Aplicação de Sonda Capacitiva Diviner 2000® e de Neutrons para Monitoramento da Umidade do Solo na Bacia Experimental do Riacho Jatobá – PE.

Rogério Oliveira de Melo[1], Abelardo Antônio de Assunção Montenegro[2], Paula Renata Muniz Araújo[3], Edivaldo Ferreira da Silva[4].

RESUMO --- A determinação do teor de água no solo é de fundamental importância para a tomada de decisão quanto ao gerenciamento de práticas agrícolas, ou na análise dos fenômenos relacionados a esse parâmetro, como a infiltração, o armazenamento e o escoamento superficial. A utilização de sondas capacitivas para determinação da umidade do solo tem se difundido pela sua eficiência e rapidez nas determinações. O objetivo desse trabalho é apresentar os procedimentos para realizar a calibração da sonda capacitiva Diviner 2000® e da sonda de nêutrons para monitoramento da umidade na bacia hidrográfica do riacho Jatobá, município de Pesqueira – PE, e comparar a relação entre os valores obtidos pelas diferentes metodologias. Os resultados mostram que a calibração para a sonda Diviner 2000® realizada em campo apresentou comportamento semelhante à proposta pelo fabricante do equipamento. O coeficiente de determinação entre os valores de freqüência relativa e umidade variaram entre R^2 = 0,9117 e R^2 = 0,9847 entre as camadas avaliadas. Os valores de umidade determinados pelos diferentes métodos apresentaram boa correlação entre si, com R^2 = 0,904.

ABSTRACT --- The determination of water content in soil is crucial for decision making regarding the management of agricultural practices, or analysis of the phenomena related to this parameter, like infiltration, storage and runoff. The use of capacitive probes for determination of soil moisture has become widespread for its efficiency and quick determinations. The objective of this paper is to present the procedures to calibrate the capacitive probe and Diviner 2000 ® and neutron probe for monitoring moisture in the watershed of the Jatobá rivulet, Pesqueira - PE, and compare the relationship between the values obtained by different methodologies. The results show that the calibration for the Diviner 2000® probe made in the field showed a pattern similar to that proposed by the equipment manufacturer. The determination between the frequency values and relative humidity ranged from R^2 = 0.9117 and R^2 = 0.9847 between the layers evaluated. The moisture values determined by different methods showed good correlation between them, with R^2 = 0.904.

Palavras-chave: umidade do solo, calibração de sonda capacitiva, sonda de nêutrons.

1) Doutorando do Curso de Pós-Gradação em Engenharia Agrícola, Bolsista FACEPE, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, e-mail: agrorom@hotmail.com
2) Professor Associado, UFRPE, DTR, Bairro Dois Irmãos, Recife, PE, CEP 52171-900. e-mail: abelardo.montenegro@yahoo.com.br
3) Graduanda do curso de Agronomia da UFRPE, bolsista CNPq. e-mail: paula_agronomia11@hotmail.com
4) Bolsista de apoio técnico CNPq. e-mail:. edivaldopesqueira@gmail.com

1 - INTRODUÇÃO

Segundo Medeiros *et al.* (2007), o conteúdo de água no solo tem grande influência em diversos processos hidrológicos: afeta a partição da precipitação em infiltração e escoamento superficial; está diretamente relacionado com a disponibilidade de água para as plantas, controlando a evapotranspiração; e influi nos processos de erosão e carreamento de solutos, uma vez que determina o padrão de vazões. Portanto, o conhecimento e a análise, no tempo e no espaço, do conteúdo de água no solo tornam-se necessários para melhor entendimento dos processos hidrológicos, ecológicos e biogeoquímicos em uma bacia hidrológica.

Vários fatores influem na variabilidade do conteúdo de água no solo: topografia, propriedades do solo, tipo e densidade da vegetação, conteúdo de água médio, profundidade do lençol freático, precipitação, radiação solar e outros fatores meteorológicos.

Souza & Matsura (2002) citam que os seguintes métodos têm sido utilizados para quantificar a umidade do solo: a) diretos – gravimétrico, considerado como método padrão; e b) indiretos – sonda de nêutrons, resistência elétrica e Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR). Além desses, o uso de equipamentos baseados na Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR) tem aumentado ao longo dos anos já que, depois de instalados os tubos de acesso e realizada a calibração do equipamento, são de leitura rápida e não destrutivos, o que permite, por exemplo, monitorar o conteúdo de água no solo em função do tempo, em uma determinada faixa de profundidade para, posteriormente, possibilitando calcular a variação de armazenamento de água no solo, por exemplo em estudos relacionados ao balanço hídrico de uma cultura.

Para Andrade *et al.* (2001), as principais vantagens da utilização da sonda de nêutrons na determinação da umidade do solo ainda são: permitir a obtenção de valores de umidade do solo no mesmo ponto e a qualquer tempo sem deformar o solo, ser rápido e preciso, apresentando a possibilidade de alta periodicidade de medição, ser de fácil manejo e relativamente barato, e poder ser conectado a registradores, possibilitando leituras contínuas no campo.

O princípio da metodologia de determinação da umidade do solo com sonda de nêutrons consiste, segundo Guerra (2000), em se colocar uma fonte radioativa a uma profundidade desejada no solo (através de um tubo de acesso, de aço, alumínio ou PVC, inserido verticalmente no solo), em que os nêutrons rápidos são emitidos, penetrando radialmente no solo, onde se encontram vários núcleos atômicos com os quais colidem elasticamente, perdendo energia cinética. Esta perda é máxima quando o nêutron colide com uma partícula de massa similar à sua. Na prática, tem-se encontrado que a moderação de nêutrons rápidos no solo é proporcional ao conteúdo de hidrogênio (com núcleos de massa similar aos nêutrons). Assim, quando os nêutrons rápidos colidem com os núcleos de hidrogênio da água do solo, esses nêutrons perdem sua energia formando, ao redor da

fonte radioativa, uma nuvem de nêutrons moderados (ou termalizados), os quais são captados pelo detector, geralmente constituído de BF_3 (Trifluoreto de boro). Dessa forma, quando um nêutron moderado ou lento encontra B e é absorvido, uma partícula de He é emitida, criando um pulso elétrico. Este pulso, por sua vez, é enviado, através de um cabo, ao medidor, onde uma leitura é registrada. Quanto mais hidrogênio no solo (mais água), mais nêutrons rápidos são moderados, e maior o número de pulsos enviados ao medidor, sendo maior a leitura.

Os sensores capacitivos utilizados, para monitorar a umidade no solo, trabalham com base na variação da capacitância elétrica do sensor, de acordo com a variação da quantidade de água presente no substrato analisado (Borim & Pinto, 2006).

Essas sondas vêm sendo crescentemente utilizadas para auxiliar no monitoramento da água do solo e/ou manejo de irrigação e apresentam, como principais vantagens, segurança ao operador em virtude de não estar próximo à fonte radioativa, como as sondas de nêutrons; o fornecimento de leituras rápidas e precisas em profundidade; facilidade de operação e permitem, ainda, o acoplamento em sistemas automáticos de coleta de dados (Gardner *et al.* 1991).

A sonda é constituída de um par de eletrodos que funciona como um capacitor eletrônico; quando ativado, a matriz solo-água-ar forma o meio dielétrico (isolante) do capacitor. Desde que a área dos eletrodos e a distância entre eles são fixas na sonda, a capacitância aumenta consideravelmente com um aumento no número de moléculas de água livres, e com seus dipolos respondendo ao campo elétrico criado pelo capacitor (SENTEK, 2000).

A utilização desses equipamentos tem-se difundido entre as pesquisas de dinâmica de umidade pela sua praticidade de utilização, velocidade na obtenção dos resultados e pelo detalhamento do teor de água no perfil do solo (Araújo et al., 2009; Petillo & Castel, 2007); Souza (2006)). Diante disso, cada vez mais a eficiência da utilização de sondas capacitivas tem sido testada frente aos resultados obtidos por metodologias mais difundidas como a sonda de nêutrons (Vera *et al.*, 2009; Evett *et al.*, 2009). Segundo Evett *et al.* (2002), a medição do conteúdo de água do solo, hoje em dia, é uma tarefa menos tediosa porque métodos novos incluem a aquisição automática de dados.

Desse modo, o objetivo deste estudo foi o de apresentar o desenvolvimento das curvas de calibração para a sonda capacitiva Diviner 2000 e de Nêutrons; Avaliar se há correlação entre os valores de umidade do solo determinados utilizando ambos equipamentos e apresentar o comportamento da umidade do solo em um ponto de monitoramento na bacia hidrográfica do Riacho Jatobá, município de Pesqueira – PE.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 – Área de Estudo

O presente trabalho vem sendo desenvolvido na bacia experimental do Jatobá (Figura 1), município de Pesqueira, Agreste de Pernambuco, onde estudos hidrológicos têm sido desenvolvidos pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, dentre eles procurando-se alternativas eficientes de determinação de umidade do solo para caracterização de sua dinâmica espaço temporal e aplicação em práticas de conservação do solo e água (Santos *et al.*, 2008; Silva et al., 2010; Santos, 2010). A microbacia possui uma área de 13,50 km² e um perímetro de 16 km, resultando em um coeficiente de compacidade igual a 1,22. O rio principal que percorre a bacia possui 6,5 km de extensão com densidade de drenagem na ordem de 1,03 (Santos et al., 2006).

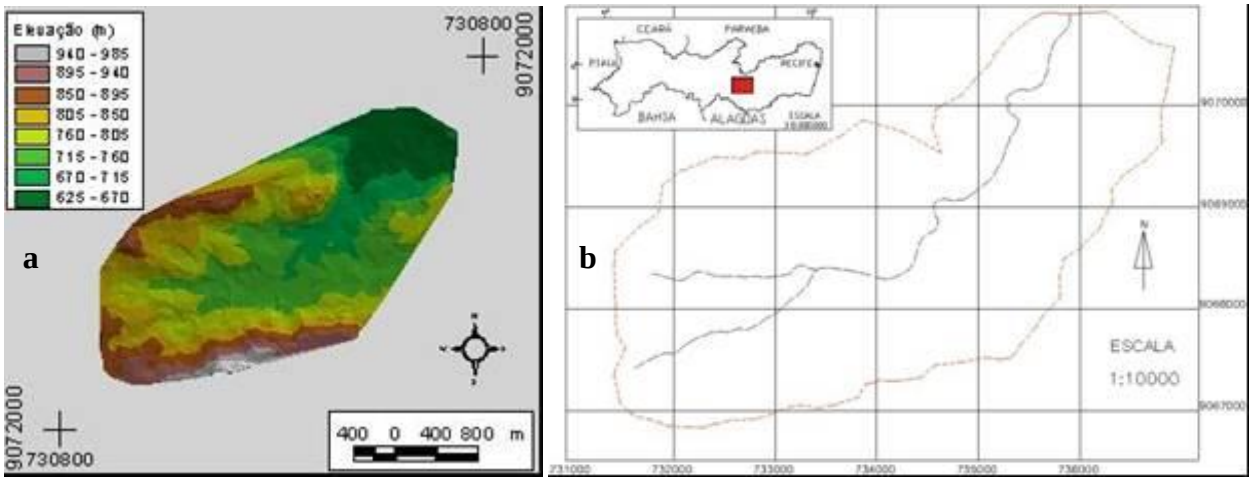


Figura 1. Modelo Digital de Elevação (a) e localização (b) da Bacia Experimental do Jatobá.

A vegetação predominante é a caatinga hipoxerófila, cactáceas e bromeliáceas (Montenegro *et al.*, 2004). Os principais solos presentes são Argissolo Amarelo, Neossolo Litólico, Neossolo Regolítico, Planossolo.

2.2 – Instalação dos tubos nos pontos de monitoramento

Tubos de acesso para as sondas de Nêutrons e Diviner – 2000® foram instalados aos pares (Figura 2), próximos entre si para avaliar a eficiência dos resultados entre as diferentes metodologias, ao longo da Bacia do Jatobá. A escolha do local de instalação dos tubos foi feita obedecendo aos seguintes critérios: procurar amostrar a maior área possível da bacia; amostrar situações distintas de solo, relevo e vegetação, além de manter condições mínimas de facilidade quanto ao acesso durante as campanhas. Ao todo foram instalados 18 pares de tubos de acesso

(Figura 3). Na figura 3 esta indicada a localização do ponto escolhido para analise da calibração instrumental desenvolvida nesse estudo.

Figura 2. Tubos de acesso para sonda de Nêutrons e Diviner – 2000® instalados em um ponto de monitoramento da Bacia Hidrográfica do Jatobá.

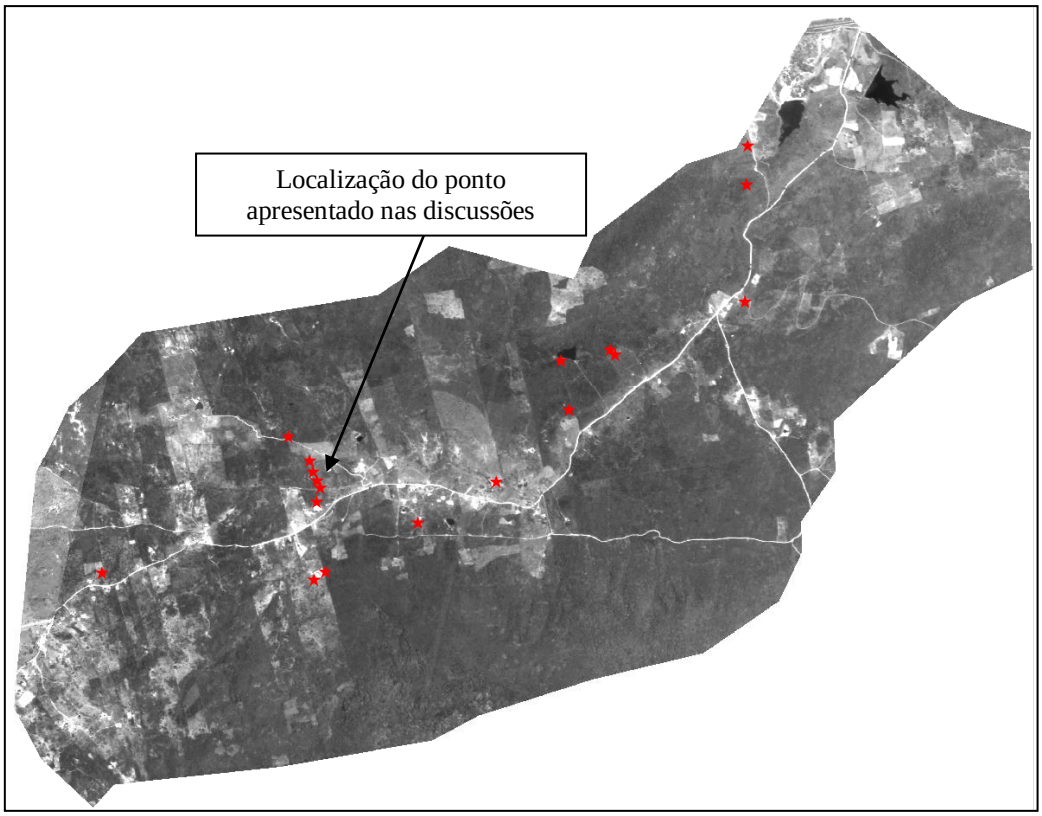


Figura 3. Imagem do satélite CBERS 2B com a localização dos 18 pontos de monitoramento da umidade do solo na bacia hidrográfica do Riacho Jatobá.

2.3. Monitoramento da umidade e amostragem do solo.

As campanhas para coleta de amostras de solo para determinação da umidade gravimétrica vêm sendo realizadas juntamente com as campanhas de monitoramento de umidade nos pontos, por ocasião dos eventos de chuva na região, com a intenção de amostrar situações distintas de conteúdo de umidade, contemplando para os pontos de calibração condição de alta e baixa de umidade, de acordo com o recomendado pelo fabricante (SENTEK, 2001) citado em Andrade Júnior *et al.* (2007) e Silva *et al.* (2007), para realizar a calibração.

Durante o monitoramento, o tempo de contagem utilizado nas medições com a sonda de nêutrons é de 30 segundos, de acordo com o proposto por Andrade *et al.* (2001). As profundidades avaliadas são variáveis, obedecendo ao limite máximo no qual se conseguiu instalar os tubos de acesso em cada ponto da encosta (devido ao impedimento rochoso raso), porém, o intervalo de leitura no perfil do solo é de 10 cm e 20 cm para a Diviner – 2000® e sonda de nêutrons, respectivamente.

Imediatamente após a realização das leituras, foram conduzidas as coletas do solo para as determinações da umidade gravimétrica e densidade; para isso, são retiradas amostras deformadas de solo a cada 0,1 m de profundidade adjacente aos tubos (20 cm de distância), colocadas em sacos plásticos e fechadas. Para determinar a densidade do solo, amostras indeformadas foram coletadas, por camada, com anéis volumétricos (50 mm de altura por 58 mm de diâmetro) também próximos aos tubos. As amostras foram então pesadas (± 0,01 g), secas em estufa (105 °C) e pesadas novamente, após 48 h. A umidade volumétrica ($cm^3\ cm^{-3}$) em cada camada de solo foi determinada multiplicando-se a umidade gravimétrica pela densidade do solo ($g\ cm^{-3}$).

Com as informações de umidade volumétrica, foram geradas curvas de calibração. Para a sonda de nêutrons foi utilizada a Contagem Relativa (CR) e ajuste ao modelo linear, já para a sonda capacitiva, os dados de umidade foram correlacionados com a Frequência Relativa (FR) e o modelo utilizado foi o exponencial, segundo orientação do fabricante.

Na área da bacia experimental estão instalados três pluviômetros automáticos, modelo TB4-L Rain Gauge da Campbell Scientific, com resolução de 0,254 mm, e um pluviômetro manual modelo Ville de Paris. Os aparelhos automáticos são equipados com um datalogger, programado para registrar a precipitação a cada 5 minutos durante o evento de chuva. Essas informações são utilizadas na investigação do comportamento da umidade nos pontos por ocasião do monitoramento. Todos os aparelhos estão localizados a montante do açude Nossa Senhora de Fátima (açude principal próximo ao exutório da bacia)

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

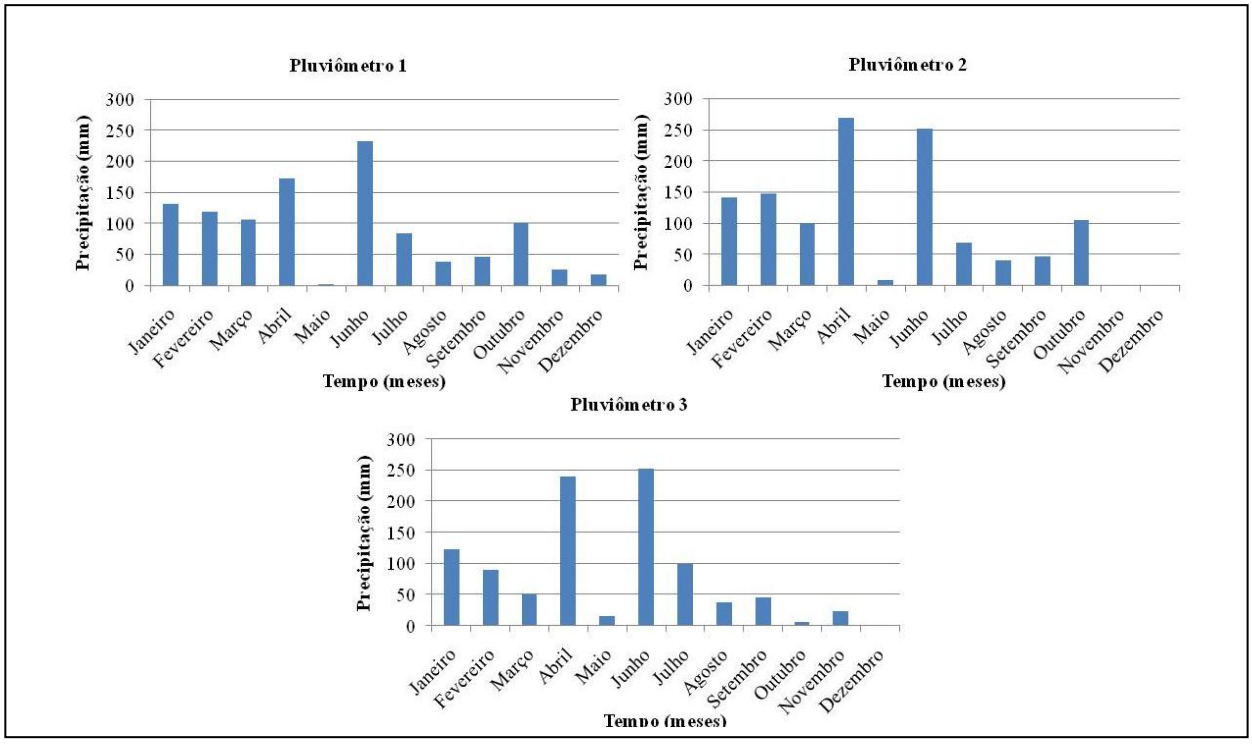
3.1 - Dados Pluviométricos

Na Tabela 1 são apresentas as localizações em coordenadas dos pluviômetros automáticos modelo TB4-L *Rain Gage* da *Campbell Scientific* instalados na bacia e o período de coleta dos dados de precipitação apresentados.

Tabela 1 – Descrição dos pluviômetros automáticos instalados na Bacia Hidrográfica do Jatobá.

Nome	Longitude	Latitude	Período
Pluviômetro 1	36º 53’ 43’’	08º 25’ 38’’	2010
Pluviômetro 2	36º 53’ 42”	08º 25’ 43”	2010
Pluviômetro 3	36º 51’ 46”	08º 24’ 49”	2010

Nas Figuras 4, 5 e 6 são apresentadas as distribuições temporais das precipitações no ano de 2010. Para todo o ano a precipitação total foi de 1074,56 mm, 1178,07 mm e 976,64 mm para os pluviômetros 1, 2 e 3 respectivamente, o que demonstra haver pouca variação nos totais anuais ao longo da bacia. É possível observar (Quadro 1) que as chuvas apresentaram comportamento mais distribuído ao longo do ano, com ocorrências de janeiro a novembro, sendo os meses de maior índice pluviométrico abril (o que corrobora o comportamento descrito por Santos (2010) na mesma área) e junho. Nesses dois meses ocorreram 37,66 % da precipitação total do ano registrado no pluviômetro 1; 44,24 % do registrado no pluviômetro 2 e 50,30 % no pluviômetro 3.



Figuras 4, 5 e 6. Distribuições temporais das precipitações mensais nos pluviômetros automáticos, para o ano de 2010.

Quadro 1. Precipitação acumulada quinzenalmente para o ano de 2010, registrada nos três pluviômetros automáticos instalados na bacia hidrográfica do Jatobá.

	Precipitação (mm)											
	Jan		**Fev**		**Mar**		**Abr**		**Mai**		**Jun**	
Pluv 1	118,7	13,1	67,2	51,2	0,0	105,7	153,7	18,0	0,1	1,7	43,8	189,1
Pluv 2	130,0	11,2	74,9	72,9	0,0	100,1	224,3	44,7	5,6	3,6	68,3	183,9
Pluv 3	107,4	15,0	59,4	29,5	0,0	49,8	197,1	42,4	12,7	2,3	57,4	194,3
	Jul		**Ago**		**Set**		**Out**		**Nov**		**Dez**	
Pluv 1	29,3	54,0	23,7	14,4	42,8	3,0	0,0	101,6	13,7	11,4	0,0	18,3
Pluv 2	23,1	44,7	22,6	17,0	44,5	2,0	0,0	104,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Pluv 3	35,6	63,3	24,9	11,7	41,2	4,1	0,0	5,1	0,0	22,6	0,0	1,0

3.2 – Curvas de Calibração

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes a e b das equações de calibração da sonda Diviner 2000®, e valores mínimos e máximos de umidade volumétrica calculados, para as camadas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 cm de profundidade, de um dos pontos de monitoramento de umidade na bacia hidrográfica. Na tabela 3 são apresentados os coeficientes da curva de calibração, para a sonda de nêutrons, geradas para o mesmo ponto de monitoramento nas camadas 20, 40, 60 e 80 cm de profundidade.

Tabela 2. Equações obtidas para a calibração da sonda de capacitância Diviner 2000® em diferentes profundidades no perfil do solo, em um ponto da bacia.

Profundidade (cm)	**a**	**b**	**R^2**	**N**	**Umidade**	
					Mínima	**Máxima**
0 - 10	0,3899	2,6122	0,9659	4	0,050	0,143
10 - 20	0,3618	2,4294	0,9395	5	0,082	0,166
20 - 30	0,4851	2,1663	0,9117	6	0,094	0,162
30 - 40	2,2364	3,4232	0,9344	5	0,073	0,172
40 - 50	2,438	3,9034	0,9847	4	0,080	0,180
50 - 60	2,1565	3,1531	0,9784	4	0,088	0,191

Os coeficientes a e b são da calibração $\theta v = aFR^b$, em que FR, θv e N são a freqüência relativa, umidade volumétrica ($cm^3\ cm^{-3}$) e número de amostras usada por análise, respectivamente.

Tabela 3. Equações obtidas para a calibração da sonda de nêutrons em diferentes profundidades no perfil do solo.

Profundidade (cm)	**a**	**b**	**R^2**	**N**	**Umidade**	
					Mínima	**Máxima**
0 - 20	0,3893	-0,0268	0,9887	4	0,054	0,144
20 - 40	0,5192	-0,0757	0,9976	4	0,073	0,164
40 - 60	0,5779	-0,0822	0,9463	4	0,088	0,185
60 - 80	0,4346	-0,0375	0,9534	4	0,112	0,185

Os coeficientes a e b são da calibração $\theta v = aCR+b$, em que CR, θv e N são a contagem relativa, umidade volumétrica ($cm^3\ cm^{-3}$) e número de amostras usada por análise, respectivamente.

Com o objetivo de comparar a calibração da sonda capacitiva Diviner 2000® obtida em campo com a fornecida pelo fabricante e as encontradas em outros trabalhos (Morgan *et al*., 1999 e Fares *et al*., 2004), foram utilizadas as equações sugeridas pelos autores, desenvolvidas para um e construídas as curvas com as leituras de FR obtidas durante as campanhas de monitoramento (para a profundidade 0 – 10 cm desse mesmo ponto) e a umidade estimada por cada equação (Tabela 3).

Tabela 3. Diferentes equações de calibração da sonda de capacitância Diviner 2000®, e coeficiente de determinação (R^2).

Informações	Equação	R^2
Calibração local	$\theta v = 0{,}3899\ FR^{2{,}6122}$	0,97
Calibração do fabricante	$\theta v = 0{,}494\ FR^{3{,}017}$	0,99
Morgan et al. (1999)	$\theta v = 0{,}451\ FR^{2{,}121}$	0,83
Fares et al. (2004)	$\theta v = 0{,}440\ FR^{1{,}549} - 0{,}040$	0,88

FR e θv são frequência relativa e umidade volumétrica do solo ($cm^3\ cm^{-3}$), respectivamente.

Nota-se (Figura 7) que as curvas de Morgan et al. (1999) e Fares et al. (2004) foram similares e superestimaram a umidade volumétrica em relação à calibração local em 50,02% e 55,69%, respectivamente. Entretanto, a calibração sugerida pelo fabricante foi muito próxima da obtida em campo para este solo.

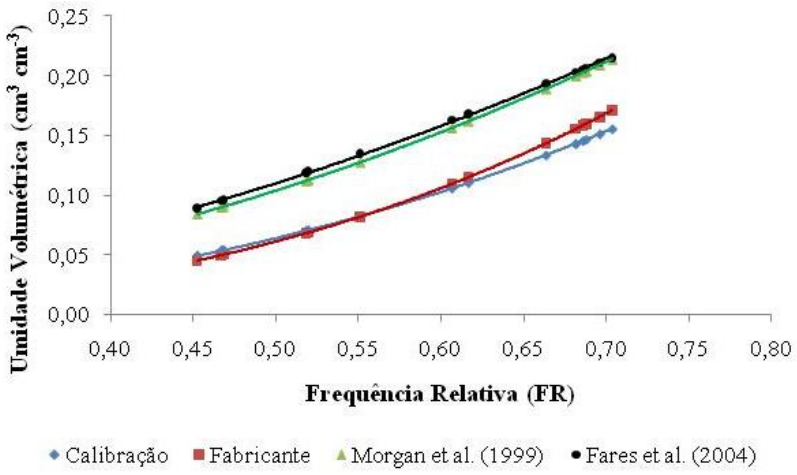


Figura 7. Comparação entre as curvas de calibração para Diviner 2000® na determinação do teor de umidade do solo.

Essas mesmas tendências foram observadas por Andrade Júnior *et al.* (2007), Silva *et al.* (2007) e Silva *et al.(* 2006), onde comentam que esta proximidade pode ser explicada pelo fato de o fabricante ter usado em sua calibração dados obtidos de solos arenosos, muito semelhantes, em termos de retenção de água, como o solo testado nos seus estudos. A calibração realizada por Fares

et al. (2004) também foi obtida em um solo arenoso, porém com menor capacidade de retenção de água, ao passo que a de Morgan et al. (1999) foi feita para um solo argiloso. Diante disso, a comportamento semelhante entre os resultados obtidos pela calibração realizada em campo no perfil de solo avaliado nesse estudo, e a fornecida pelo fabricante, além da divergência entre as propostas por Fares et al. (2004) e Morgan et al. (1999), podem ser explicadas em função da composição granulométrica (Tabela 4).

Tabela 4. Composição granulométrica do perfil de solo em um ponto de monitoramento de umidade na bacia do Jatobá.

Profundidade (cm)	**Textura (g kg^{-1})**				**Classificação Textural**
	Areia Grossa	**Areia Fina**	**Silte**	**Argila**	
0 - 20	430,0	228,2	169,8	172,0	Franco arenoso
20 - 40	386,0	217,4	164,6	232,0	Franco Argilo Arenoso
40 - 60	369,0	202,0	171,4	257,6	Franco Argilo Arenoso
60 - 80	374,8	192,8	180,4	252,0	Franco Argilo Arenoso

3.3 – Comparação entre as umidades

A Figura 8 apresenta a comparação direta entra os valores de umidade determinados pelos dois métodos. A análise da regressão entre a umidade volumétrica do solo obtida pela Diviner 2000® e a sonda de nêutrons estabeleceu a seguinte relação: $\theta v_{\text{Diviner}} = 0{,}9703\theta v_{\text{snd neutrôns}} - 0{,}0091$, com um coeficiente de determinação de $R^2 = 0{,}904$. Esse resultado foi obtido relacionando valores de umidade da Diviner na camada 10 – 20 cm com da sonda de nêutrons na camada 0 – 20 cm, e Diviner na camada 20 – 30 cm com da sonda de nêutrons de 20 – 40 cm, utilizando 30 pares de pontos correspondentes a campanhas de monitoramento de umidade realizadas de 22/06/2010 a 13/05/2011. Vera et al. (2009), avaliando a correlação entre os valores de umidade determinados por sonda capacitiva e de nêutrons, encontraram um coeficiente de determinação de $R^2 = 0{,}99$.

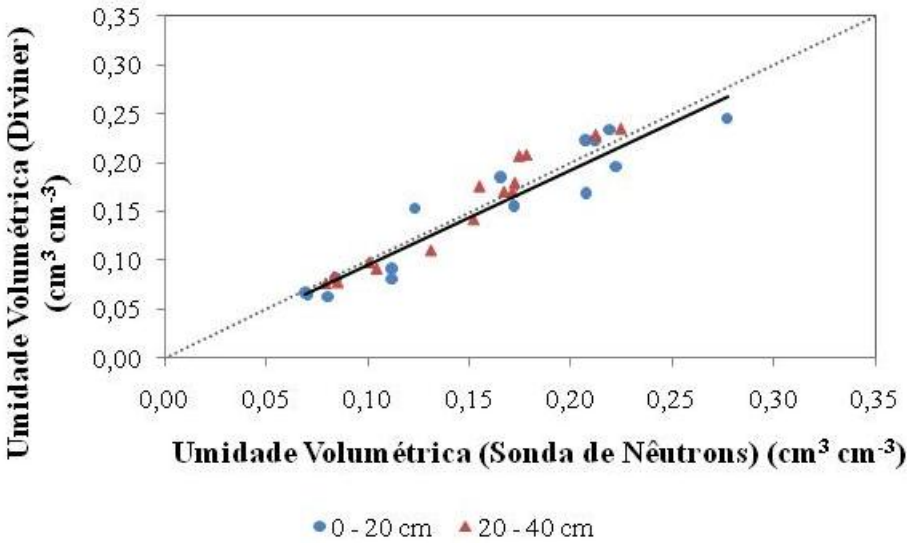


Figura 8. Correlação entre os valores de umidade volumétrica do solo determinados com a capacitiva Diviner 2000® e sonda de nêutrons. A linha pontilhada é a relação 1:1.

3.4 – Comportamento da umidade

Nas Figuras 9 e 10 apresenta-se o comportamento temporal detalhado da umidade para o perfil de solo no período de 23/06/2010 a 15/05/2011. Observa-se que o comportamento do teor de umidade do solo na camada superficial é mais sensível por ocasião de ocorrência dos eventos de precipitação e durante o período de estiagem entre dois eventos. O teor de umidade nessa camada também apresenta valores menores quando comparados aos encontrados nas camadas mais profundas do perfil do solo. Essa manutenção dos valores mais elevados nessas camadas pode ser explicada pela menor predisposição à perda de umidade para a atmosfera, bem como pela presença do impedimento rochoso o que gera um impedimento à drenagem.

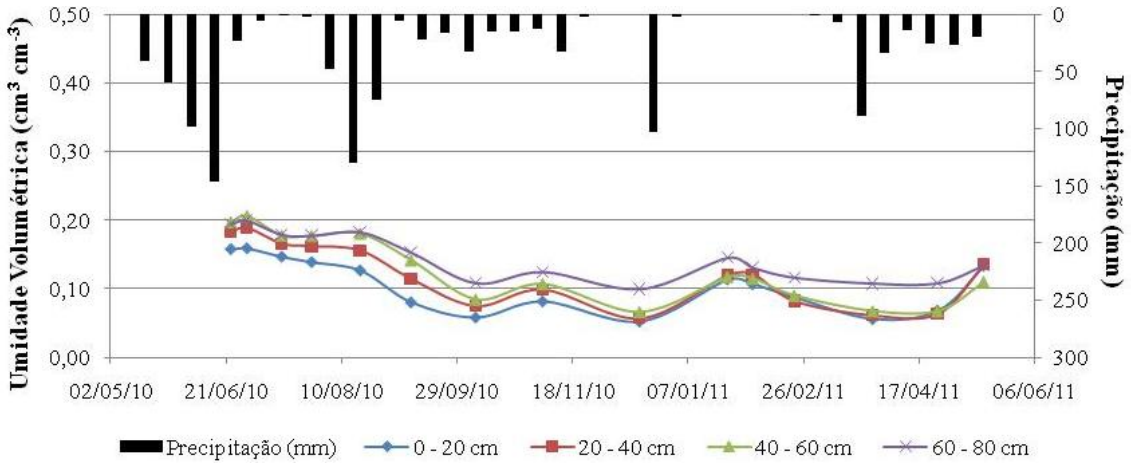


Figura 9. Distribuição da umidade detalhada no perfil do solo, para o período de 23/06/2010 a 15/05/2011, em resposta aos eventos de precipitação, determinada com a utilização da sonda de nêutrons.

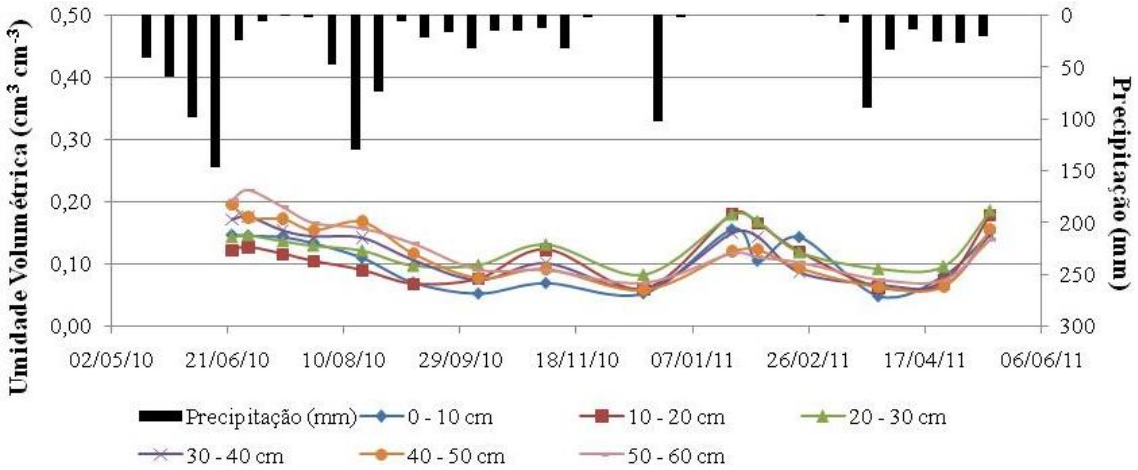


Figura 10. Distribuição da umidade detalhada no perfil do solo, para o período de 23/06/2010 a 15/05/2011, em resposta aos eventos de precipitação, determinada com a utilização da sonda capacitiva Diviner 2000®.

4 – CONCLUSÕES

A precipitação na bacia hidrográfica do Jatobá para o ano de 2010 apresentou maiores valores acumulados nos meses de abril e junho.

A curva de calibração proposta pelo fabricante da sonda capacitiva Diviner 2000® apresenta comportamento semelhante à desenvolvida em campo.

Os valores de umidade volumétrica determinados pelos dois métodos apresentam boa correlação, R^2=0,904, para o conjunto de valores amostrados no período.

As curvas de calibração para a sonda de nêutrons apresentaram alta correlação entre a contagem relativa e os valores de umidade, variando entre R^2=0,9463 e R^2 = 0,9976 entre as camadas no perfil de solo.

As camadas subsuperficiais do perfil de solo avaliado apresentam maiores valores de umidade volumétrica.

5 – AGRADECIMENTOS

Ao CT-Hidro/CNPq e À FINEP (Projeto Bacias Experimentais e Representativas - BEER), Órgão financiador do projeto.

BIBLIOGRAFIA

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, C. R.; DANIEL, R. (2007) *Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latossolo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense*. Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife, v.2, n.4, p.303-307.

ANDRADE, A. R. S.; JADOSKI, S. O.; GUERRA, H. C.; GUERRINI, I. A. (2001). *Influência do tempo de contagem na determinação da densidade de nêutrons.* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5 (3), pp. 411 - 415.

ARAUJO, D. L.; CHAVES, L. H. G.; MESQUITA, E. F.; FRANÇA, C. P. (2009). *Crescimento da Mamoneira Cultivar BRS-149 Nordestina Adubada com Nitrogênio, Fósforo e Potássio.* Engenharia Ambiental, v. 6 (3), pp. 685-702.

BORIM, A. C. A.; PINTO, C. A. R. (2006). *Medição de umidade no solo através de sensores capacitivos.* Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, v. 1 (1), pp. 51 – 60.

EVETT, S.R., RUTHARDT, B., KOTTKAMP, S., HOWELL, T., SCHENEIDER, A., TOLK, J. (2002). *Accuracy and precision of soil water measurements by neutron, capacitance, and TDR methods.* In: Proceedings of the 17th Water Conservation Soil Society Symposium, Thailand.

EVETT, S. R.; SCHWARTZ, R. C.; TOLK, J. A.; HOWELL, T. A. (2009). *Soil Profile Water Content Determination: Spatiotemporal Variability of Electromagnetic and Neutron Probe Sensors in Access Tubes.* Vadose Zone Journal. Vol. 8, No. 4, November.

FARES, A.; BUSS, P.; DALTON, M.; EL-KADI, A.I.; PARSONS, L.R. *Dual field calibration of capacitance and neutron soil water sensors in a shrinking-swelling clay soil.* Valdose Zone Journal, v.4, p.1390-1399, 2004.

GARDNER, C. M. K.; BELL, J. P.; COOPER, J. D.; DEAN, T. J.; HODNETT, M. G.; GARDNER, N. (1991). *Soil water content, in: Soil analysis: Physical methods.* Org. por Smith, R. A.; Mullings, C.E. New York: Marcel Dekker, cap.1, pp. 1 - 73.

GUERRA, H. O. C. (2000). *Física dos solos*. 1ª ed. UFPB Campina Grande - PB, 173p.

MEDEIROS, J. D. F.; GOLDENFUM, J. A.; CLARKE, R. T. (2007). *Variabilidade Espacial do Conteúdo de Água no Solo numa Pequena Bacia Rural: 1. Análise dos Fatores Ambientais*, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12 (1), pp. 29 - 41.

MONTENEGRO, A. A. A.; NASCIMENTO, J.; CORREA, M. M.; SILVA, V. P.; MOURA, R. F.; RIBEIRO, M. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, T. E. M. (2004). *Implantação e Monitoramento da Bacia Experimental do Riacho Jatobá.* In: Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. São Luis, Anais..., 2004.

MORGAN, K.T.; PARSONS, L.R.; WHEATON, T.A.; PITTS, D.J.; OBREZA, T.A. Field *calibration of a capacitance water content probe in fine sand soils.* Soil Science Society of America Journal, Madison, v.63, p.987-989, 1999.

PETILLO, M. G.; CASTEL. J. R. (2007). *Water balance and crop coefficient estimation of a citrus orchard in Uruguay*. Spanish Journal of Agricultural Research. v .5 (2), pp. 232 - 243.

SANTOS, T. E. M. (2010). *Dinâmica Espacial e Temporal de Umidade em Bacia Experimental no Semiárido Pernambucano.* Tese de doutorado UFRPE. Recife – PE, 86p.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, J. R. L.; PONCIANO, I. M. (2009). *Avaliação da umidade do solo sob diferentes condições de cobertura vegetal no semiárido de Pernambuco – Brasil*. In: Anais do 9º SILUSBA - Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Angola.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA JÚNIOR, V. P. (2008) Erosão *Hídrica e Perda de Carbono Orgânico em Diferentes Tipos de Cobertura do Solo no Semi-Árido, em Condições de Chuva Simulada.* RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 13 n.2, pp. 113-125.

SANTOS, T. E. M.; SILVA, J. R. L.; ANDRADE, T. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA JÚNIOR, V. P.; SANTOS, E. S. (2006). "*Índice de erosividade (EI_{30}) das chuvas para a bacia experimental do jatobá, no semi-árido Pernambucano*" in Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá, Novembro.

SENTEK (2001). *Calibration of Sentek Pty Ltd soil moisture sensors*. Stepney: Sentek Pty Ltd.

SENTEK (2000). *Diviner 2000®: User guide version 1.21.* Stepney: Sentek Pty Ltd.

SILVA, T. P. N.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA JÚNIOR, V. P.; ARAÚJO, P. R. M. (2010) Relação *Precipitação-Vazão em uma microbacia experimental no município de Pesqueira, PE.* X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX 2010 – UFRPE: Recife, 18 a 22 de outubro.

SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MELO, F. B.; SOUSA, A. B.; SOUZA, C. F. (2006). *Calibração da Sonda de Capacitância Diviner 2000® em um Argissolo* in Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, João Pessoa, Agos.

SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; ALVES JÚNIOR, J.; SOUZA, A. B.; MELO, F. B.; COELHO FILHO, M. A. (2007) *Calibration of a Capacitance Probe in a Paleudult*. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), v.64, n.6, p.636-640.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E.E. (2002) *Avaliação de sondas de TDR multi-haste segmentadas para estimativa da umidade do solo*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6 (1), pp.63 - 68.

SOUZA, W. G. (2006). *Modelagem da Evapotranspiração em Plantios de Eucalipto em Fase Inicial de Desenvolvimento com Cobertura Parcial do Solo*. Dissertação de Mestrado. Viçosa – MG, 56p.

VERA, J.; MOUNZER, O.; RUIZ-SÁNCHEZ, M.C.; ABRISQUETA,I.; TAPIA, L.M.; ABRISQUETA, J.M. (2009) *Soil water balance trial involving capacitance and neutron probe measurements*. Agricultural Water Management, v. 96, pp. 905–911.