

## Latossolo húmico sob pastagem com diferentes intensidades de usos: atributos químicos e físico-hídricos

Cidney Barbosa Bezerra<sup>1</sup>, Arnaldo Joaquim de Souza Junior<sup>1</sup>, Marcelo Metri Corrêa<sup>1</sup>, José Romualdo de Sousa Lima<sup>1</sup>, Kleber Régis Santoro<sup>1</sup>, Eduardo Soares de Souza<sup>2</sup>, Cássio Lopes de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns, Garanhuns, PE, Brasil. E-mail: cidneybb@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0003-3009-8953); arnaldojoaquimsj@gmail.com (ORCID: 0000-0003-3009-8953); marcelometri@yahoo.com (ORCID: 0000-0003-0929-4634); romualdo\_solo@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0003-2983-4650); krsantoro@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0002-7592-8423); cassio.agronomo@yahoo.com (ORCID: 0000-0001-5152-9236)

<sup>2</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, Brasil. E-mail: eduardosouza@uast.ufrpe.br (ORCID: 0000-0002-5488-5284)

**RESUMO:** O município de Brejão possui condições especiais, com clima mais frio e chuvoso e solos mais profundos e bem estruturado, com ocorrência de latossolos de horizonte com A húmico. Assim o objetivo deste trabalho foi investigar as alterações nos atributos químicos, físicos e hídricos do horizonte superficial A húmico de um Latossolo Amarelo submetido a diferentes formas de uso no Agreste Meridional pernambucano, e investigar a repelência do solo a água. As amostras deformadas e indeformadas foram coletadas em uma área de mata nativa (MN), pasto de 5 anos (PA5) e pasto de 30 anos (PA30), em três camadas 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm e foram avaliados os atributos químicos, físicos e hídricos, e realizado um teste de infiltração com anel simples. Os atributos químicos apresentaram tipicidade de Latossolos Amarelo distróficos, e atributos relacionados com a acidez apresentando resultados significativos principalmente na camada superficial. Já os atributos físicos que mais sofreram alterações com o manejo inadequado foram a densidade do solo e a porosidade. Pelo teste de infiltração fica claro a presença de repelência do solo a água.

**Palavras-chave:** curva de infiltração de água; pastagem; repelência a água; solos argilosos

## Latosol humic under different uses in agreste pernambuco southern: attributes chemical, physical and water

**ABSTRACT:** The municipality of Brejão has special conditions with cooler and rainy weather and deeper soils and well structured, with occurrence horizon latosols with the humic. So the aim of this study was to investigate the changes in chemical, physical and water attributes of the surface horizon of a humic Oxisol subjected to different forms of use in the South Agreste Pernambuco, and investigate the repellency of the soil water. The disturbed and undisturbed samples were collected in a native forest (MN), pasture 5 years (PA5) and grazing 30 (PA30) in three layers 0 to 10 cm, 10 to 20 cm and 20 to 30 cm and evaluated the chemical, physical and water attributes, and realized an infiltration test with simple ring. Chemical attributes presented typicality dystrophic yellow latosols, and attributes related to the acidity showing significant results mainly in the surface layer. Have the physical attributes that most change with inadequate management are the bulk density (Ds) and porosity. For the infiltration test it is clear the presence of soil water repellency.

**Key words:** water infiltration curve; grasslands; water repellency; clay soils

## Introdução

O estado de Pernambuco é dividido geograficamente em três mesorregiões: zona da Mata, Agreste e Sertão. O Agreste caracteriza-se por ser uma região intermediária entre as áreas de clima úmido e seco e está basicamente localizada no Planalto da Borborema com altitudes acima de 600 m e temperatura média anual de 22,3 °C, precipitação anual de 1404 mm (LAMEPE; ITEP, 2010).

Segundo Monteiro et al. (2007), a região do Agreste pernambucano possui uma produção agropecuária bem diversificada com lavouras de milho, feijão e mandioca entre outras, pecuária de leite e corte e a caprino-ovinocultura.

Na microrregião de Garanhuns, cerca de 276 mil hectares são ocupados por pastagens (IBGE, 2006), sendo que o manejo normalmente adotado pelos produtores não inclui a reposição dos nutrientes, quer seja através da adubação orgânica ou da adubação mineral, bem como uma taxa de lotação animal acima da capacidade de suporte. De acordo com Dias-Filho (2011), esse manejo e outros problemas bióticos, como o ataque de pragas, são uma das principais causas de degradação das pastagens, em regiões de clima tropical.

Os municípios de Garanhuns e Brejão localizam-se nas áreas de serras úmidas conhecidas como Brejos de Altitude, que apresentam condições privilegiadas de solo, umidade, temperatura baixa e cobertura vegetal (Araújo et al., 2015). Tal fato confere a essa região grande expressão de solos argilosos, profundos e com horizonte superficial A húmico ou proeminente (Embrapa, 2000).

O cultivo e o manejo constante tendem a reduzir a porosidade e a quantidade de carbono orgânico do solo e, conseqüentemente, aumentar a compactação que influencia diretamente na infiltração de água (Ferreira, 2008; Cunha et al., 2010).

De acordo com Dalbianco (2009), as propriedades físico-hídricas do solo têm sido sensíveis em detectar mudanças ocasionadas pelo uso agrícola do solo, porém fornecem dados para projetos de irrigação, modelagem hidrológica e suscetibilidade a erosão do solo.

De acordo com Santos et al. (2009), as maiores alterações nas características químicas do solo ocorrem sob exploração extensiva das pastagens, com capital e nível tecnológico mínimo. Essa condição é a normalmente encontrada nas pastagens da microrregião de Garanhuns.

Outro fato que merece destaque é a ocorrência de hidrofobicidade que causa interferência nas propriedades físico-hídricas do solo e é caracterizada pela repelência a água. O termo hidrofobicidade é usado para identificar a repelência do solo a água, redução da infiltração ou ainda a dificuldade do solo de absorver água (Hansel et al., 2008; González-Peñalosa et al., 2012; Vogelmann et al., 2012).

Os estudos relacionados às alterações de propriedades físicas, hídricas e químicas do horizonte A húmico em função do uso agrícola ainda são escassos, principalmente no Nordeste do Brasil (Araújo et al., 2015). Neste sentido o objetivo deste

trabalho foi investigar as alterações nos atributos químicos e físico-hídricos de horizonte superficial A húmico de um Latossolo Amarelo, sob pastagem com diferentes tempos de uso, na região do Brejo de Altitude do Agreste Meridional pernambucano, e investigar a repelência do solo.

## Material e Métodos

A área do estudo está situada no Agreste meridional de Pernambuco, especificamente no município de Brejão que se encontra inserido no Alto da Borborema. Entre os solos predominantes (Embrapa, 2000) têm-se os Latossolos Amarelo Distrocoeso com A húmico, principalmente cultivados com pastagem de *Brachiaria decumbens*, sob pecuária extensiva e sem reposição de nutrientes ao solo, e, em raras áreas, sob remanescentes da vegetação nativa.

O perfil de referência localiza-se nas coordenadas S 09°00'28,5" W 36°34'17,3" com uma altitude de 851 metros, sob vegetação primária de floresta subperenifólia, sendo o relevo local plano e relevo regional ondulado. A partir deste ponto, foram selecionadas mais duas áreas, com condições semelhantes de relevo, altitude e solo, diferindo apenas quanto ao tipo de utilização agrícola.

As amostras deformadas e indeformadas foram coletadas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm em cinco minitrincheiras com dimensões de 40 x 50 x 50 cm (P x L x C), cada uma destas constituindo uma repetição. O horizonte superficial foi enquadrado como húmico e encontrava-se submetido a três diferentes formas de uso: mata nativa (MN) de floresta subperenifólia que ocupa posição de topo praticamente plano de elevação (referência para avaliação das condições originais do solo); pastagem (PA5) de capim braquiária, há 5 anos, sendo antes mata secundária com plantas de café esparsas (café sombreado), localizada no mesmo topo de elevação da mata nativa com ondulações leves, em trecho praticamente plano; e pastagem (PA30) de capim braquiária no mesmo topo de elevação da mata nativa, há 30 anos, sendo utilizado anteriormente para o cultivo do café sombreado com cajueiro.

A grade amostral seguiu a seguinte configuração: delimitação de uma parcela representativa, escolhida por observação no campo, dentro de cada sistema de manejo com dimensões de 20m x 20m subdividida numa malha de 2m x 2m, totalizando 100 subparcelas. Destas, foram sorteadas cinco para amostragem aleatória (Figura 2). Cada uma das amostras deformadas foi seca ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

As análises químicas foram realizadas conforme a metodologia da Embrapa (2011). Os atributos químicos avaliados foram: carbono orgânico total (COT), pH em água, pH em KCl, fósforo disponível, cátions trocáveis e acidez potencial (H + Al). Com esses resultados, foram calculados os valores da soma de bases e CTC.

A curva de retenção foi determinada a partir de amostras indeformadas coletadas em anéis com dimensões de 5 cm e

5 cm (diâmetro e altura respectivamente) usando o extrator de Richards e submetendo-as a pressão (0,01; 0,033; 0,05; 0,1; 0,3; 0,5; 1 ou 1,5 MPa), até atingir a drenagem máxima da água contida nos seus poros, correspondentes a tensão aplicada, determinando-se assim, a umidade da amostra (Embrapa, 2011).

As curvas de retenção de água no solo ( $\theta(h)$ ) e de condutividade hidráulica ( $K(\theta)$ ) foram ajustadas segundo o modelo de van Genuchten (1980), com a hipótese de Burdine (1953), pelas Eq. 1 e 2, respectivamente:

$$\left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}\right) = \left[1 + \left(\frac{h}{h_g}\right)^n\right]^{-m} \quad \text{com } m = 1 - \frac{2}{n} \quad (1)$$

$$K(\theta) = K_s \cdot \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}\right)^\eta \quad (2)$$

sendo  $\theta$  a umidade volumétrica [ $L^3 L^{-3}$ ];  $\theta_r$  e  $\theta_s$  as umidades volumétricas residual e saturada [ $L^3 L^{-3}$ ], respectivamente;  $h$  o potencial matricial [L];  $h_g$  [L] um valor de escala de  $h$ ;  $m$  e  $n$  são parâmetros de forma;  $K_s$  a condutividade hidráulica saturada do solo [ $LT^{-1}$ ] e  $\eta$  o parâmetro de forma para a curva de condutividade hidráulica.

A curva de infiltração foi obtida em campo com o auxílio de um infiltrômetro de anel simples de 15 cm de diâmetro. Os ensaios consistiram em anotar o tempo que volumes constantes de água (100 ml) adicionados continuamente no anel, levavam para serem infiltrados, encerrando-se ao atingir fluxo com regime permanente. Durante a realização de cada teste, foram coletadas amostras deformadas para determinação das umidades inicial ( $\theta_0$ ) e final ( $\theta_s$ ).

O  $K_s$  e a sorvidade da água foram estimadas a partir dos parâmetros obtidos da derivada da infiltração acumulada pela derivada da raiz do tempo e relacionados com a raiz( $t$ ), de acordo com a Eq. 3 e 4, conforme metodologia de Angulo-Jaramillo et al. (2000).

$$K_0 = \frac{3}{2 - \beta} \left[ C_2 - \frac{\gamma S_0^2}{rd(\theta_0 - \theta_n)} \right] \quad (3)$$

$$\frac{dI}{d(\sqrt{t})} = C_1 + 2C_2\sqrt{t} \quad (4)$$

As análises físicas foram determinadas conforme a Embrapa (2011) e incluíram: a granulometria (método do densímetro), empregando-se o NaOH 0,1 mol e  $Na_{16}P_{14}O_{43}$  0,1 mol como dispersante químico. A fração areia foi obtido por tamisação, a fração argila por sedimentação segundo lei de Stock e o silte por diferença. A densidade do solo foi obtida através da coleta de amostras indeformadas com anéis volumétricos de PVC com o auxílio do amostrador de uhlund e a densidade das partículas ( $D_p$ ) pelo método do balão volumétrico utilizando o álcool como líquido penetrante.

A porosidade total (PT) foi estimada pela Eq. 5:

$$PT = 1 - \left(\frac{D_s}{D_p}\right) \quad (5)$$

A microcorosidade foi obtida a partir dos dados ajustados da curva de retenção de água. A macroporosidade foi calculada da seguinte forma (Macroporosidade = Porosidade Total – Microporosidade).

Os dados foram submetidos à análise de variância univariada e correlação simples, a comparação das médias foi realizada pelo teste de LSD (5%) e foram realizadas pelo software SAS 9.4.

## Resultados e Discussão

De modo geral, os atributos químicos do solo apresentaram variação significativa entre os usos mata e pastagem (PA5 e PA30) principalmente para as variáveis relacionadas à acidez ativa (pH) e acidez potencial do solo (H+Al) (Tabela 1).

De modo geral, a intensidade no uso do pasto conferiu diferenças significativas ( $\alpha = 5\%$ ), para o pH  $H_2O$  nas camadas 0-10 e 10-20 cm, sendo o solo da mata mais ácido do que o pasto, com exceção da camada de 0-10 cm para MN e PA30. Isto, provavelmente, deve-se à redução dos teores de matéria orgânica do solo (MOS). Acrescenta-se a isso a presença de grupos funcionais da MOS, a exemplo dos carboxílicos e fenólicos, que podem liberar o H para a solução e alterar o

**Tabela 1.** Atributos químicos de um Latossolo húmico sob diferentes manejos, em Brejão – PE.

Cam. (cm)	Uso	pH	pH KCl	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	COT (g kg <sup>-1</sup> )
0-10	MN	4,27 b	3,6 a	3,8 a	0,05 a	0,79 a	0,06 a	0,70 a	8,83 a	0,92 a	9,95 a	29,60 a
	PA5	4,63 a	3,7 a	4,4 a	0,07 a	0,70 a	0,08 a	0,58 a	6,46 b	0,84 a	7,04 b	29,40 a
	PA30	4,41 b	3,7 a	3,1 a	0,12 a	0,70 a	0,04 a	0,47 a	6,13 b	0,88 a	7,00 b	22,85 b
10-20	MN	4,17 b	3,56 b	2,5 ab	0,05 a	0,72 a	0,05 a	0,78 a	7,75 a	0,82 a	8,58 a	26,50 a
	PA5	4,55 a	3,91 a	3,9 a	0,07 a	0,72 a	0,05 a	0,45 b	6,62 b	0,84 a	7,46 b	25,75 a
	PA30	4,43 a	3,76 ab	1,0 b	0,05 a	0,71 a	0,03 a	0,47 b	6,35 b	0,79 a	7,15 b	19,70 b
20-30	MN	4,37 a	4,10 a	2,8 a	0,03 a	0,70 a	0,03 a	0,59 a	6,99 a	0,76 a	7,75 a	19,10 a
	PA5	4,43 a	3,89 a	2,1 a	0,03 a	0,75 a	0,03 a	0,56 a	5,90 b	0,81 a	6,71 b	22,20 a
	PA30	4,52 a	3,90 a	1,9 a	0,03 a	0,72 a	0,03 a	0,46 a	4,95 c	0,78 a	5,73 c	17,25 a

As variáveis foram analisadas e separadas por profundidades. Letras iguais na mesma coluna e para a mesma profundidade não diferem estatisticamente pelo teste de média ( $\alpha = 0,05$ ).

pH do solo. Os valores de pH H<sub>2</sub>O também acompanharam a variação de Al<sup>3+</sup> (Tabela 1), já que esse elemento reduz sua atividade nos solos com aumento do pH (Portugal et al., 2010).

Exceto no sistema PA5, o pH H<sub>2</sub>O aumenta com a profundidade. Campos et al. (2011) relatam aumento do pH em camadas mais profundas (entre 20 e 40 cm) em áreas de cerrado nativo e relacionam a liberação de elétrons pela oxidação no estágio final de mineralização da matéria orgânica. A alta acidez nas áreas de pasto deve-se a baixa utilização da prática de calagem e renovação de gramínea na região. Lourente et al. (2011), avaliando o efeito do uso e manejo sobre os atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférico típico, relataram que a falta de calagem por 15 anos e o cultivo intensivo da pastagem levaram a degradação da mesma (solo exposto), e afetaram negativamente o pH do solo.

O pH KCl apresenta-se menor que os valores obtidos em água (entre 3,50 e 4,10) indicando densidade de carga negativa de sua fração coloidal (caulinita). Foram obtidas diferenças significativas entre MN, PA5 e PA30 apenas para a camada de 0 a 10 cm, estando seus valores relacionados inversamente com a acidez potencial (H + Al) (Tabela 1).

Os teores médios de Al<sup>3+</sup> e de H + Al variaram 0,45 a 0,78 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e 4,95 a 8,83 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, respectivamente, reduzindo com a profundidade. Considerando a mesma camada, foram identificadas diferenças significativas para essas variáveis, com maiores valores na área MN em comparação aos PA5 e PA30. Tais resultados são corroborados por Campos et al. (2011), que associam essa elevação à complexação/adsorção pela MOS dos elementos Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup> livres, resultando em seus acúmulos principalmente nas camadas mais superficiais.

Os cátions trocáveis K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> mostraram-se baixos (menores que 0,12, 0,79 e 0,08 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, respectivamente) e diminuindo gradativamente com a profundidade (Tabela 1). Independente do uso, os sistemas se mostraram pobres e ineficientes em acumular esses cátions básicos trocáveis nas camadas mais superficiais, resultando em ausência de significância. A mesma tendência também foi observada para o P que se encontra variando entre 1,0 e 4,4 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 1).

A pobreza do material de origem, resíduos argilo-arenosa do período terciário correlatos com os sedimentos da Formação Barreiras (Embrapa, 2000), o elevado grau de intemperização do solo estudado (Latossolo) e/ou baixa eficiência da biocilagem em ambientes naturalmente pobres nesses elementos são os principais fatores que resultaram nessa baixa amplitude dos teores desses elementos entre os sistemas de uso.

Portugal et al. (2010) descrevem semelhança entre os teores de cátions trocáveis entre áreas cultivadas com pasto durante 20 anos e mata. Contudo, esses autores relatam que por apresentar baixo aporte vegetal, a pastagem tem menor estoque de nutrientes na biomassa, indicando perda desses nutrientes no sistema de pastagem, comprometendo assim a sustentabilidade da produção. Tais resultados indicam que a calagem e a adubação são práticas indispensáveis para manter

o sistema de pastagem produtivo, repondo os nutrientes perdidos por lixiviação, erosão e/ou pelo pastejo e elevando os nutrientes do solo que se mostra naturalmente pobre.

Contudo, observa-se um ligeiro maior teor de P para o PA5 (camada 0 a 10 cm) com efeito significativo na camada (10 a 20 cm) que pode estar relacionada a incorporação dos resíduos vegetais pela gradagem e sua lenta decomposição e liberação do fósforo lábil devido a sua recente implantação. Os menores conteúdos de P foram observadas em PA30 provavelmente devido ao manejo inadequado, onde a reposição desse elemento não é realizada, ou realizada de forma esporádica (Campos et al., 2011).

Em relação ao carbono orgânico total (COT), verificou-se que seus valores variaram de 19,10 a 29,6 g kg<sup>-1</sup> na MN, de 22,4 a 29,4 g kg<sup>-1</sup> no PA5 e de 17,25 a 22,85 g kg<sup>-1</sup> no PA30. Esses resultados mostram que o tempo de uso da pastagem ocasionou redução do COT, com efeito significativo nas camadas de 0-10 cm e de 10-20 cm (Tabela 1). Esses resultados estão de acordo com Pessoa et al. (2012), que mediram o COT em Latossolo húmico no Agreste pernambucano e encontraram maiores valores de COT na MN e menores em pastagem. Para esses autores, ao se alterar o uso do solo ocorre uma redução da matéria orgânica, cuja intensidade varia conforme as práticas agrícolas adotadas.

A CTC reduz significativamente com o uso agrícola, estando associada as variações no conteúdo de argila e COT alocados nos microagregados. Os maiores valores foram identificados na MN (9,95 a 7,75 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) e os menores no PA30 (7,15 a 5,73 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), independente da profundidade, corroborando com os dados de COT. A contribuição da matéria orgânica para a CTC dos solos é importante, principalmente em ambientes tropicais, cuja mineralogia é tipicamente constituída por argilas com baixa densidade de cargas elétricas de superfície (caulinita).

Em relação aos atributos físicos, foram observadas diferenças significativas ( $\alpha = 5\%$ ) entre os teores de areia, silte e argila, com os menores valores de argila para a área MN (212,6 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 2). Vários autores, entre eles Bertoni & Lombardi Neto (2008) e Brady & Weil (2012) relatam sobre a incapacidade do sistema de manejo em alterar a granulometria, principalmente reduzindo o tamanho da fração por fragmentação. Contudo, ressalta-se que as áreas PA5 e PA30 apresentaram uso anterior de café sombreado, típico da região do Agreste Meridional pernambucano. Acrescenta-se a isso um novo ciclo de cultura de café para pasto. Ambas expõem o solo principalmente em sua fase inicial de implantação o que pode ter promovido perda da camada superficial por erosão. A prática de enleirar os restos vegetais pode também ter contribuído para remoção de parte da camada superficial. Essa afirmação é corroborada pela semelhança na granulometria entre as camadas de 20 a 30 cm da mata com as camadas superficiais do PA5 e PA30.

Os valores de silte variaram de 58,2 a 87,9 g kg<sup>-1</sup>, resultando em relação silte/argila abaixo do valor estabelecido para solos intemperizados (silte/argila < 0,7) e típicas de Latossolos (Embrapa, 2013).



**Tabela 2.** Atributos físicos de um Latossolo húmico sob diferentes manejos, em Brejão – PE.

Cam. (cm)	Uso	Areia	Silte	Argila	Ds	Dp	PT	McP	MiP
		(g kg <sup>-1</sup> )			(g cm <sup>-3</sup> )		(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )		
0 - 10	Mn	699,4 a	87,9 a	212,6 b	0,95 c	2,59 a	0,63 a	0,36 a	0,27 c
	PA5	567,3 b	65,2 b	367,5 a	1,09 b	2,59 a	0,58 b	0,29 b	0,29 a
	PA30	579,8 b	62,9 b	357,4 a	1,24 a	2,61 a	0,52 c	0,23 c	0,29 a
10 - 20	MN	657,4 a	82,2 a	259,3 b	1,02 b	2,61 a	0,61 a	0,34 a	0,27 c
	PA5	536,1 b	59,6 a	404,3 a	1,18 a	2,61 a	0,55 b	0,24 b	0,31 a
	PA30	515,2 b	69,1 a	415,6 a	1,18 a	2,62 a	0,55 b	0,27 b	0,28 b
20 - 30	MN	587,8 a	68,6 a	343,5 b	1,02 b	2,64 a	0,61 a	0,38 a	0,23 c
	PA5	508,2 b	75,6 a	416,2 a	1,18 a	2,64 a	0,56 b	0,27 b	0,29 a
	PA30	477,4 b	58,2 a	464,4 a	1,16 ab	2,66 a	0,56 b	0,29 b	0,27 b

As variáveis foram analisadas e separadas por profundidades. Letras iguais na mesma coluna e para a mesma profundidade não diferem estatisticamente pelo teste de média ( $\alpha = 0,05$ ). Ds = Densidade do Solo; Dp = Densidade de Partícula; PT = Porosidade Total; McP = Macroporosidade; MiP = Microporosidade.

O uso do solo com pastagem promoveu aumento da Ds, com diferença significativa ( $\alpha = 5\%$ ) para a mesma camada entre os sistemas de uso (Tabela 2). Os menores valores foram observados para MN (0,95 a 1,02 g cm<sup>-3</sup>), em relação ao PA5 (1,09 a 1,18 g cm<sup>-3</sup>) e PA30 (1,16 a 1,24 g cm<sup>-3</sup>). A MOS e ausência do tráfego de máquinas e animais são os principais motivos que conferem menor Ds na mata (Matias et al., 2009). A MOS age como cimentante e condicionante da estrutura granular do solo, que favorece a macroporosidade, principalmente interagregados (Caetano et al., 2013; Vasconcelos et al., 2014; Cherubin et al., 2015).

Na pastagem (PA5 e PA30), o intenso pisoteio de animais aumenta a pressão, tornando o solo mais denso. Tais resultados estão de acordo com Bono et al. (2013), que relatam maior densidade do solo em áreas cultivadas comparando com áreas de matas nativas. Cherubin et al. (2015), também observaram uma elevação na Ds nas camadas de 0-20 cm em sistema de manejo com plantio direto, uso de escarificação e cultivo mínimo, quando comparados com áreas nativas.

Outro fator, segundo Effgen et al. (2012), que afeta a Ds, são os ciclos de umedecimento e secagem, e o impacto das gotas de chuvas que favorecem a desagregação aumentando a dispersão de partículas finas causando o entupimento dos poros. Assim, em áreas de mata com dossel bem desenvolvido espera-se menores valores de Ds, conforme observado no presente trabalho.

De modo geral, os valores de PT da mata foram sempre mais elevados em relação ao pasto independentemente da profundidade (Tabela 2). Com o uso da pastagem houve um aumento da Ds e conseqüente redução nos valores de PT, afetando principalmente a macroporosidade (Tabela 2).

A menor alteração da Ds e PT com a profundidade (Tabela 2) deve-se provavelmente ao não revolvimento do solo no sistema pastagem abaixo da profundidade de 20 cm (Silva et al., 2014). Além disso, Proffitt et al. (1993) descrevem que as pressões exercidas por bovinos de 100 a 500 kg (0,25 e 0,49 MPa) podem somente atingir a profundidade entre 5 e 10 cm. Outro fator relatado por Silva et al. (2014), é a quantidade de raízes da mata e das pastagens que aumenta a quantidade de bioporos quando a planta morre.

Portugal et al. (2010) relatam o valor de PT igual a 0,50 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup> como o ideal para uma boa infiltração e retenção de

água, aeração, crescimento radicular e desenvolvimento de atividade biológica. Verifica-se que, apesar da compactação ocorrida no solo sob pastagem, todas as camadas apresentaram valores muito próximos ou superiores a esse limite.

Foram observadas maiores diferenças na macroporosidade (McP) em relação à microporosidade (MiP) entre a mata e os sistemas de manejo, principalmente na camada mais superficial (0 a 10 cm). Os valores de MCP variaram de 0,38 a 0,23 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> (Tabela 2), sendo sempre superiores na condição de menor uso agrícola. Para Effgen et al. (2012), as partículas dispersas pelo impacto das gotas de chuvas em solos desnudos são carregadas e rearranjadas nos poros maiores, reduzindo principalmente a macroporosidade. Os autores não encontram diferenças significativas para a microporosidade em diferentes manejos e relacionam esses resultados a influência da textura e não do manejo. A mesma tendência foi justificada por Lima et al. (2014) que relacionam a macroporosidade e a microporosidade a dois domínios de poros mutuamente diferentes (estruturais e matriciais, respectivamente), sendo assim o primeiro tipo mais afetado pelo manejo.

A semelhança da microporosidade na camada 0 a 10 cm entre os sistemas de uso indicam a pouca eficiência do pastejo na alteração dos espaços porosos intraagregados. Tal fato é corroborado pela melhor correlação entre Ds e MCP ( $r = -0,92$   $\alpha < 0,0001$ ) do que MiP ( $r = 0,44$   $\alpha = 0,0024$ ), e da PT e MCP ( $r = 0,95$   $\alpha < 0,0001$ ). Contudo, a baixa correlação positiva entre Ds e MiP indica tendência no aumento da microporosidade pelo pastejo. No trabalho de Caetano et al. (2013), os autores indicam que a elevação da microporosidade nas camadas superficiais é um sinal do aumento da densidade causada pelo intenso movimento de máquinas em áreas de cultivo ou o constante pisoteio de animais em pastagem sem manejo adequado.

Independente do sistema de uso e da profundidade, a CC e o PMP variaram de 0,20 a 0,27 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> e 0,15 a 0,21 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> (Tabela 3), respectivamente, estando dentro da amplitude esperada para solos de textura média a argilosa de mineralogia caulínica (Portugal et al., 2010). De modo geral, os maiores valores de CC foram observados nas áreas ocupadas com pastagem sendo significativos nas camadas

**Tabela 3.** Atributos físico-hídricos de um Latossolo húmico sob diferentes manejos, em Brejão – PE.

Cam. (cm)	Uso	CC	PMP	AD	Ks	S
		(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )		(mm s <sup>-1</sup> )		
0 – 10	Mn	0,27 a	0,20 a	0,07 a	1,11 a	1,12 a
	PA5	0,27 a	0,19 a	0,08 a	0,18 b	1,37 a
	PA30	0,24 a	0,17 a	0,07 a	0,08 b	0,68 a
10 – 20	MN	0,22 b	0,15 b	0,07 a	0,39 a	2,27 a
	PA5	0,27 a	0,21 a	0,06 a	0,09 b	0,95 ab
	PA30	0,25 a	0,18 ab	0,07 a	0,06 b	0,32 b
20 – 30	MN	0,20 b	0,15 b	0,05 a	0,39 a	0,93 a
	PA5	0,23 ab	0,20 a	0,03 a	0,07 b	0,73 a
	PA30	0,25 a	0,19 ab	0,06 a	0,04 b	0,61 a

As variáveis foram analisadas e separadas por profundidades. Letras iguais na mesma coluna e para a mesma profundidade não diferem estatisticamente pelo teste de média ( $\alpha = 0,05$ ). CC = Capacidade de Campo; PMP = Ponto de Murcha Permanente; AD = Água Disponível; Ks = Condutividade Hidráulica Saturada; S = Sorvidade.

entre 10-20 e 20-30 cm, na qual está ligada ao maior valor da MiP possuindo uma correlação positiva CC ( $r = 0,66$ ) PMP ( $r = 0,59$ ). Segundo Lanzanova et al. (2010), a macroporosidade e os poros deixados pelas raízes mortas de plantas aumenta o fluxo preferencial da água elevando a quantidade de água infiltrada e conseqüentemente maior drenagem. Neste sentido o solo da mata possui uma melhor estrutura com macroporosidade elevada (Tabela 2).

A não significância da CC e do PMP na camada mais superficial sugere expressiva contribuição da MOS, compensado os menores teores de argila da área MN (Tabela 2).

Os valores de condutividade hidráulica saturada (Ks) para a MN foram significativos em todas as camadas e sempre maiores que aqueles obtidos no sistema pasto, cujas diferenças foram mais expressivas na camada de 0 a 10 cm (0,08 a 1,11 mm s<sup>-1</sup>), em relação a 10 a 20 cm (0,06 a 0,39 mm s<sup>-1</sup>) e 20 a 30cm (0,04 a 0,39 mm s<sup>-1</sup>). Segundo Lima et al. (2014), os maiores valores de Ks deve-se a manutenção da estrutura do solo sob condições naturais.

A sorvidade (S) variou de 0,32 a 2,27 mm s<sup>-1</sup> e apresentou correlação com PT ( $r = 0,30$   $\alpha = 0,0413$ ) e argila ( $r = -0,45$   $\alpha = 0,0018$ ), demonstrando dependência da infiltração ao espaço poroso e aos fenômenos de superfícies, tais como adsorção, hidrofobicidade e tensão superficial. Segundo Fonseca (2011) a sorvidade é um parâmetro dependente da quantidade de água inicial do solo e principalmente da estrutura.

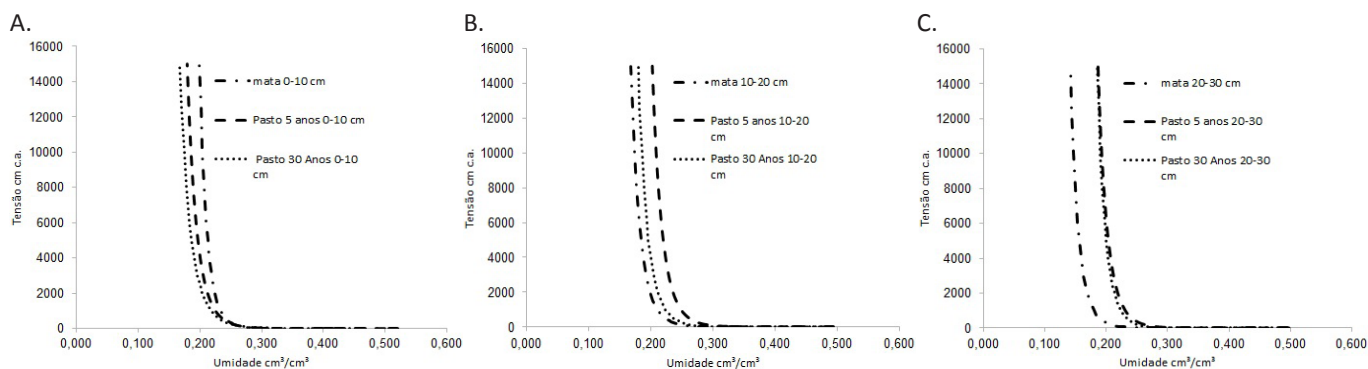
Na Figura 1 pode ser observada a ação do uso conferindo comportamento distinto às curvas de retenção de água nas três camadas para os diferentes sistemas. Na camada de 0 a 10 cm, a mata apresenta maior armazenamento total de água em relação ao PA5 e PA30. Devido ao seu menor conteúdo de argila, acredita-se que esse resultado se deve a forte contribuição da MOS na retenção, estando de acordo com Lanzanova et al. (2010), que encontraram uma maior retenção de água em campos nativos e associam a cobertura permanente que reduz os processos evaporativos.

Porém, nas camadas de 10 a 20 cm e de 20 a 30 cm, essa tendência é invertida com os sistemas PA5 e PA30 armazenando mais água que a condição natural. Em razão dos seus menores valores de MOS, o teor de argila e as alterações na macro e microporosidade, principalmente na porosidade com diâmetro inferior a 2  $\mu$ m que, são os principais responsáveis pela maior retenção de água nessas camadas. Segundo Carducci et al. (2011), a distribuição de poros em Latossolos se caracteriza por conter duas classes muito distintas, sendo que a primeira são aqueles poros muito grandes responsáveis pela drenagem e a segunda os muito pequenos, que retêm a água com mais energia.

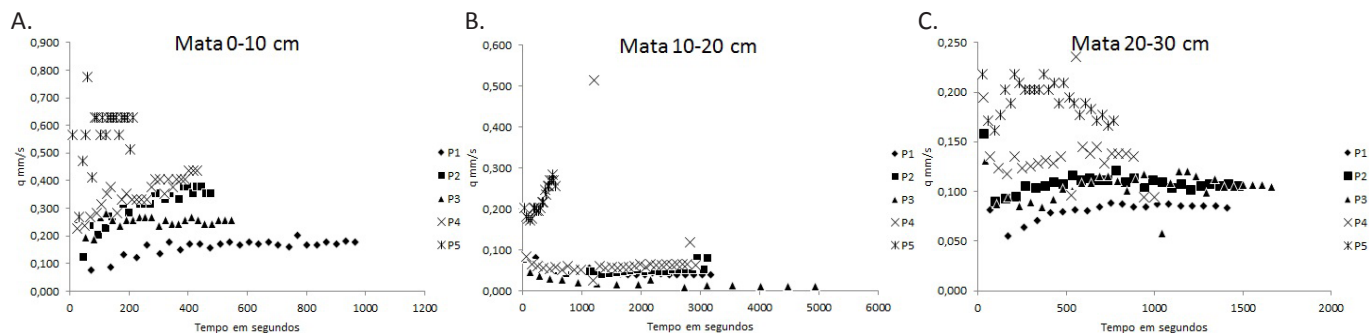
Os resultados para a condutividade são apresentados por meio da densidade de fluxo ( $q$ ; mm s<sup>-1</sup>) mostradas nas Figuras (2, 3 e 4), onde são agrupadas as 5 repetições por profundidade para cada sistema de uso.

De modo geral, as curvas demonstram comportamento distinto da infiltração de água entre as camadas, como também entre os sistemas de uso (Figura 1, 2 e 3). Independente da profundidade, o sistema MN (Figura 1) não apresentou tendência exponencial da curva de infiltração, com fluxo constante, crescente ou mesmo variável com o tempo. Esse comportamento distinto entre a infiltração da água sugere presença de fenômenos de repelência a líquidos polares, denominado de hidrofobicidade.

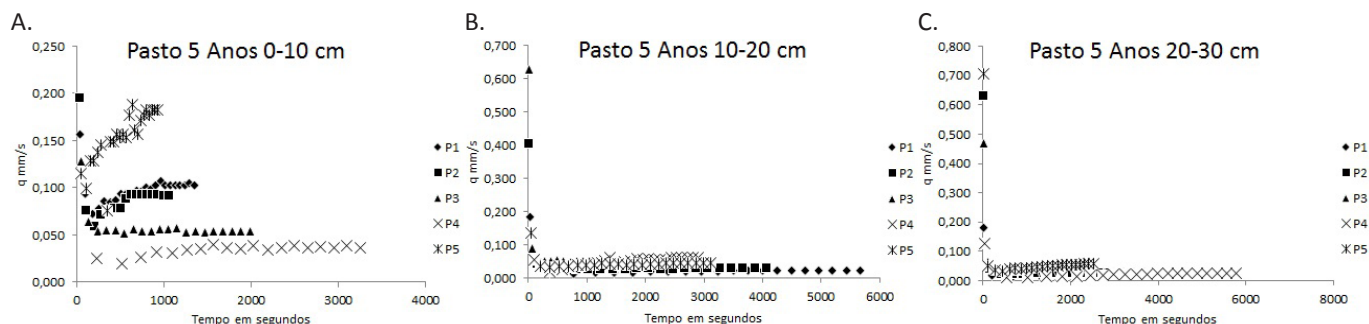
A presença de hidrofobicidade, aparentemente, foi menos expressiva no PA5 (Figura 2) e ausente no PA30 (Figura 3), o que demonstra uma ordem decrescente de hidrofobicidade da mata com o tempo de uso do solo. No PA5 esse fenômeno de repelência a água foi somente percebido na camada de 0 a 10 cm. Vários autores (Mataix-Solera et al. 2011; González-



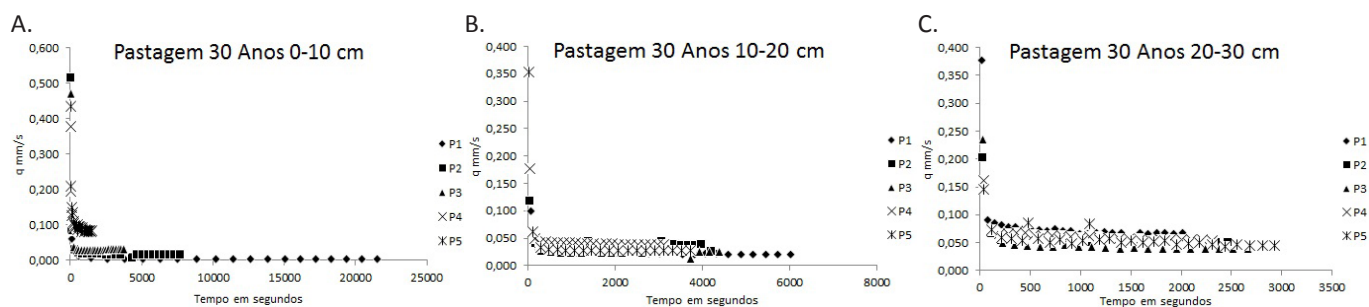
**Figura 1.** Curvas de retenção da água no solo nas camadas (A) 0-10 cm, (B) 10-20 cm e (C) 20-30 cm, de um Latossolo húmico sob diferentes manejos em Brejão, PE.



**Figura 2.** Densidade de fluxo de água ( $q$ ) na área da mata. Letras (A, B e C) são os 5 pontos em suas respectivas profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm) onde o teste foi realizado com água.



**Figura 3.** Densidade de fluxo de água ( $q$ ) na área do pasto de 5 anos. Letras (A, B e C) são os 5 pontos em suas respectivas profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm) onde o teste foi realizado com água.



**Figura 4.** Densidade de fluxo de água ( $q$ ) na área do pasto de 30 anos. Letras (A, B e C) são os 5 pontos em suas respectivas profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm) onde o teste foi realizado com água.

Peñaloza et al., 2012) atribuem a presença da hidrofobicidade a qualidade da MOS, onde substâncias orgânicas com estruturas anfífilas, recobrem as partículas minerais do solo (argila, silte e areia), agregados e paredes dos poros e promovem repelência a água. No Brasil, foi apenas relatado sua presença no Rio Grande do Sul, Piauí e Pará, sendo o primeiro relato de expressão no agreste meridional pernambucano.

## Conclusões

A introdução da pastagem alterou os atributos químicos principalmente os ligados a acidez do solo, como também a densidade do solo e a macroporosidade, e, conseqüentemente, seu regime de infiltração de água.

A diferença expressiva no comportamento do teste de infiltração com água evidencia a presença de hidrofobicidade no solo, que se mostra menor com o aumento da profundidade e do tempo de uso.

## Literatura Citada

- Angulo-Jaramillo, R.; Vandervaere, J.P.; Roulier, S.; Thony, J.L.; Gaudet, J. P.; Vauclin, M. Field measurement of soil surface hydraulic properties by disc and ring infiltrometers A review and recent developments. *Soil & Tillage Research*, v.55, n.1-2, p.1–29, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00098-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00098-2).
- Araujo, J.K.S.; Corrêa, M.M.; Galindo, I.C. e L.; Souza-Júnior, V.S. de. Caracterização de latossolos amarelos húmicos em um ambiente altimontano na região agreste do estado de Pernambuco, Brasil. *Bioscience Journal*, v.31, n.1, p.146-160, 2015. <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n1a2015-16>.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 2008. 355p.
- Bono, J.A.M.; Macedo, M.C.M.; Tormena, C.A. Qualidade física do solo em um Latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, n.3, p.743-753, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300021>.



- Brady, N.C.; Weil, R.R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. Porto Alegre:Bookman, 2012. 716p.
- Burdine, N.T. Relative permeability calculations from size distribution data. *Journal of Petroleum Technology*, v. 5, n.3, p. 71-78, 1953. <https://doi.org/10.2118/225-G>.
- Caetano, J.O.; Verginassi, A.; Assis, P. C. R.; Carneiro, M. A. C.; Paulino, H. B. Indicadores de Qualidade de um Latossolo Vermelho sob Diferentes Sistemas de uso e Manejo. *Global Science and Technology*, v.6, n.1, p.26–39, 2013. <https://doi.org/10.14688/1984-3801>.
- Campos, L.P.; Leite, L.F.C.; Maciel, G.A.; Iwata, B. de F.; Nóbrega, J.C.A. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.12, p.1681-1689, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001200014>.
- Carducci, C.E.; Oliveira, G.C. de; Severiano, E. da C.; Zeviani, W.M. Modelagem da curva de retenção de água de latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.1, p.77-86, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100007>.
- Cherubin, M.R.; Eitelwein, M.T.; Fabbris, C.; Weirich, S.W.; Silva, R. F. da; Silva, V.R. da; Basso, C.J. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, n.2, p.615-625, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140462>.
- Cunha, E. de Q.; Stone, L.F.; Moreira, J.A.A.; Ferreira, E.P. de B.; Didonet, A.D. Atributos físicos do solo sob diferentes preparos e coberturas influenciados pela distribuição de poros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.14, n.11, p.1160–1169, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001100005>.
- Dalbiano, L. Variabilidade espacial e estimativa da condutividade hidráulica e caracterização físico-hídrica de uma microbacia hidrográfica rural. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009. 115p. Dissertação Mestrado. <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/5494>. 22 Fev. 2017.
- Dias-Filho, M.B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 4.ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 173p.
- Effgen, T.A.M.; Passos, R.R.; Andrade, F.V.; Lima, J.S. de S.; Reis, E.F. dos; Borges, E. N. Propriedades físicas do solo em função de manejos em lavouras de cafeeiro conilon. *Revista Ceres*, v.59, n.3, p.414-421, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000300018>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2000. 381p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353p.
- Ferreira, S. T. Avaliação da relação entre a condutividade hidráulica do solo saturado com parâmetros físicos de um Latossolo Vermelho Distrófico submetido a dois diferentes manejos. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2008. 100p. Dissertação Mestrado. <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/874>. 18 Jan. 2017.
- Fonseca, A.C.G. da. Comparação de três métodos de determinação dos parâmetros da infiltração transiente (ks e s) a partir do infiltrômetro a anel simples. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2011. 56p. Dissertação Mestrado. [https://www3.ufpe.br/proten/images/Arthur\\_Modificacoes/06-Producao\\_Academica/1-Mestrado/2011.2/alexandra%20carolina%20gomes%20da%20fonseca.pdf](https://www3.ufpe.br/proten/images/Arthur_Modificacoes/06-Producao_Academica/1-Mestrado/2011.2/alexandra%20carolina%20gomes%20da%20fonseca.pdf). 10 Fev. 2017.
- González-Peñaloza, F.A.; Cerdà, A.; Zavala, L.M.; Jordán, A.; Giménez-Morera, A.; Arcenegui, V. Do conservative agriculture practices increase soil water repellency? A case study in citrus-cropped soils. *Soil and Tillage Research*, v.124, p.233-239, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.06.015>.
- Hansel, F.A.; Aoki, C.T.; Maia, C.M.B.F.; Cunha Jr, A.; Dedecek, R.A. Comparison of two alkaline treatments in the extraction of organic compounds associated with water repellency in soil under *Pinus taeda*. *Geoderma*, v.148, p.167-172, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.10.002>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo Agropecuário 2006. <http://www.ibge.gov.br>. 15 Jun. 2017.
- Laboratório de Meteorologia de Pernambuco – LAMEPE; Instituto de Tecnologia de Pernambuco - ITEP. Informações climáticas do estado de Pernambuco. <http://www.itep.br>. 23 Jan. 2017.
- Lanzanova, M.E.; Eltz, F.L.F.; Nicoloso, R. da S.; Amado, T.J.C.; Reinert, D. J.; Rocha, M.R. da. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.4, p. 1333-1342, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400030>.
- Lima, J.R. de S.; Souza, E.S. de; Antonino, A.C.D.; Silva, I. de F. da; Corrêa, M.M.; Lira, C.A.B. de O. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Amarelo cultivado e sob mata nativa no Brejo Paraibano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.9, n.4, p.599-605, 2014. <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i4a3532>.
- Lourente, E.R.P.; Mercante, F.M.; Alovisi, A.M.T.; Gomes, C.F.; Gasparini, A.S.; Nunes C.M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.41, n.1, p. 20-28, 2011. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i1.8459>.
- Mataix-Solera, J.; García-Irles, L.; Morugán, A.; Doerr, S. H.; Garcia-Orenes, F.; Arcenegui, V.; Atanassova, I. Longevity of soil water repellency in a former wastewater disposal tree stand and potential amelioration. *Geoderma*, v.165, n.1, p.78-83, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.07.006>.
- Matias, S.S.R.; Borba, J.A.; Ticelli, M.; Panosso, A.R.; Camara, F.T. da. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. *Revista Ciência Agronômica*, v.40, n.3, p.331-338, 2009. <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/751/350>. 30 Jun. 2017.
- Monteiro, A.A.; Tamanini, R.; Silva, L.C.C. da; Mattos, M.R. de; Magnani, D.F.; d'Ovidio, L.; Nero, L. A.; Barros, M. de A. F.; Pires, E.M.F.; Paquereau, B.P.D.; Beloti, V. Características da produção leiteira da região do agreste do estado de Pernambuco, Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*, v.28, n.4, p.665-674, 2007. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n4p665>.



- Pessoa, P.M.A.; Duda, G.P.; Barros, R.B.; Freire, M.B.G.S.; Nascimento, C.W.A.; Corrêa, M.M. Frações de Carbono Orgânico de um Latossolo Húmico sob Diferentes Usos no Agreste Brasileiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.1, p.97-104, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100011>.
- Portugal, A.F.; Juncksh, I.; Schaefer, C. E. R.G.; Neves, J. C. de L. Estabilidade de agregados em Argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. *Revista Ceres*, v. 57, n.4, p. 545-553, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000400018>.
- Proffitt, A.P.B.; Bendotti, S.; Howell, M.R.; Eastham, J. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a Red-Brown Earth. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.44, n. 2, p.317-331, 1993. <https://doi.org/10.1071/AR9930317>.
- Santos, A.C.; Ferreira, E.M.; Araújo, L.C. Propriedades químicas e físicas de solos em áreas sob pastagens em Cerrado do norte do Tocantins. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, v.7, n.1, p.55-63, 2009. <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v7i1.8924>.
- Silva, A. P. da; Babujia, L. C.; Franchini, J. C.; Ralisch, R.; Hungria, M.; Guimarães, M. de F. Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management systems. *Soil and Tillage Research*. v.142, p.42–53, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.04.006>.
- van Genuchten, M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 44, n.5, p.892-898, 1980. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>.
- Vasconcelos, R.F.B.; Souza, E.R. de; Cantalice, J.R.B.; Silva, L.S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.4, p.381–386, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000400004>.
- Vogelmann, E.S.; Reichert, J.M.; Prevedello, J.; Barros, C.A.P.; Quadros, F.L.F.; Mataix-Solera, J. Soil hydro-physical changes in natural grassland of southern Brazil subjected to burning management. *Soil Research*, v.50, n.6, p. 465–472, 2012. <https://doi.org/10.1071/SR12106>.