 169-177, 2005.

GUERRA, A. J. T. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. In: **Anuário do instituto de geociências**, v. 13, p. 43-52, 1990.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. Perfil básico municipal - Pacajus. Fortaleza: IPECE, 2004. 10p.

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

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**, Madison, v. 61, p. 4-10, 1997.

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

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

KIRKHAM, D. Field method for determination of air permeability of soil in its undisturbed state. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 11, p. 93-99, 1946.

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

LACERDA, R. D. de; GUERRA, H. O. C.; BARROS JÚNIOR, G.; CAVALCANTI, M. L. F.; BARROS, A. D. Determinação da condutividade hidráulica de um solo argiloso pelo método do perfil instantâneo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 5, p. 1-7, 2005.

LEÃO, T. T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S. & EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 415-432, 2004.

LI, L.; CHAN, K. Y.; NIU, Y.; OATES, A.; DEXTER, A.R.; HUANG, G. Soil physical qualities in an Oxic Paleustalf under different tillage and stubble management practices and application of S theory. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 113, p. 82-88, 2011.

- LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S. & GUBIANI, P. I. Qualidade físico-hídrica e rendimento de soja (*Glycine max* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) de um Argissolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1172-1178, 2006.
- LIMA, H. V.; LIMA C. L. R.; LEÃO, T. P.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; ROMERO, R. E. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 677-684, 2005a.
- 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**, Viçosa, v. 29, p. 33-40, 2005b.
- MAIA, C. E. Índice S para avaliação da qualidade física de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1959-1965, 2011.
- MARQUES, J. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR O. F.; MARTINS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no baixo amazonas. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, p. 193-206, 2008.
- MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, Lavras, v. 8, p. 32-41, 2002.
- MCKENZIE, B. M. & DEXTER, A. R. Methods for studying the permeability of individual soil aggregates. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 65, p. 23-28, 1996.
- McQUEEN, D. J. & SHEPHERD, T. G. Physical changes and compaction sensitivity of a fine-textured, poorly drained soil (Typic Endoaquept) under varying durations of cropping, anawatu Region, New Zealand. **Soil and Tillage Research**, v. 25, p. 217-230, 2002.
- MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2461-2470, 2008.
- MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá-MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, p. 211-220, 2006.
- MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 963-969, 2004.
- MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 1513-1519, 2009.
- MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 30-37, 2006.
- MOREIRA, W. H.; JUNIOR, E. B.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; YAGI, R. **Comparação de duas metodologias para determinação da permeabilidade do solo ao ar.**

VII Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar (Anais Eletrônico), CESUMAR, Maringá, 2011.

MOREIRA, W. H.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; COSTA, M. A. T.; FRANCO, H. H. S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 389-400, 2012.

MURAISHI, C. T.; LEAL, A. F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L. R.; GOMES JUNIOR, F. G. Manejo de espécies vegetais de cobertura do solo e produtividade do milho e da soja em semeadura direta. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 27, p. 199-207, 2005.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; PRISCO, J. T. & GHEYI, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão de corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 758-765, 2009.

NICOLOSO, R. S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. 2005. 149p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M.; DE MARIA, I. C. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua avaliação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 34, p. 1271-1282, 2010.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R. & ABREU JUNIOR, C. H. Alterações em atributos químicos de um Latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 529-538, 2002.

OLIVEIRA JÚNIOR, F.; SILVA, C. A.; CURTI, N.; GUILHERME, L. R. G.; RANGEL, O. J. P. Indicadores químicos de qualidade da matéria orgânica de solo da sub-bacia do rio das mortes sob manejos diferenciais de cafeeiro. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, p. 1733-1737, 2008.

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.

PAIXÃO, F. J. R. da; ANDRADE, A. R. S.; AZEVEDO, C. A. V. de; SILVA, J. M.; COSTA, T. L.; FEITOSA, R. M. Estimativa da infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 5, p. 1-12, 2004.

PAZZETTO, M. B. **Estudo da permeabilidade de solos argilosos disponíveis para recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão no sul de Santa Catarina**. 2009. 98p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

- PEREIRA, A. A. A.; CRUCIANI, D. E. Estimativa de variações no coeficiente relativo de difusão dos gases no solo com base na análise da curva de retenção de água. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, p. 245-249, 2001.
- PERROUX, K.M. & WHITE, I. Designs for disc permeameters. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1205-1215, 1988.
- PIGNATARO NETO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1441-1448, 2009.
- PIRES, A. A.; MONNERAT, H. P.; MARCIANO, C. R.; PINHO, L. G. R.; ZAMPIROLI, P. D.; ROSA, R. C.; MUNIZ, R. A. Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro amarelo nas características químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1997-2005, 2008.
- POTT, C. A.; DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 19-27, 2003.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 27. p. 29-48, 2003.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S. & REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação In: CERRETA, C. A.; SILVA, L. S. & REICHERT, J. M. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.
- REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1805-1816, 2008.
- RIBEIRO, K. A.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; XAVIER, F. A. S.; 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**, Viçosa, v.31, p. 341-351, 2007a.
- RIBEIRO, K. D.; NASCIMENTO, J. M. S.; GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; MENEZES, S. M. Relações matemáticas entre porosidade drenável e condutividade hidráulica do solo saturado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 600-606, 2007b.
- RODRIGUES, S. Permeabilidade ao ar em Latossolo Vermelho sob plantio direto e preparo convencional. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009. 66p. (Dissertação de Mestrado)
- RODRIGUES, S.; SILVA, A. P. S.; GIAROLA, N. F. B.; ROSA, J. A. Permeabilidade ao ar em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 105-114, 2011.

SAMPAIO, E. O solo e suas funções. Departamento de geociências – Universidade de Évora. Disponível em: <<http://home.dgeo.uevora.pt/~ems/files/Anexo%20B-07.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2013.

SANTOS, R. Propriedades de retenção e condução de água em solos, sob condições de campo e em forma de agregados, submetidos aos plantios convencional e direto. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2008. 102p. (Dissertação de Mestrado)

SÁ, P. C. C.; VALE, C. N. C.; MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A. Índice S e área sob curva de retenção de água para avaliar qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, p. 110-114, 2010.

SATO, J. H.; FEIGUEIREDO, C. C.; LEÃO, T. P.; RAMOS, M. L. G.; KATO, E. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, p.189–193, 2012.

SCHERPINSKI, C.; URIBE-OPAZO, M. A.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; JOHANN, J. A. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 32, p. 7-13, 2010.

SILVA, A. P.; LEÃO, T. P.; TORMENA, C. A.; GONÇALVES, A. C. A. Determinação da permeabilidade ao ar em amostras indeformadas de solo pelo método da pressão decrescente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1535-1545, 2009a.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, E. A.; OLIVEIRA, L. M. Índice s no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 338-345, 2012.

SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. G. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 147-156, 2011.

SILVA, J. C. A.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F. Avaliação da infiltração da água no solo como indicador de modificações edáficas em três sistemas de manejo. **Agropecuária Técnica**, João Pessoa, v. 27, p. 85-91, 2006.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 544-552, 2005.

SILVA, W. M.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; FERRI, M.; MAGALHÃES, W. A. Atividade microbiana e decomposição de diferentes resíduos orgânicos em um solo sob condições de campo e estresse hídrico simulado. **Agrarian**, Dourados, v. 2, p. 33-46, 2009b.

SILVEIRA, L. R.; BRITO, A. S.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O.; LIBARDI, P. L. sistema de aquisição de dados para equipamento de medida da permeabilidade intrínseca do solo ao ar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 429-436, 2011.

SOARES I.; QUEIROZ, J. A.; OLIVEIRA, V. H.; CRISÓSTOMO, L. A.; OLIVEIRA, T. S. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes na cultura do cajueiro anão precoce. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, p. 173-181, 2008.

SOIL SURVEY STAFF. Soil survey manual. Washington, USDA, 1993. 437 p. (Handbook, 18).

STEVENSON, E. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York, NY: John Wiley & Sons., 1982. 443p.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro – I Efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, p. 207-212, 2002.

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

USDA - Department of Agriculture. **Soil quality test kit guide**. Washington: Soil Quality Institute, 1998. 82p.

UYEDA, C. A. Influência da aplicação de vinhaça na condutividade hidráulica do solo saturado e no escoamento superficial. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009. 66p. (Tese de Doutorado)

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

WINK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Santa Catarina, v. 4, p. 60-71, 2005.

ZOU, C.; SANDS, R.; BUCHAN, G.; HUDSON, I. Least limiting water range: a potential indicator of physical quality of forest soils. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 38, p. 947-958, 2000.