

CALIBRAÇÃO SIMPLIFICADA DE SONDA DE NÊUTRONS PARA A DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO

Reginaldo Ferreira dos Santos¹

Reimar Carlesso²

Marcio Antonio Vilas Boas¹

INTRODUÇÃO

Nas últimas quatro décadas tem o conteúdo de água no solo tem sido estimado através da utilização da sonda de nêutrons, considerada uma ferramenta precisa (EVETT & STEINER, 1995). Essa estimativa pode ser feita na profundidade desejada, além do que, sendo, segundo TORRES & GONZALES (1993), um método não destrutivo, rápido e preciso, apresenta a possibilidade de alta periodicidade de determinação. Tecnicamente, a sonda de nêutrons que não determina diretamente o conteúdo de água no solo, apresenta um dispositivo medidor de nêutrons termalizados pelos átomos de hidrogênio encontrados no solo. Assim, é necessário o conhecimento da correlação existente entre o número de nêutrons termalizados e o conteúdo de água na solo na profundidade do solo estudado (BUSS & WEST, 1987; STONE & NOFZIGER, 1995).

A contagem de nêutrons termalizados no interior do solo normalmente não é utilizada diretamente na calibração, e sim a razão entre esse número e os termalizados na água. De acordo com BELTRAME &

¹ Dep. de Engenharia, UNIOESTE - Câmpus Cascavel PR, Rua Universitária 1619, Fone (045) 225-4590, Caixa Postal 801, J. Universitário, CP 801, CEP 85814-110, Fone (045) 225 5353, Fax (045) 222 3600.

² Dep. de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97119-900, Santa Maria - RS, Brasil.

TAYLOR (1980); TURATTI *et al.* (1990); ARSLAN & RAZZOUK (1994); ELDER & RASMUSSEN (1994) e STONE *et al.* (1995) a correlação existente entre a razão de contagem e o conteúdo de água no solo é uma relação linear. A calibração da sonda deve ser realizada por camadas do solo e, de acordo com JENSEN (1993), STONE & NOFZIGER (1995) e STONE *et al.* (1995), ocorre uma diminuição na contagem de nêutrons termalizados quando as leituras são realizadas próximo a superfície do solo, pois muitos nêutrons são perdidos para a atmosfera.

Segundo ARSLAN & RAZZOUK (1994) e STONE & NOFZIGER (1995) a características do solo tais como: textura, profundidade, temperatura, resistência ao contato elétrico, concentração salina e tempo de leitura, influenciam a precisão da estimativa precisa do conteúdo de água no solo. A contagem de nêutrons realizada pela sonda pode ser mascarada por outros elementos além do hidrogênio, tais como: cloro, ferro, bário, manganês, cobalto, boro e matéria orgânica do solo (BELTRAME & TAYLOR, 1980; WILSON, 1988; TURATTI *et al.*, 1990 e KLAR, 1991). A quantidade de hidrogênio encontrada na fração mineral do solo é relativamente constante, estando o solo úmido ou seco. A matéria orgânica é a mais importante fonte de hidrogênio no solo além da água propriamente dita (GARDNER & KIRKHAM, 1951).

Trabalhos de GARDNER & KIRKHAM (1951) demonstraram que o intervalo de tempo utilizado para a contagem de nêutrons termalizados deve ser maior quando o conteúdo de água no solo decresce. Experimentos conduzidos por Van BAVEL *et al.* (1958) e MERRIAM & KNOERR (1961) confirmaram, baseados em dados estatísticos, que os átomos se desintegram ao acaso e por isso, alguns intervalos de tempo de contagem podem ser utilizados para estimar o conteúdo de água em diferentes condições de umidade do solo. BELL (1968), observou boa precisão na determinação do conteúdo de água no solo, a campo, com o tempo de leitura de 16 segundos, recomendando ainda, para maior precisão, o uso da média de duas ou mais leituras. Van BAVEL *et al.* (1958) e LAWLESS *et al.* (1963) sugerem, em seus trabalhos, que a zona de influência dos nêutrons na determinação do conteúdo de água no solo abrange uma esfera

de aproximadamente 40 cm de raio. Entretanto, para STONE & NOFZIGER (1995) este raio é maior.

O método de calibração mais utilizado é o descrito por Bell, citado por ARSLAN & RAZZOUK (1994). Este método convencional de calibração correlaciona as leituras da sonda de nêutrons com o conteúdo de água no solo. Entretanto, este método, bastante trabalhoso, requer um grande número de determinações do conteúdo de água no solo, em diferentes profundidades, associadas a valores da razão da contagem de nêutrons. O tempo necessário para a realização da calibração é variável dependendo das condições climáticas do local para o secamento do solo.

O objetivo deste trabalho foi comparar a calibração da sonda de nêutrons pela metodologia convencional de obtenção da curva de calibração e a metodologia simplificada, que utiliza somente pontos extremos do conteúdo de água do solo (solo úmido e solo seco).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento, conduzido no ano agrícola 1995/1996 em área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, RS, foi instalado em um conjunto de 12 lisímetros de drenagem, protegidos das precipitações por cobertura de plástico transparente, constituídos de caixas de cimento amianto de 1 m³, com dimensões de 1,56 m de comprimento, 1,0 m de largura e 0,8 m de profundidade. Na base das caixas foi colocada uma camada de 0,08 a 0,1 m de brita para facilitar a drenagem e, sobre a brita, uma lâmina de material filtrante (Bidim).

Os solos utilizados foram: (i) solo de textura argila pesada (Latossolo Roxo Distrófico) denominado neste trabalho como textura argilosa, manejado aproximadamente há 10 anos pelo sistema de plantio direto; (ii) solo de textura franco argilo siltoso (Podzólico Vermelho-Amarelo) denominado neste trabalho como textura franca, coletado em

local de campo nativo; (iii) solo de textura franco arenosa (Podzólico Vermelho-Amarelo) denominado neste trabalho como textura arenosa, coletado em local de campo nativo. Os solos foram coletados da camada de 0 a 0,2 m de profundidade. Foram aplicados oito ciclos de saturação e drenagem para consolidá-los no interior dos lisímetros.

O milho foi semeado no dia 23 de fevereiro de 1996 e a emergência ocorreu no dia 27 de fevereiro de 1996. O espaçamento das plantas de milho utilizadas para reduzir mais rapidamente o conteúdo de água no solo foi de 0,15 m entre plantas e 0,5 m entre as linhas. O desbaste foi realizado cinco dias após a emergência das plantas (DAE) e a irrigação foi feita igualmente em todos os lisímetros até 15 DAE.

A contagem de nêutrons termalizados (leitura da sonda) foi feita com uma sonda de nêutrons CPN, modelo 503DR, 50 mCi Am-241/Be. Um tubo de acesso (50 mm de diâmetro interno) foi instalado na parte central de cada lisímetro. As leituras foram realizadas a cada dois dias com um incremento de profundidade de 0,2 m, até a base do lisímetro. A contagem de nêutrons termalizados na água (leitura padrão da sonda de nêutrons) foi realizada com a inserção da sonda de nêutrons em tubo de acesso colocado no interior de um tambor de 200 litros. A razão de contagem da sonda foi obtida pela relação entre a leitura da sonda obtida no interior do solo e a leitura padrão da sonda. Concomitante com a realização das leituras da sonda de nêutrons procedeu-se a coleta de amostras de solo para a determinação gravimétrica do conteúdo de água no solo com tradagens. A densidade do solo nos lisímetros foi obtida através das médias de determinações realizadas antes e depois da instalação do experimento.

As curvas de calibração da sonda de nêutrons foram obtidas para as três texturas dos solos, em três profundidades (0-0,2 m, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m). Utilizou-se a metodologia convencional de calibração descrita por ARSLAN & RAZZOUK (1994) e uma metodologia simplificada de calibração (calibração simplificada). A calibração convencional consiste na determinação de um grande número de leituras da sonda de nêutrons partindo de um solo inicialmente úmido até o

secamento parcial ou total.

A calibração simplificada consistiu na determinação da razão de contagem da sonda quando o solo estava úmido e depois de seu completo secamento. Considerou-se como solo úmido o limite superior de disponibilidade de água às plantas, obtido 24 horas após uma precipitação ou irrigação com duração suficiente para elevar o conteúdo de água até perto da saturação. O solo foi considerado seco quando as plantas de milho apresentavam-se completamente senescidas e não foi verificado nenhuma redução no conteúdo de água nas três camadas do solo.

As curvas de calibração para os diferentes tipos de solos, nas três camadas do perfil, foram obtidas através da regressão linear entre o conteúdo volumétrico de água e a razão de contagem da sonda de nêutrons. Compararam-se estimativas do conteúdo volumétrico de água no solo obtidos pela calibração convencional e simplificada da sonda.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **Figura 1** encontram-se os resultados da amostragem de 287 pontos utilizados na metodologia de regressão para obter a curva de calibração da sonda de nêutrons nas três diferentes texturas e profundidades do solo. Na análise dos dados o coeficiente de determinação da equação de regressão linear da razão de contagem de nêutrons (RC) em função de texturas e profundidades apresentou coeficiente de determinação de $r^2 = 0,62$ considerado baixo para a calibração do instrumento. A dispersão dos pontos indica tendência de uma reta, concordando com TURATTI (1990) que, trabalhando com a variabilidade espacial de calibração da sonda de nêutrons encontrou valor do coeficiente de determinação de $r^2 = 0,74$ o qual, apesar de significativo, também pode ser considerado insuficiente para a calibração do instrumento.

EVETT & STEINER (1995), pesquisando a precisão do método de espalhamento do nêutrons em diferentes sondas, indicam que os valo-

res encontrados de $r^2 = 0,68$ a $0,71$ apresentam baixa correlação na estimativa da umidade no solo, enquanto valores de $r^2 = 0,97$ a $0,99$ proporcionaram excelente estimativa. No entanto, a maioria das curvas de calibração encontradas na literatura (HAVERCAMP *et al.* 1984; CARNEIRO & JONG 1985; TURATTI *et al.*, 1990 e EVETT & STEINER, 1995) apresentam coeficiente de determinação e dispersão dos pontos semelhantes à **Figura 1**. Provavelmente, isto se deva a influência da textura, profundidade, densidade do solo e conteúdo de matéria orgânica.

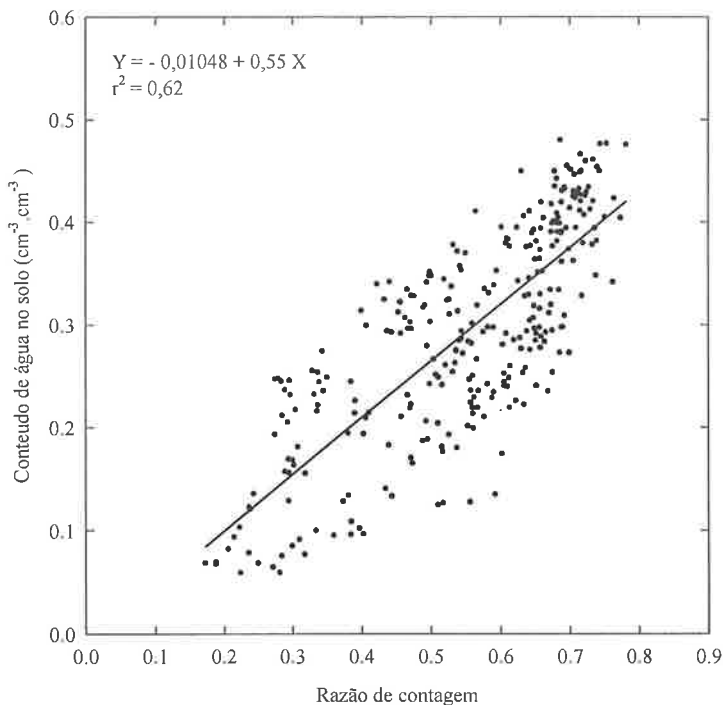


Figura 1. Razão de contagem da sonda de neutrons (RC) em função do conteúdo de água no solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) em solos com diferentes texturas e profundidade.

ARSLAN & RAZZOUK (1994) mostram em seus trabalhos que a redução no valor do coeficiente de determinação para $r^2 = 0,60$ foi decisivamente influenciada pela profundidade e textura do solo. LAL (1974) também encontrou significativo efeito da densidade do solo na calibração da sonda de nêutrons. MARAIS & SMIT (1962) relataram encontrar altos valores da razão de contagem em alta densidade do solo. Os solos com maior densidade, matéria orgânica e porcentagens de silte e argila apresentam maior razão de contagem (ELDER & RASMUSSEN 1994; KERN 1995).

As equações de calibração da sonda de nêutrons obtidas pelas metodologias convencional e simplificada, para as três texturas e profundidades das camadas, são apresentadas na **Tabela 1**. Diferença de $0,06 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, entre os valores de conteúdo de água no solo estimado através da calibração convencional e medido pelo método gravimétrico, foi observada para o solo de textura franca, na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Esta diferença ocorreu, provavelmente, devido a maior dificuldade de amostragem para baixos valores de conteúdo de água no solo. As demais diferenças entre os valores estimados e medidos foram menores que $0,03 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$. JENSEN (1993) demonstra que a calibração da sonda de nêutrons é considerada adequada quando as diferenças entre os valores estimados e os medidos do conteúdo de água no solo forem inferiores a $0,05 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$.

Os coeficientes de determinação das equações de estimativa do conteúdo de água no solo pela metodologia convencional variaram entre 0,10 e 0,96. TURATTI *et al.* (1990), analisando equações de calibração, também verificaram baixos valores para o coeficiente de determinação e indicaram que valores inferiores a 0,80 são considerados baixos e, nesses casos, as equações não devem ser utilizadas.

Coefficientes angulares menores foram observados para as curvas de calibração do solo de textura arenosa. Isto ocorreu porque ele apresenta menor conteúdo volumétrico de água do que os solos de textura argilosa e franca tanto em condições de solo úmido como seco.

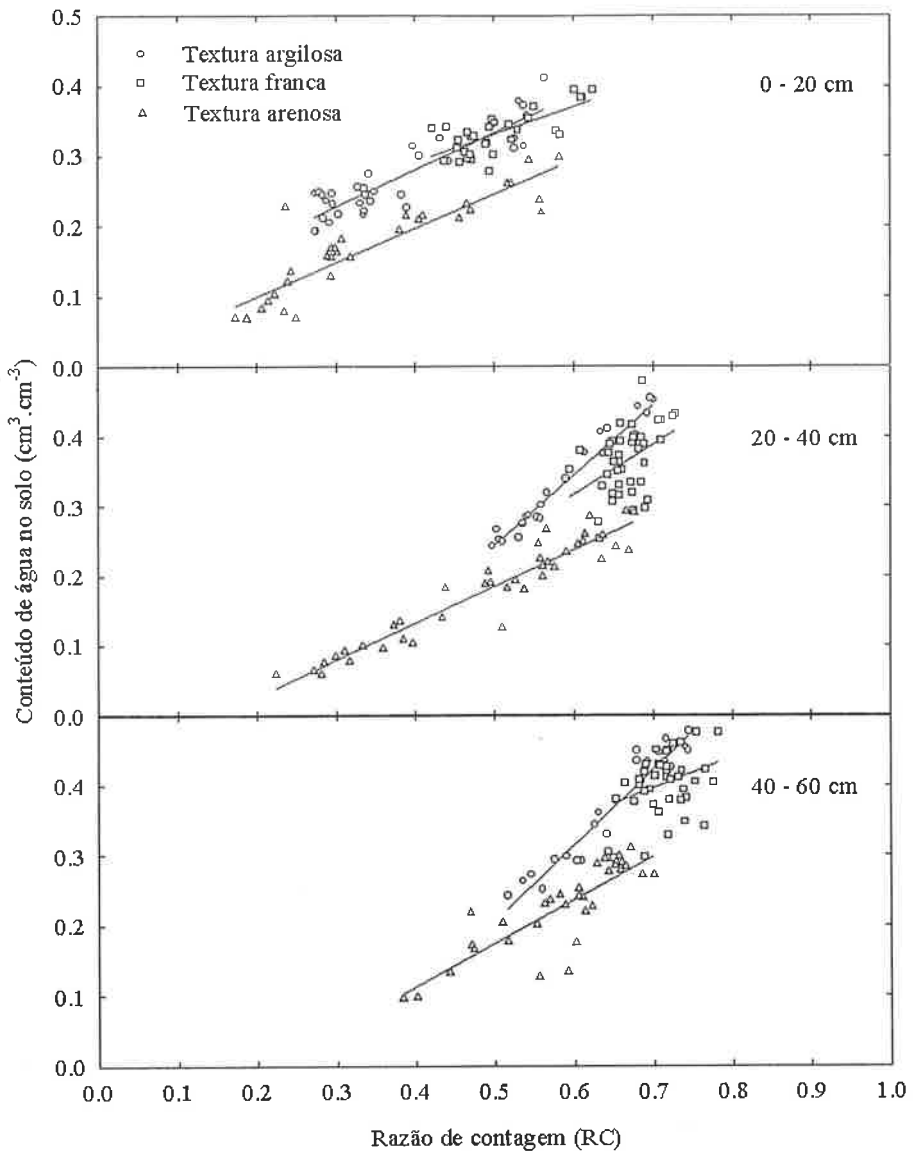


Figura 2. Razão de contagem da sonda de neutrons (RC) em função do conteúdo de água no solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) em solos de diferentes texturas, com calibração convencional.

Na **Figura 2** são apresentados os valores medidos do conteúdo de água no solo e as respectivas equações de calibração da sonda baseadas na metodologia convencional. As equações de regressão são praticamente paralelas para o solo de textura argilosa ou arenosa, na camada de 0-20cm de profundidade. Para uma mesma textura do solo os coeficientes angulares foram diferentes, indicando que se deve realizar a calibração da sonda para cada camada do perfil do solo e não utilizar uma curva de calibração única para o perfil do solo. Os resultados das investigações feitas por TURATTI *et al.* (1990) mostram que as curvas de calibração se distanciam paralelamente entre si. Assim, o uso de uma única equação da curva de calibração, estimaria os valores do conteúdo de água no solo com elevado grau de incerteza.

A dispersão dos valores medidos do conteúdo de água no solo verificada na **Figura 1** também foram relatados por TURATTI *et al.* (1990) que, trabalhando com a variabilidade espacial na calibração da sonda de nêutrons, encontraram valores do coeficiente de determinação em torno de 0,74 que, apesar de significativo, é considerado baixo. Outros pesquisadores como HAVERCAMP *et al.* (1984); CARNEIRO & JONG (1985) e EVETT & STEINER (1995) também encontraram dispersão dos valores semelhantes aos verificados na **Figura 1**, além de baixos coeficientes de determinação (**Tabela 1**). Por outro lado, EVETT & STEINER (1995), pesquisando a precisão da estimativa do conteúdo de água no solo através da calibração da sonda de nêutrons pelo método convencional, indicaram que valores do coeficiente de determinação entre 0,68 e 0,71 apresentaram baixa precisão de estimativa, enquanto que valores entre 0,97 e 0,99 são considerados excelentes.

A utilização de uma única curva de calibração para diferentes solos e mesmo para um mesmo solo, para diferentes camadas do perfil, deve ser evitada devido à grande variabilidade física, química e biológica dos solos agrícolas.

Os resultados das curvas de calibração, obtidas pela metodologia simplificada, apresentados na **Tabela 1** e **Figura 3**, indicam menor variação na estimativa do conteúdo de água no solo. A calibração simplificada

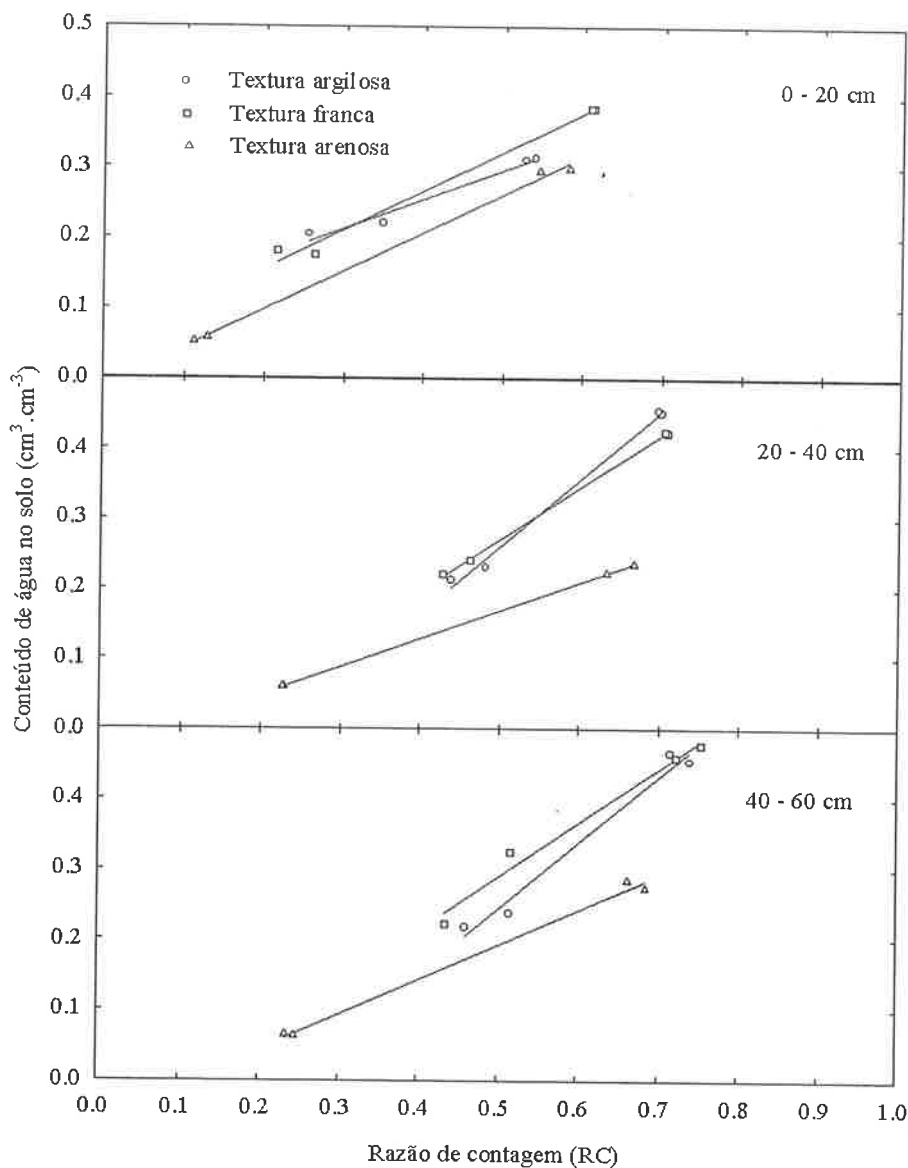


Figura 3. Razão de contagem da sonda de nêutrons (RC) em função do conteúdo de água no solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) em solos de diferentes texturas, com calibração simplificada.

da sonda de nêutrons é baseada na variação linear da razão de contagem da sonda de nêutrons em relação a variação no conteúdo de água no solo. Desta forma, a simples determinação do conteúdo volumétrico de água no solo e leitura da sonda quando o solo estiver seco e posteriormente quando estiver úmido, para um mesmo local, é suficiente para calibrar satisfatoriamente o equipamento. Os resultados aqui apresentados evidenciam que a calibração simplificada da sonda de nêutrons pode ser utilizada para substituir satisfatoriamente a metodologia convencional, pois além de apresentar estimativa do conteúdo de água no solo mais próxima das medidas no campo, é mais rápida, precisa e menos trabalhosa.

Tabela 1. Equações de calibração da sonda de nêutrons pelo método de calibração convencional e simplificado em solos de diferentes de textura em três profundidade de solo (cm).

Textura	Profundidade	Regressão linear	r ²	θ estimado	θ medido	Δ
e						
Calibração convencional						
Argilosa	0-20	Y= 0,07+0,537X	0,81	0,25	0,22	0,03
	20-40	Y= -0,27+1,02X	0,96	0,22	0,23	0,01
	40-60	Y= -0,34+1,08X	0,91	0,22	0,24	0,02
Franca	0-20	Y= 0,13+0,396X	0,53	0,23	0,17	0,06
	20-40	Y= -0,11+0,72X	0,19	0,22	0,24	0,02
	40-60	Y= -0,09+0,44X	0,10	0,31	0,32	0,01
Arenosa	0-20	Y= -0,03+0,48X	0,81	0,08	0,06	0,02
	20-40	Y= -0,08+0,52X	0,91	0,04	0,06	0,02
	40-60	Y= -0,14+0,63X	0,72	0,07	0,06	0,01
Calibração simplificada						
Argilosa	0-20	Y= 0,0930+0,4X	0,97	0,23	0,22	0,01
	20-40	Y= -0,22+0,96X	0,99	0,24	0,23	0,01
	40-60	Y= -0,23+0,95X	0,98	0,23	0,24	0,01
Franca	0-20	Y= 0,05+0,548X	1	0,19	0,17	0,02
	20-40	Y= -0,10+0,74X	1	0,24	0,24	0,00
	40-60	Y= -0,09+0,77X	0,98	0,31	0,32	0,01
Arenosa	0-20	Y= -0,01+0,54X	1	0,06	0,06	0,00
	20-40	Y= -0,03+0,40X	1	0,06	0,06	0,00
	40-60	Y= -0,05+0,49X	0,99	0,06	0,06	0,00

θ - Conteúdo de água no solo (cm³.cm⁻³); r² - Coeficiente de determinação; Δ - diferença entre os valores estimados e medidos da conteúdo de água no solo (cm³.cm⁻³)

A calibração da sonda de nêutrons pelo método simplificado, para as diferentes camadas do perfil de um solo, podem ser obtidas após a ocorrência de um déficit hídrico severo ou evitando-se a precipitação sobre o local onde se deseja calibrar a sonda de nêutrons, determinando-se, desta forma, o ponto de menor conteúdo volumétrico de água no solo. Após a ocorrência de precipitação ou aplicação de uma lâmina de água que umedeça todo o perfil do solo obtém-se o ponto com elevado conteúdo de água no solo.

CONCLUSÕES

A calibração simplificada da sonda de nêutrons apresenta melhor estimativa do conteúdo de água no solo, além de ser mais rápida e simples do que a convencional. A calibração simplificada requer menor número de leituras da sonda de nêutrons e determinações do conteúdo volumétrico de água no solo. Curvas de calibração devem ser obtidas para cada camada do perfil do solo em que se deseja estimar a umidade.

RESUMO

O objetivo deste experimento foi comparar equações de calibração da sonda de nêutrons obtidas pela metodologia convencional e de metodologia simplificada de calibração (utilizando somente pontos extremos do conteúdo de água no solo: solo úmido e solo seco). O experimento foi conduzido em área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, em conjunto de lisímetros de drenagem, protegidos das precipitações com cobertura móvel de plástico transparente. Utilizaram-se solos de textura argilosa, franca ou arenosa. Curvas de calibração foram obtidas nas camadas de 0 a 0,2 m, 0,2 a 0,4 m e 0,4 a 0,6 m de profundidade. Utilizou-se a sonda de nêutrons CPN, modelo 503DR (50 mCi Am-241/Be). Compararam-se as estimativas do conteúdo de água no solo obtidas com as curvas de

calibração da metodologia convencional e a da metodologia simplificada, com os valores do conteúdo de água no solo medidos diretamente. Os resultados indicaram que a calibração simplificada da sonda de nêutrons apresenta melhor estimativa do conteúdo de água no solo, além de ser mais rápida e mais simples do que a calibração convencional. A calibração simplificada requer menor número de leituras da sonda de nêutrons e de determinações do conteúdo de água no solo. Curvas de calibração devem ser obtidas para cada solo e em cada camada do perfil do solo, para estimação mais precisa.

Palavras-chave: Umidade do solo, sonda de nêutrons, Física do Solo.

SUMMARY

SIMPLIFIED CALIBRATION OF THE NEUTRONS PROBE TO DETERMINE WATER CONTENT IN SOILS

To compare calibration equations of neutron probes obtained by the conventional and a simplified method of calibration, experiments were carried out in an experimental field of the Rural Engineering Department of the Federal University of Santa Maria, in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. In the case of the simplified method, only the two extreme points of soil humidity were used: dry and humid soil. A group of lysimeters protected by mobile transparent plastic cover were used on the three types of soils: loamy, franc-sandy and sandy soils. The samples for the extraction of water determination contents were sampled at the horizons of 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm depth. The CPN neutron probe used was of the model 503DR, with 50 mCi Am-241/Be. The obtained curves compare the results and indicate that the simpler calibration method of the neutron probe presents better results to estimate water content than the conventional method. Also the simplified method requires a lower number of determinations and thus will be faster in obtaining results. The

experiments indicate that the curves to determine the water content of each particular soil had to be obtained individually for each type of soil and for each horizon.

Key words: Soil humidity, neutron probe, soil physics, calibration of neutron probes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARSLAN, A.; RAZZOUK, A.K. Effects of Gypsum on the Neutron Probe Calibration Curve. Baltimore, **Soil Science**, v.158, n.3, p.174-180, 1994.
- BELL, J.P. A New Design Principle for Neutron Soil Moisture Gages: The "Wallingford" Neutron Probe. Baltimore, **Soil Science**, v.108, n.8, 1968.
- BELTRAME, L.; TAYLOR, J.C. Uso da Sonda de Neutron para Determinação da Umidade do Solo no Campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, p.57-61, 1980.
- BUSS, P.; WEST, A. Neutron Probe has Potential for Irrigators. **Australian Grapegrower and Winemaker**, Australia, n.280, p.114-115, 1987.
- CARNEIRO, C.; DE JONG, E. In Situ Determination of the Slope of the Calibration Curve a Neutron Probe Using a Volumetric Technique. **Soil Science**, Baltimore, v.139, p.250-254, 1985.
- ELDER, A.N.; RASMUSSEN, T.C. Neutron Probe Calibration in Unsaturated Tuff. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.58, p.1301-1307, 1994.
- EVETT, S.R.; STEINER, J.L. Precision of Neutron Scattering and Capacitance Type Soil Water Content Gauges from Field Calibration. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.59, n.4, p.961-968, 1995.
- GARDNER, W.; KIRKHAM, D. Determination of Soil Moisture by Neutron Scattering. **Soil Science**, Madison, n.73, p.391-401, 1951.

- HAVERCAMP, R.; VAUCLIN, M.; VACHAUD, G. Error Analysis in Estimating Soil Water Content from Neutron Probe Measurements: 1. Local standpoint. **Soil Science**, Madison, v.37, n.2, p.78-90, 1984.
- JENSEN, J.R. Stratification and Neutron Probe Measurement in the Topsoil of a Ridged Savanna Soil. Baltimore, **Soil Science**, Madison, v.156, n.1, p.1-9, 1993.
- KERN, J.S. Evaluation of Soil Water Retention Models Based on Basic Soil Physical Properties. **Soil Science Society of American Journal**, Mandison, v. 59, p. 1134-1141, 1995.
- KLAR, E.A. **Irrigação: Frequência e Quantidade de Aplicação**. São Paulo: Nobel, 1991. 156p.
- KLENKE, J.M.; FLINT, A.L. Collimated Neutron Probe for Soil Water Content Measurements. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.55, n.4, p.916-923, 1991.
- LAL, R. The Effect of Soil Texture and Bulk Density on the Neutron and Density Probe Calibration for some Tropical Soils. Baltimore, **Soil Science** n.117, p.183-190, 1979.
- LAWLESS, G.P.; MacGILLIVRAY, A.N.; NIXON, P.R. Soil Moisture Interface Effects upon Readings of Neutron Moisture Probes. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.27, p.502-507, 1963.
- MARAIS, P.G., & SMIT, W.B. Effect of Bulk Density and of Hydrogen in Formsother than Free Water on the Calibration Curve of the Neutron Moisture Meter. **South Afri. Agric. Science** v.5, 225-238, 1962.
- MERRIAM, R.A.; KNOERR, K.R. Counting Times Required With Neutron Soil-Moisture Probes. **Soil Science**, Madison, n.17, p.394-395, 1961.
- STONE, J.F.; GRAY, H.R.; WEEKS, D.L. Calibration of Neutron Moisture Probes by Transfer through Laboratory Media: II. Stability Experience. Baltimore, **Soil Science**, Madison, v.160, n.3, p.164-175, 1995.
- STONE, J.F.; NOFZIGER, D.L. Calibration of Neutron Moisture Probes by Transfer through Laboratory Media: I. Principles. **Soil Science**, Madison, v.160, n.3, p.155-163, 1995.
- TORRES, P.S.; GONZALES, R. Determination of the Humidity in

Representative Soils of the Western Savannas Using Neutron Probes. In CONGRESO VENEZOLANO SOBRE LA CIENCIA DEL SUELO, 1993, Venezuela. **Programa y resúmenes de trabajos...** Venezuela, 1993. p.75-76.

TURATTI, A.L.; VILLAGRA, M.M.; PONCE, J.E. *et al.* Variabilidade Espacial do Solo e sua Implicação na Calibração de Sonda de Neutron. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.259-262, 1990.

Van BAVEL, C.H.M.; LASCANO, R.J; BAKER, J.M. Calibrating two-Probe, Gamma-Gauge Densitometers. **Soil Science**, Madison, v.140, p.393-395, 1985.

WILSON, D.J. Uncertainties in the Measurement of Soil Water Content Caused by Abrupt Soil Layer Changes, when Using a Neutron Probe. **Australi Journal Soil Resour**, v.26, p.87-96, 1988.