

# INFLUÊNCIA DAS FRAÇÕES DE AREIA NA RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM SOLOS DAS FORMAÇÕES CAIUÁ E PARANAÍ<sup>(1)</sup>

Jonez Fidalski<sup>(2)</sup>, Cássio Antonio Tormena<sup>(3)</sup>, Sérgio José Alves<sup>(4)</sup> & Pedro Antonio Martins Auler<sup>(5)</sup>

## RESUMO

Tem sido verificado que a adoção das técnicas de uso e manejo para solos derivados do arenito Caiuá no noroeste do Paraná nem sempre corresponde às expectativas de produção das culturas. Nessa região ocorrem duas Formações desse arenito: a Caiuá e a Paranaí, com diferenças na granulometria dos solos. A hipótese é de que os solos da Formação Caiuá tenham menor retenção e disponibilidade de água para a produção agrícola, em razão da maior proporção da fração de areia grossa do que solos da Formação Paranaí. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a retenção e disponibilidade de água do solo em integração lavoura-pecuária e cultivado com abacaxi em solos do arenito das Formações Caiuá e Paranaí, no noroeste do Paraná. Em 2010, foram realizadas duas amostragens de solo em quatro áreas agrícolas comerciais de integração lavoura-pecuária e produção de abacaxi, que apresentaram textura arenosa na camada de 0-40 cm; nessas havia evidências de que, mesmo com a utilização das melhores técnicas agronômicas de manejo de solo, as produtividades de soja, pastagem e de abacaxi eram muito baixas nos solos da Formação Caiuá. Coletas de amostras de solo deformadas e indeformadas nas camadas de 0-10, 11-20 e 21-40 cm foram realizadas para caracterizar a granulometria (argila, silte, areia fina e areia grossa), o carbono orgânico e a retenção de água no solo. Os solos da Formação Caiuá têm granulometria mais grosseira, poros de maior diâmetro e menor disponibilidade de água do que os da Paranaí. Os riscos de deficiência hídrica são maiores em solos da Formação Caiuá do que os da Paranaí.

**Termos de indexação:** arenito Caiuá, argila, braquiária, carbono orgânico, distribuição de tamanho de poros, curva de retenção de água, integração lavoura-pecuária.

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em 28 de agosto de 2012 e aprovado em 18 de março de 2013.

<sup>(2)</sup> Pesquisador, Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR. Bolsista da Fundação Araucária. Caixa Postal 564. CEP 87701-970 Paranavaí (PR). E-mail: fidalski@iapar.br

<sup>(3)</sup> Professor Associado do Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá - UEM. Bolsista do CNPq. Av. Colombo, 5790. CEP 87020-900 Maringá (PR). E-mail: catormena@uem.br

<sup>(4)</sup> Pesquisador, IAPAR. Bolsista da Fundação Araucária. Caixa Postal 481. CEP 86001-970 Londrina (PR). E-mail: sja@iapar.br

<sup>(5)</sup> Pesquisador, IAPAR. Caixa Postal 564. CEP 87701-970 Paranavaí (PR). E-mail: aulerpe@iapar.br

**SUMMARY: INFLUENCE OF SAND FRACTIONS ON WATER RETENTION AND AVAILABILITY IN CAIUÁ AND PARANAÍ SANDSTONE FORMATIONS**

*It has been found that the results of the land use and management techniques adopted for soils derived from Caiuá sandstone in the Northwest of Paraná are not always satisfactory in terms of crop yields. In this region, sandstone occurs in two forms: the Caiuá and Paranaí Formations, with differences in soil particle size. We hypothesized that the water retention and availability for agricultural production is lower in the Caiuá soils, due to the higher proportion of coarse sand than in the Paranaí soils. The aim of this work was to characterize the retention and availability of soil water in an integrated crop-livestock system and pineapple cultivation in Caiuá and Paranaí soils in the Northwest of Paraná, Brazil. In 2010, two studies were conducted in four commercial farming areas (integrated crop - livestock and pineapple cultivation), with a sandy texture in the 0-40 cm layer. There was evidence that even under the best soil management the yields of soybean, pasture, and pineapple were very low in soils of Caiuá Formation. Disturbed and undisturbed soil samples were collected (layers 0-10, 11-20 and 21-40 cm) to characterize particle size (clay, silt, fine sand and coarse sand), organic carbon and water retention through water retention curves. In soil of the Caiuá Formation, the particle size was larger, pores had a greater diameter and water availability was lower than in Paranaí soil. The risk of water stress was higher for Caiuá than for Paranaí Formation soils.*

*Index terms: Caiuá sandstone, clay, brachiaria grass, organic carbon, pore size distribution, water retention curve, livestock-crop integration.*

## INTRODUÇÃO

Os solos originários do arenito Caiuá, no noroeste do Paraná, têm área de 3,2 milhões de hectares e representam 16 % da área do Estado (Sá & Caviglione, 1999); desses, aproximadamente 70 % são ocupados por pastagens, em consonância com a sua capacidade de uso e aptidão agrícola (Embrapa, 1984). A baixa fertilidade natural desses solos (Fidalski, 1997) sempre foi considerada para o manejo da calagem e adubação mineral e orgânica, visando maximizar a produção agrícola (Fidalski, 1999; Fidalski & Tormena, 2005; Fidalski & Chaves, 2010; Costa et al., 2012). Contudo, regionalmente tem sido constatado que a adoção de práticas de manejo da fertilidade nesses solos, às vezes, não corresponde à expectativa da produção esperada, provavelmente por razões ligadas à sua limitada disponibilidade hídrica.

No noroeste do Paraná predominam duas Formações de arenito: Caiuá e Paranaí, mapeadas por Bigarella & Mazuchowski (1985) e Sallun et al. (2008). A Formação Caiuá é constituída pela maior fração de areia grossa do que a Paranaí (Bigarella & Mazuchowski, 1985), mas essa característica não é considerada como fator limitante na retenção de água desses solos para a produção agrícola.

Nessa região, tem sido verificado que a adoção das técnicas de uso e manejo para esses solos nem sempre corresponde às expectativas de produção. Para a cultura da laranja, Rêgo (1997) obteve produção máxima de 48,14 kg por planta nas primeiras quatro safras agrícolas em solo do arenito no noroeste do Paraná, atribuindo ao manejo da adubação. Esses

resultados contrariam as produções dos pomares obtidas em experimentos conduzidos por Auler et al. (2008), de 28, 77, 73 e 146 kg por planta, nas quatro primeira colheitas, provavelmente em razão do ambiente edafológico diferenciado dos dois experimentos conduzidos nos Latossolos Vermelhos distróficos das Formações Caiuá (Rêgo, 1997) e Paranaí (Auler et al., 2008).

Alguns autores comprovaram a influência do manejo da cobertura do solo no armazenamento e na disponibilidade de água para as plantas em solos derivados do arenito Caiuá (Cavaliere et al., 2006; Fidalski & Tormena, 2007; Fidalski et al., 2008; 2010a,b). Em 2010, cogitou-se a hipótese de que a retenção e disponibilidade de água desses solos fossem dependentes do seu material de origem, pois essa característica não era considerada como fator limitante para reter água desses solos para a produção agrícola.

Foram ponderadas, em 2010, como prováveis causas as respostas diferenciadas de produção para a soja e a formação de pastagem de inverno em duas áreas no arenito do noroeste do Paraná, onde não estariam relacionadas a fertilidade dos solos, mas poderiam estar relacionadas as limitações de retenção e disponibilidade de água em solos da Formação Caiuá, em razão da maior proporção de areia grossa na sua composição granulométrica. Para comprovar essa hipótese, estabeleceu-se que o solo derivado da Formação Caiuá, por apresentar maior proporção de areia grossa na sua composição granulométrica, deve apresentar maior diâmetro de poros. Alguns estudos comprovaram o efeito do manejo nas curvas de distribuição de poros do solo (Klein & Libardi, 2002;

Cássaro et al., 2011), que são influenciadas pela textura do solo (Cirino & Guerra, 1994).

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a retenção e disponibilidade de água do solo em integração lavoura-pecuária e produção de abacaxi cultivados em solos derivados do arenito Caiuá e pertencentes às Formações Caiuá e Paranavaí, no noroeste do Paraná.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em 2010, em áreas de integração lavoura-pecuária e produção de abacaxi implantadas em solos do arenito da Formação Caiuá (próximo às coordenadas geográficas 23° 44' S e 53° 29' W; 22° 56' e 52° 41') e da Formação Paranavaí (próximo às coordenadas geográficas 23° 00' e 53° 11'; 22° 55' e 53° 08'), no noroeste do Paraná. O clima nas áreas amostradas é subtropical (Cfa), caracterizado pela época de maior precipitação entre outubro e março e sem estação seca definida (Caviglione et al., 2000). As amostras de solo foram coletadas em áreas que apresentaram textura pertencente à classe textural arenosa (Santos et al., 2006), com teores de argila inferiores a 145 g kg<sup>-1</sup> (Quadro 1). A profundidade de amostragem de 40 cm deve-se à maior concentração de raízes de gramínea (*Paspalum maximum*) nesses solos (Sarmiento et al., 2008; Costa et al., 2012).

Amostragens de solo foram realizadas em áreas com cerca de 10 ha, em maio de 2010, após a colheita de soja e durante a fase de desenvolvimento da *Brachiaria ruziziensis*, em áreas de integração lavoura-pecuária; e em novembro de 2010, na fase de frutificação da cultura do abacaxi, cultivar Smooth Cayenne. Essas culturas tinham sido tecnicamente conduzidas para maximizar as produções de soja, forragem e frutos de abacaxi. As áreas de integração lavoura-pecuária foram estabelecidas em pastagens que necessitavam de recuperação por meio do cultivo de soja, após a correção com calagem superficial e semeadura direta sem revolvimento do solo, mediante adubação para a reposição de nutrientes e tratos culturais demandados por essa cultura, seguida da semeadura de *B. ruziziensis* com as finalidades de formar e disponibilizar essa forrageira para bovinos. Os cultivos de abacaxi também foram realizados em áreas de pastagens que necessitavam de recuperação, a partir do preparo convencional do solo com aração e grade niveladora para incorporação de calcário, seguida da abertura de sulcos de plantio a fim de realizar a adubação orgânica com esterco de aviário e adubação de base com superfosfato simples. Após o plantio de mudas de abacaxi, o controle do mato foi realizado por meio de herbicida e eventuais capinas. Os demais tratos culturais como adubações e controles fitossanitários foram realizados normalmente dentro do que é preconizado para o cultivo de abacaxi na região.

No momento dessas amostragens, o solo das áreas características da Formação Caiuá apresentava *B. ruziziensis* mal formada, após frustração na colheita de soja e frutos de abacaxi pequenos sem expectativa de comercialização. No solo das áreas da Formação Paranavaí, a *B. ruziziensis* estava bem formada após a colheita de soja e os frutos de abacaxi já tinham sido colhidos e comercializados. Amostras indeformadas de solo foram coletadas com cilindros metálicos com 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro, nas camadas intermediárias de 0-10, 11-20, 21-40 cm. As áreas da Formação Paranavaí com integração lavoura-pecuária foram coletadas em seis pontos, totalizando 18 amostras e as da Formação Caiuá em quatro pontos, totalizando 12 amostras. Nas áreas cultivadas com abacaxi, as amostras de solo foram coletadas em duplicatas em um ponto, totalizando oito amostras em cada área.

O fracionamento da areia fina (0,02-0,2 mm) e grossa (0,2-2 mm) foi feito, conforme Santos et al. (2005). A caracterização granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (Claessen, 1997). Essas amostras de solo foram utilizadas também para determinar os teores de carbono orgânico, que foram determinados conforme proposição de Walkley & Black, descritos por Claessen (1997).

As amostras de solo indeformadas foram saturadas e submetidas aos  $\psi$  de -10, -20, -40, -60, -80 e -100 hPa, em mesa de tensão (Claessen, 1997). Para  $\psi$  na faixa de -100 a -850 hPa, foi feito o secamento das amostras indeformadas de solo ao ar para obter variabilidade de água; o  $\psi$  foi medido com tensiômetro em miniatura com dimensões de 5 cm de altura e uma cápsula porosa de 5 mm de diâmetro na extremidade. O tensiômetro foi introduzido nas amostras indeformadas a partir da abertura de um orifício até a porção mediana das amostras, aproximadamente 2,5 cm de altura (Eijkelkamp, 2012); para  $\psi$  na faixa compreendida entre -8000 a -15000 hPa, foram utilizadas amostras deformadas secas ao ar e o  $\psi$  foi medido a partir de 2 g de solo depositado em cápsulas no equipamento WP4-T, que registra o  $\psi$  a 25 °C, conforme Klein et al. (2010) e (Decagon Devices, 2008). As amostras indeformadas foram submetidas ao secamento em estufa a 105 °C durante 48 h para determinar a massa de solo e a de água. A partir dessas informações, foram calculados os indicadores de porosidade (microporosidade, macroporosidade e porosidade total), a densidade do solo e a capacidade de armazenamento de água no solo, que correspondente ao conteúdo de água ( $\theta$ ) retida no solo em  $\psi$  equivalente a -80 hPa (Reichardt, 1988).

As curvas de retenção de água do solo foram ajustadas pelo modelo matemático proposto por van Genuchten (1980) com a restrição ( $m = 1-1/n$ ):  $\theta = \theta_r + \{(\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha\psi)^n]^{(1-1/n)}\}$ , em que  $\psi$  é o potencial mátrico (hPa);  $\theta$  (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>);  $\theta_r$ , água residual (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>);  $\theta_s$  (água em solo saturado, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>); e  $\alpha$  (hPa<sup>-1</sup>) e  $n$ ,

**Quadro 1. Características granulométricas e carbono orgânico por camada de solo nas áreas de integração lavoura-pecuária e abacaxi nas Formações de arenito (Caiuá e Paranavaí), no noroeste do Paraná**

Camada	Argila	Silte	Areia			Carbono orgânico
			Total	Fina <sup>(1)</sup>	Grossa <sup>(1)</sup>	
cm	g kg <sup>-1</sup>					
Integração lavoura-pecuária na Formação Caiuá						
0-10	70	10	920	145	775	5,64
11-20	90	10	900	150	750	3,91
21-40	120	10	870	130	740	3,59
Média <sup>(2)</sup>	93 Aa	10 Aa	897 Aa	142 Bb	755 Aa	4,38 Aa
Integração lavoura-pecuária na Formação Paranavaí						
0-10	90	10	900	332	568	6,46
11-20	120	20	860	305	555	5,68
21-40	145	10	845	276	575	3,74
Média <sup>(2)</sup>	118 Aa	12 Aa	870 Aa	304 Aa	566 Ba	4,83 Aa
Abacaxi na Formação Caiuá						
0-10	30	90	880	280	600	7,28
11-20	40	70	890	290	600	5,64
21-40	80	10	910	290	620	3,50
Média <sup>(2)</sup>	50 Aa	57 Aa	894 Aa	287 Aa	607 Ab	5,47 Aa
Abacaxi na Formação Paranavaí						
0-10	80	20	900	380	520	7,55
11-20	100	20	880	350	530	7,32
21-40	130	20	850	320	530	4,87
Média <sup>(2)</sup>	103 Aa	20 Aa	877 Aa	350 Aa	527 Bb	6,58 Aa
Caiuá <sup>(2)</sup>	72 B	33 A	895 A	214 B	681 A	4,93 A
Paranavaí <sup>(2)</sup>	111 A	17 A	873 A	327 A	546 B	5,94 A

<sup>(1)</sup> Areia fina (0,02-0,2 mm) e areia grossa (0,2-2 mm) (Santos et al., 2005). <sup>(2)</sup> Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si as Formações (Caiuá e Paranavaí) e letra minúscula não diferem entre si as áreas (integração lavoura-pecuária ou abacaxi) pelo teste t ( $p < 0,05$ ).

coeficientes do modelo obtidos no ajuste dos dados. A partir das curvas de retenção de água do solo, foi obtida a água disponível do solo, calculada pela diferença do  $\theta$  dos  $\psi$ , equivalente à capacidade de campo (-80 hPa) e ao ponto de murcha permanente (-15000 hPa).

As curvas de distribuição de poros foram obtidas a partir dos coeficientes da função de van Genuchten, mediante a derivação ( $d\theta/d\psi$ ) das equações em relação ao  $\psi$  (Klein & Libardi, 2002; Libardi, 2010), que foram normalizadas pelas suas áreas, conforme Cássaro et al. (2011). Graficamente, a curva de distribuição de poros estabelece uma função de frequência relativa (% por  $\mu\text{m}$ ; percentual por micrometro), que corresponde ao percentual de poros no eixo da ordenada em função do raio do poro ( $\mu\text{m}$ ) na abscissa; o produto dessas duas variáveis é adimensional ( $\mu\text{m}^{-1} \times \mu\text{m}$ ).

Para possibilitar a comparação entre as duas Formações (Caiuá e Paranavaí) e áreas (integração lavoura-pecuária e abacaxi), os dados das três camadas

de solo (0-10, 11-20 e 21-40 cm) foram agrupados para cada uma das formações e áreas de integração lavoura-pecuária e abacaxi por terem apresentado homogeneidade de variância, possibilitando as comparações entre as médias pelo Teste t (Schlotzhauer & Littell, 1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores médios de argila, silte e areia total dos solos das Formações Caiuá e Paranavaí não diferenciaram-se entre as áreas de integração lavoura-pecuária na profundidade de 0-40 cm (Quadro 1). Foram verificados maiores teores de areia grossa nos solos sob integração lavoura-pecuária e abacaxi na Formação Caiuá em relação à Paranavaí; já dentro da Formação Caiuá, constataram-se os maiores teores na área cultivada com integração lavoura-pecuária. A fração de areia fina foi maior na Formação Paranavaí da área de integração lavoura-pecuária e

não houve diferenças entre as formações das áreas de abacaxi. Esses resultados estão em acordo com Bigarella & Mazuchowski (1985), os quais distinguiram as duas formações do arenito no noroeste do Paraná, em que a Formação Caiuá caracteriza- pela maior fração de areia grossa do que a Paranavaí. Contudo, os teores de carbono orgânico não diferenciaram-se entre as duas formações (Quadro 1), em razão dos baixos teores característicos do material de origem geológica (Embrapa, 1984; Fidalski, 1997).

As curvas de retenção de água do solo se diferenciaram entre as Formações Caiuá e Paranavaí na profundidade de 0-40 cm (Figura 1). Os coeficientes ( $\alpha$ ,  $\theta_s$ ,  $\theta_r$  e  $n$ ) de todas as curvas de retenção de água das Formações Caiuá e Paranavaí (Quadro 2; Figura 1) estiveram dentro das amplitudes de solos e manejo similares, verificados por Fidalski & Tormena (2007) e Machado et al. (2008).

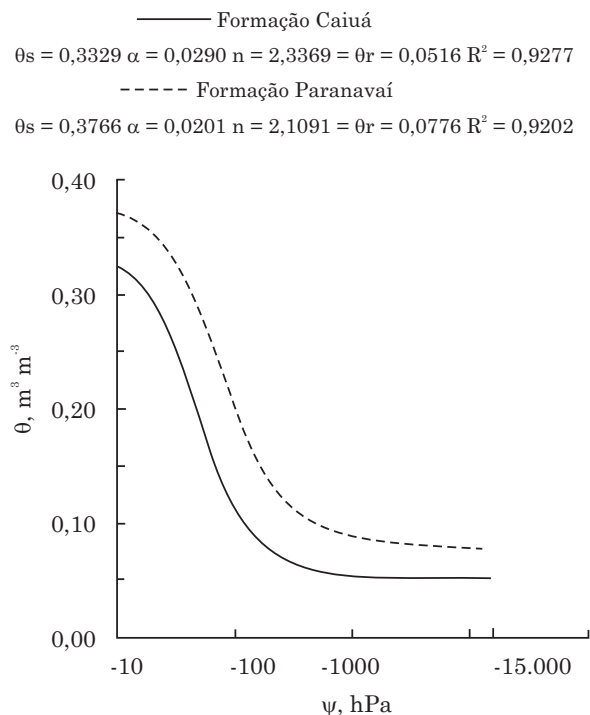
Houve diferenças do coeficiente  $\alpha$  da curva de retenção de água do solo na profundidade de 0-40 cm,

sendo constatado maior valor na Formação Caiuá na área de integração lavoura-pecuária (Quadro 2; Figura 1), caracterizada pela entrada de ar mais rápida nesse solo, após o início do processo de drenagem, implicando no secamento mais rápido do solo em razão dos maiores teores de areia grossa (Quadro 1; Figura 1). O coeficiente  $\theta_r$  foi menor na Formação Caiuá na área de abacaxi, dependente da granulometria do solo com maior teor da fração areia grossa (Quadro 1; Figura 1). Independentemente das áreas com integração lavoura-pecuária ou abacaxi, as maiores frações de areia grossa nas áreas da Formação Caiuá apresentaram maior  $\alpha$  e menor  $\theta_r$ , caracterizando menor capacidade de retenção de água nesses solos (Figura 1), que estão associados aos maiores teores de areia grossa e menores teores de areia fina e argila (Quadro 1). Os resultados deste trabalho diferenciam-se dos demais trabalhos desenvolvidos no noroeste do Paraná por caracterizar os efeitos das frações areia grossa e areia fina na retenção de água desses solos (Fidalski & Tormena, 2007; Machado et al., 2008; Fidalski et al., 2010b).

**Quadro 2. Coeficientes de determinação das curvas de retenção de água do solo  $\theta = \theta_r + \{(\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha \psi)^n]\}^{(1-1/n)}$  por camada de solo nas áreas de integração lavoura-pecuária e abacaxi nas Formações de arenito (Caiuá e Paranavaí), no noroeste do Paraná**

Camada	Coeficientes da curva de retenção de água do solo				R <sup>2(2)</sup>
	$\theta_s$	$\theta_r$	$\alpha$	n	
cm	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		hPa <sup>-1</sup>		
	Integração lavoura-pecuária na Formação Caiuá				
0-10	0,3438	0,0617	0,0430	2,3783	0,9895
11-20	0,2886	0,0589	0,0394	1,9336	0,9869
21-40	0,2776	0,0926	0,0326	2,3779	0,9873
Média <sup>(1)</sup>	0,3033 Aa	0,0711 Aa	0,0383 Aa	2,2299 Aa	
	Integração lavoura-pecuária na Formação Paranavaí				
0-10	0,3510	0,0756	0,0171	2,4343	0,9898
11-20	0,3536	0,0941	0,0225	2,2373	0,9877
21-40	0,3056	0,0879	0,0217	1,6670	0,9770
Média <sup>(1)</sup>	0,3367 Aa	0,0859 Aa	0,0204 Ba	2,1129 Aa	
	Abacaxi na Formação Caiuá				
0-10	0,3861	0,0369	0,0297	2,4316	0,9760
11-20	0,3386	0,0415	0,0209	2,7073	0,9789
21-40	0,3411	0,0442	0,0242	2,7607	0,9915
Média <sup>(1)</sup>	0,3553 Aa	0,0409 Ba	0,0249 Ab	2,6332 Aa	
	Abacaxi na Formação Paranavaí				
0-10	0,4203	0,0741	0,0180	2,8184	0,9825
11-20	0,4448	0,0765	0,0191	2,1211	0,9784
21-40	0,3429	0,0667	0,0173	2,4988	0,9732
Média <sup>(1)</sup>	0,4027 Aa	0,0724 Aa	0,0181 Aa	2,4794 Aa	
Caiuá <sup>(1)</sup>	0,3293 A	0,0560 B	0,0316 A	2,4316 A	
Paranavaí <sup>(1)</sup>	0,3697 A	0,0792 A	0,0193 B	2,2962 A	

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si as Formações (Caiuá e Paranavaí) e letra minúscula não diferem entre si as áreas (integração lavoura-pecuária ou abacaxi) pelo teste t (p<0,05). <sup>(2)</sup> R<sup>2</sup>=[1-(ΣQ<sub>erro</sub>/Σ<sub>modelo</sub>)].



**Figura 1. Curvas de retenção de água do solo (0-40 cm) nas Formações de arenito (Caiuá e Paranavaí), no noroeste do Paraná.**

Os valores dos coeficientes das curvas de retenção de água do solo (Quadro 2; Figura 1) caracterizaram menor quantidade de água na capacidade de campo da Formação Caiuá na área de integração lavoura-pecuária e abacaxi (Quadro 3). Isso significa que após a drenagem da água em elevados  $\psi$ , após a sua saturação pelas precipitações pluviais, os solos da Formação Caiuá secarão mais rápido do que os da Paranavaí. Essa constatação, independentemente da capacidade de campo das duas áreas (integração lavoura-pecuária) das formações Caiuá e Paranavaí, confirma que a adoção de manejo de solo similar entre as áreas estudadas não foram suficientes para promover alterações na retenção de água em  $\psi$  de -80 hPa, considerado como capacidade de campo (Quadros 2 e 3). Essas alterações foram dependentes da textura de solo, reduzindo a capacidade de campo em razão dos maiores teores de areia grossa na Formação Caiuá (Quadro 1). Estudos mais específicos apresentaram influência do uso e manejo do solo nos coeficientes das curvas de retenção de água do solo do arenito no noroeste do Paraná (Fidalski & Tormena, 2007; Machado et al., 2008; Fidalski et al., 2010b).

Com o secamento do solo até  $\psi$  correspondente ao ponto de murcha permanente (-15000 hPa), as áreas de integração lavoura-pecuária tiveram a mesma disponibilidade de água no solo (Quadro 3). A retenção de água no ponto de murcha permanente foi menor na Formação Caiuá entre as áreas de abacaxi; a de

abacaxi foi menor do que a de integração lavoura-pecuária dentre as formações. Independentemente das áreas (integração lavoura-pecuária e abacaxi), houve menor retenção de água no ponto de murcha permanente da Formação Caiuá do que a da Paranavaí (Quadro 3), que são dependentes da granulometria do solo (Quadro 1).

A água disponível do solo foi menor nas áreas da Formação Caiuá e, dentre essas, a área de integração lavoura-pecuária apresentou menor água disponível do que a área cultivada com abacaxi (Quadro 3). Esses resultados confirmam redução de 37,5 e 50,0 % da água disponível em solos da Formação Caiuá em relação à Paranavaí, respectivamente, nas áreas de abacaxi e integração lavoura-pecuária. A importância da disponibilidade de água para as plantas em solos do arenito do noroeste do Paraná foi demonstrada por Fidalski et al. (2008, 2010a), com amplitudes de água disponível inferiores às diferenças entre Formações Caiuá e Paranavaí (Quadro 3).

As curvas de distribuição de poros se diferenciaram entre as duas Formações (Figura 2). Os picos máximos de concentração de poros ocorreram para os raios de 29,36 e 36,70  $\mu\text{m}$ , respectivamente, para as Formações Paranavaí e Caiuá. Os solos derivados da Formação Caiuá apresentaram distribuição de poros com maiores diâmetros, confirmando que os da Formação Caiuá apresentaram maiores diâmetros de poros e menor capacidade de retenção de água (Figuras 1 e 2; Quadros 2 e 3), de acordo com Cirino & Guerra (1994). Pequeno aumento na porosidade desses solos compromete a sua disponibilidade de água e as respostas fisiológicas das plantas de laranjeiras intercaladas com leguminosa (Fidalski et al., 2008).

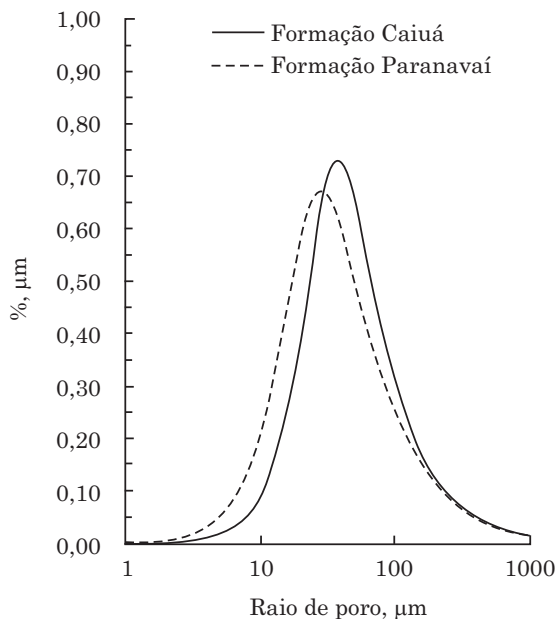
As diferenças entre os solos das duas Formações, caracterizadas pelas curvas de distribuição de poros (Figura 2), permitem explicar a principal causa da limitação física dos solos da Formação Caiuá em não corresponder às expectativas de produção agrícola de soja, forragem e abacaxi, mesmo que tenham sido utilizadas as mesmas práticas conservacionistas de solo (Rêgo, 1997). Uma das alternativas para a assistência técnica e para os agricultores, após a identificação dessas Formações, é atender a aptidão agrícola desses solos (Embrapa, 1984), evitando-se riscos de investimentos de manejo de solo para corrigir limitação intrínseca à constituição granulométrica dos solos da Formação Caiuá.

A confirmação da hipótese de que a fração mais grosseira dos solos da Formação Caiuá diminui a disponibilidade de água deles para as plantas, em razão da maior frequência de poros de maior diâmetro (Quadro 3; Figuras 1 e 2), reiterou o conhecimento empírico de agricultores, da assistência técnica e dos pesquisadores do noroeste do Paraná, quanto as duas Formações caracterizadas por Bigarella & Mazuchowski (1985) e Sallun et al. (2008). Esses

**Quadro 3. Água na capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível nas áreas de integração lavoura-pecuária e abacaxi nas Formações de arenito (Caiuá e Paranavaí), no noroeste do Paraná**

Camada	Capacidade de campo	Ponto de murcha permanente	Água disponível
cm	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		
Integração lavoura-pecuária na Formação Caiuá			
0-10	0,11	0,06	0,05
11-20	0,13	0,06	0,07
21-40	0,14	0,09	0,05
Média <sup>(1)</sup>	0,13 Ba	0,07 Aa	0,06 Bb
Integração lavoura-pecuária na Formação Paranavaí			
0-10	0,22	0,08	0,14
11-20	0,20	0,09	0,11
21-40	0,22	0,09	0,13
Média <sup>(1)</sup>	0,21 Aa	0,09 Aa	0,12 Aa
Abacaxi na Formação Caiuá			
0-10	0,13	0,04	0,09
11-20	0,15	0,04	0,11
21-40	0,13	0,04	0,08
Média <sup>(1)</sup>	0,14 Ba	0,04 Ba	0,10 Ba
Abacaxi na Formação Paranavaí			
0-10	0,22	0,07	0,15
11-20	0,27	0,08	0,19
21-40	0,20	0,07	0,14
Média <sup>(1)</sup>	0,23 Aa	0,07 Ab	0,16 Aa
Caiuá <sup>(1)</sup>	0,14 B	0,06 B	0,08 B
Paranavaí <sup>(1)</sup>	0,22 A	0,08 A	0,14 A

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si as Formações (Caiuá e Paranavaí) e letra minúscula não diferem entre si as áreas (integração lavoura-pecuária ou abacaxi) pelo teste t (p<0,05).



**Figura 2. Curvas de distribuição de poros (0-40 cm) nas Formações de arenito (Caiuá e Paranavaí), no noroeste do Paraná.**

resultados podem contribuir para aprimorar a tomada de decisão do manejo a ser adotado em solos e a aplicação de recursos financeiros em áreas com menores riscos de estresse hídrico para as plantas. Já as áreas de maiores riscos ao estresse hídrico devem ser utilizadas para culturas que atendam a capacidade de uso desses solos, conforme estabelecido pela Embrapa (1984).

A fim de complementar este trabalho, os desvios de precipitações de -50 a -100 mm ocorridos no período que antecedeu as amostragens de solo (abril a setembro de 2010), em relação à média histórica do arenito Caiuá (IAPAR, 2013). A interpretação dos resultados que caracterizaram maiores riscos de deficiência hídrica associada às menores precipitações em 2010, durante o desenvolvimento das culturas de abacaxi, soja e pastagem, acentuou o comprometimento das produções dessas culturas em solos da Formação Caiuá, em relação aos da Paranavaí. Entretanto, em anos agrícolas com distribuição de precipitações mensais próximas às médias históricas, as limitações hídricas entre as duas formações do arenito Caiuá poderão ser amenizadas.

## CONCLUSÕES

1. Os solos da Formação Caiuá têm granulometria mais grosseira, poros de maior diâmetro e menor disponibilidade de água do que os da Formação Paranavaí.

2. Os riscos de deficiência hídrica são maiores em solos da formação Caiuá do que os da Formação Paranavaí.

## LITERATURA CITADA

- AULER, A.P.M.; FIDALSKI, J.; PAVAN, M.A. & NEVES, C.S.V.J. Produção de laranja Pêra em sistemas de preparo do solo e manejo nas entrelinhas. R. Bras. Ci. Solo, 32:363-374, 2008.
- BIGARELLA, J.J. & MAZUCHOWSKI, J.Z. Visão Integrada da problemática da erosão. SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSIÃO, 3., Maringá, 1985. Livro Guia. Curitiba, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1985. 329p.
- CÁSSARO, F.A.M.; BORKOWSKI, A.K.; PIRES, L.F.; COSTA, S.C & ROSA, J.A. Characterization of a Brazilian clayey soil submitted to conventional and no-tillage management practices using pore size distribution analysis. Soil Till. Res., 111:175-179, 2011.
- CAVALIERI, K.M.V.; TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A. & COSTA, A.C.S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. R. Bras. Ci. Solo, 30:137-147, 2006.
- CIRINO, C.G. & GUERRA, H.O.C. Utilização das relações energia/umidade na caracterização físico-hídrica dos solos. Pesq. Agropec. Bras., 29:1973-1978, 1994.
- CLAESSEN, M.E.E., org. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Documentos, 1)
- COSTA, M.A.T.; TORMENA, C.A.; LUGÃO, S.M.B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W.G. & MEDEIROS, F.M. Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. R. Bras. Ci. Solo, 36:993-1004, 2012.
- DECAGON DEVICES. WP4 Dewpoint Potentiometer: for models WP4 and WP4-T operator's manual version 5. Disponível em: <<http://www.decagon.com/assets/Manuals/Inside-Pages-WP4.pdf>>. Acesso em: 6 fev. 2008.
- EIJKELKAMP. T5 Miniature Pressure Transducer Tensiometer. Disponível em: <<http://pkd.eijkelkamp.com/Portals/2/Eijkelkamp/Files/Manuals/M1-14041002e%20Tensior%20T5.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná. Londrina, Embrapa-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. v. 1/2, 791p.
- FIDALSKI, J. Fertilidade do solo sob pastagens, lavouras anuais e permanentes na região noroeste do Paraná. R. Unimar, 19:853-861, 1997.
- FIDALSKI, J. Respostas da mandioca à adubação NPK e calagem em solos arenosos do noroeste do Paraná. Pesq. Agropec. Bras., 34:1353-1359, 1999.
- FIDALSKI, J. & TORMENA, C.A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. R. Bras. Ci. Solo, 29:235-247, 2005.
- FIDALSKI, J. & TORMENA, C.A. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração em sistemas de manejo com plantas de cobertura permanente em citros. Ci. Rural, 37:1316-1322, 2007.
- FIDALSKI, J.; MARUR, C.J. & TORMENA, C.A. Respostas fisiológicas da laranjeira 'Pêra' aos sistemas de manejo de cobertura permanente do solo nas entrelinhas. R. Bras. Ci. Solo, 32:1307-1317, 2008.
- FIDALSKI, J. & CHAVES, J.C.D. Response of Iapar-59 coffee (*Coffea arabica* L.) to surface application of organic residues in a Typic Haplorthox. Coffee Sci., 5:75-86, 2010.
- FIDALSKI, J.; AULER, P.A.M.; BERALDO, J.M.G.; MARUR, C.J.; BARBOSA, G.M.C. & FARIA, R.T. Availability soil water under tillage systems, mulching management and citrus rootstocks. R. Bras. Ci. Solo, 34:917-924, 2010a.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A. & SILVA, Á.P. Least limiting water range and physical quality of soil under groundcover management systems in citrus. Sci. Agric., 67:448-453, 2010b.
- CAVIGLIONE, J.H.; KILHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. & PUGSLEY, L. Cartas climáticas do Paraná: Edição ano 2000, versão 1.0. Londrina, IAPAR, 2000. CD ROM
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. Desvio da precipitação mensal. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=984>>. Acesso em 15 fev. 2013.
- KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 26:857-867, 2002.
- KLEIN, V.A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T. & MARCOLIN, C.D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. Ci. Rural, 40:1550-1556, 2010.
- LIBARDI, P.L. Água no solo. In: van LIER, Q.J., ed. Física do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.103-152.
- MACHADO, J.L.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J. & SCAPIM, C.A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. R. Bras. Ci. Solo, 32:495-502, 2008.



- RÊGO, I.C. Calagem e gessagem num Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com laranjeira Pêra sobre limoeiro Cravo. Piracicaba, Universidade de São Paulo, CENA/USP, 1997. 94p. (Tese de Doutorado)
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. R. Bras. Ci. Solo, 12:211-216, 1988.
- SÁ, J.P.G. & CAVIGLIONE, J.H. Arenito Caiuá: Capacidade de lotação das pastagens. Londrina, IAPAR, 1999. 15p. (Informe da Pesquisa, 132)
- SALLUN, A.E.M.; SUGUIO, K. & AZEVEDO SOBRINHO, J.M. Sedimentologia da Aloformação Paranavaí, Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraná (SP, PR e MS). Pesq. Geoci., 35:85-107, 2008.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F. & CUNHA, T.J.F., ed. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- SARMENTO, P.; RODRIGUES, L.R.A.; LUGÃO, S.M.B.; CRUZ, M.C.P.; CAMPOS, F.P.; FERREIRA, M.E. & OLIVEIRA, R.F. Sistema radicular do *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio adubado com nitrogênio e submetido à lotação rotacionada. R. Bras. Zootec., 37:27-34, 2008.
- SCHLOTZHAUER, S.R. & LITTELL, R.C. SAS® System for elementary statistical analysis. 2.ed. Cary, SAS Institute, 1997. 456p.
- van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898, 1980.