

COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA OBTIDAS EM LABORATÓRIO E A CAMPO

RAFAEL GOTARDO¹; ADILSON PINHEIRO²; VANDER KAUFMANN³; GUSTAVO ANTONIO PIAZZA⁴ E EDSON TORRES⁵

¹Eng. Agrônomo, Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), Rua São Paulo, n° 3250, Itoupava Norte, Blumenau-SC, Brasil. rafael.piratuba@yahoo.com.br.

²Eng. Civil, Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), Rua São Paulo, n° 3250, Itoupava Norte, Blumenau-SC, Brasil. pinheiro2907@gmail.com.

³Químico, Biólogo, Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), Rua São Paulo, n° 3250, Itoupava Norte, Blumenau-SC, Brasil. vanderkaufmann@gmail.com.

⁴Eng. Ambiental, Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), Rua São Paulo, n° 3250, Itoupava Norte, Blumenau-SC, Brasil. gustavoapiazza@gmail.com.

⁵Químico, Mestre, Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), Rua São Paulo, n° 3250, Itoupava Norte, Blumenau-SC, Brasil. ettorres@gmail.com.

1 RESUMO

O objetivo do estudo foi comparar dados do conteúdo de água do solo obtidos por técnicas laboratoriais (Extrator de Pressão de Richards) e por técnicas de determinação em campo (tensiômetros e TDR) em diferentes usos do solo. Os usos do solo estudados foram: agricultura, floresta nativa (Bioma Mata Atlântica), reflorestamento e pastagem. O conteúdo de água no solo determinado pelas curvas de retenção foi menor na camada superficial do solo, com aumento gradativo em relação a profundidade. Com o TDR, os valores do conteúdo de água alternaram nas profundidades e para os diferentes usos. Este resultado foi associado ao fato de que curvas de retenção ficam restritas a pressões máximas de 916 kPa em períodos de restrição hídrica. O método de Richards subestimou os valores de umidade nas áreas de agricultura, pastagem, reflorestamento, e superestimou os valores na área de floresta. O método de Richards também apresentou ineficiência na saturação (θ_s) das amostras e no equilíbrio hidráulico da umidade residual (θ_r). Apesar de alguns valores terem sido subestimados, a regressão linear do conteúdo médio de água no perfil do solo obtido pelos diferentes métodos apresentou correlação positiva para as áreas de agricultura e floresta e baixa correlação para as áreas de pastagem e reflorestamento. Estes resultados foram confirmados na regressão linear da variação diária de armazenamento de água ao longo do perfil.

Palavras-chave: Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), Richards, tensiometria.

**GOTARDO, R.; PINHEIRO, P.; KAUFMANN, V.; PIAZZA, G. A.; TORRES, E.
COMPARISON OF WATER RETENTION CURVES OBTAINED IN LABORATORY
AND FIELD MEASUREMENTS**

2 ABSTRACT

The aim of this study was to compare soil water content data obtained by laboratory techniques (Richards Pressure Extractor) and field measurements (tensiometers and TDR) in different land uses. The land uses analyzed in this study were agriculture, native forest (Atlantic Forest), reforestation and pasture. The soil water content determined by the retention curve was lower in the soil surface with gradual increase in dept. With TDR, the values of water content alternated in depths and for different uses. This result was associated to the fact that retention curves are restricted to maximum pressures of 916 kPa in periods of water restriction. Richards' method underestimated moisture values in agriculture, pasture and reforestation areas, and overestimated these values in forest area. Richards' method also showed inefficiency to calculate saturation of samples (θ_s) and hydraulic balance of residual moisture (θ_r). Despite the underestimation, the linear regression of average water content in the soil profile obtained by these methods showed a positive correlation for agriculture and forestry, and negative to pasture and reforestation. These results were confirmed by the linear regression of daily variation water storage along the profile.

Keywords: Time Domain Reflectometry (TDR), Richards, tensiometers.

3 INTRODUÇÃO

A quantidade de água no solo representa apenas 0,15% do total disponível de água na terra, no entanto, essa quantidade é responsável pela manutenção de importantes processos hidrológicos e biogeoquímicos (DOBRIYAL et al., 2012). Uma das formas de compreender sua disponibilidade e sua movimentação é o monitoramento do perfil de água do solo. O fluxo de água no solo varia em função da capacidade de armazenamento, que é a diferença entre a umidade na capacidade de campo (-10 kPa) e o ponto de murcha permanente (-1.500 kPa), sendo estes respectivamente os limites máximos e mínimos de água no solo disponível para as plantas. O conhecimento do conteúdo de água no solo em bacias hidrográficas é fundamental para o entendimento de processos e no planejamento dos recursos hídricos (BROCCA et al., 2017). No setor agrícola, seu conhecimento tem impacto nos setores econômicos e ambientais, como por exemplo, na identificação dos períodos de estiagens (SOUZA et al., 2016). Em áreas irrigadas o monitoramento da

umidade do solo é indispensável para o uso eficiente e sustentável da água (MONTEBELLER; MARTINS, 2016).

O conteúdo de água no solo pode ser determinado por técnicas diretas ou indiretas (SUSHA LEKSHMI et al., 2014; MELO et al., 2015). Os métodos diretos são destrutivos e envolvem a separação e a quantificação da água na matriz do solo (DOBRIYAL et al., 2012), enquanto métodos indiretos são determinados a campo. Os métodos indiretos são considerados conservacionistas e não-destrutivos. Dentre os métodos indiretos, pode-se citar a bomba de nêutrons, tomografia computadorizada, resistência elétrica, ressonância magnética, sensor resistivo, reflectometria por domínio da frequência (FDR) e por reflectometria de domínio do tempo (Time Domain Reflectometry - TDR) (REICHARDT; TIM, 2012). A tensiometria também é uma forma indireta e eficiente no monitoramento da tensão da água do solo, podendo ser determinada por meio das medidas do potencial matricial e das curvas de retenção de água no solo (CRAS). Apesar de ser considerado um equipamento simples, os

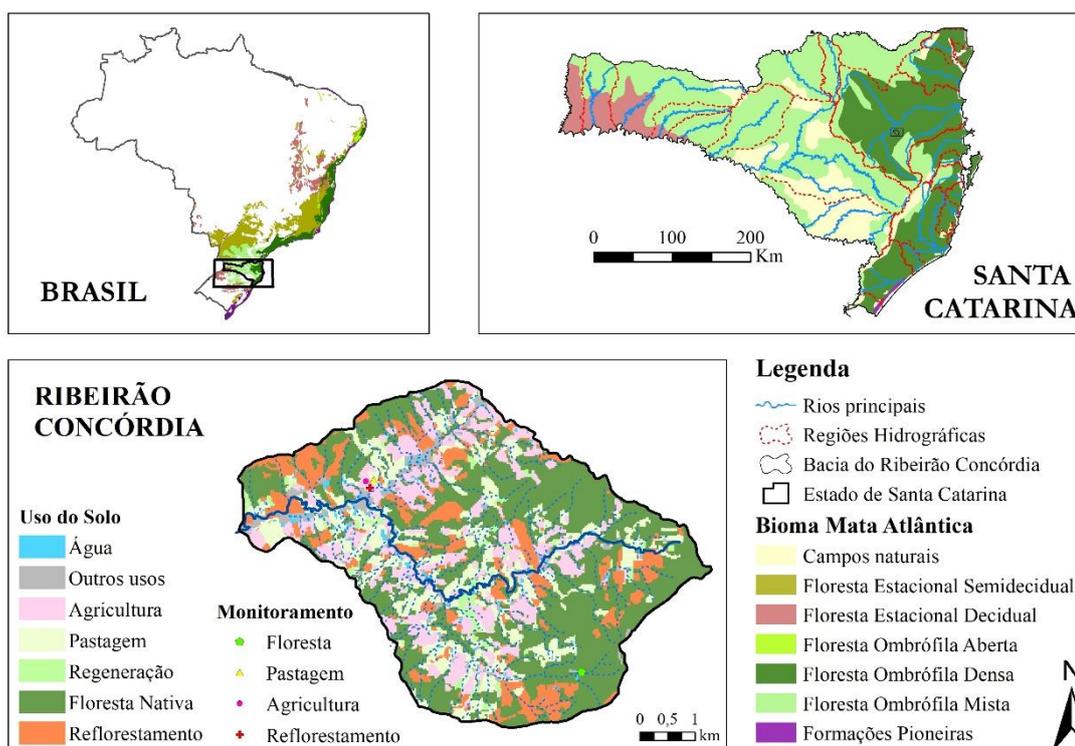
tensiômetros apresentam medidas adequadas de tensão do solo de forma contínua (DUKES; ZOTARELLI; MORGAN, 2010). Em laboratório, o Extrator de Pressão de Richards é o método clássico utilizado na obtenção das CRAS. A sonda TDR, por outro lado, é uma técnica direta de medição da umidade do solo empregada para medições em diferentes profundidades sem alterar as características estruturais do solo (ARSOY et al., 2013).

A determinação das CRAS, tanto no campo como no laboratório, pode gerar erros e incertezas na determinação do conteúdo de água do solo (CRESSWELL; GREEN; MCKENZIN, 2008; BITTELLI; FLURY, 2009). A incerteza está relacionada a erros a pontos de inflexão da curva, bem como equações de ajuste. Uma forma de minimizar estas incertezas é por meio de trabalhos de comparação que visem determinar a performance dos métodos de determinação em campo e de métodos de laboratório em um mesmo local de estudo. Este trabalho utilizou técnicas laboratoriais (Extrator de Pressão de Richards) e de determinação a campo (tensiômetros e TDR) do conteúdo de água do solo em diferentes usos do solo na bacia hidrográfica de monitoramento do ribeirão Concórdia.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do ribeirão Concórdia, no município de Lontras, na vertente atlântica do estado de Santa Catarina, Brasil. Esta bacia hidrográfica foi uma das sete microbacias monitoradas pelo Projeto de Recuperação Ambiental e de Apoio ao Pequeno Produtor Rural (PRAPEM/MICROBACIAS 2) e pelo projeto MATASUL, que coordenou a rede de bacias representativas e experimentais em bacias hidrográficas do Bioma Mata Atlântica (PINHEIRO; TEIXEIRA; KAUFMANN, 2009) (Figura 1). A bacia hidrográfica monitorada possui uma área de drenagem de 30,74 km² e um perímetro de 24,5 km. O sistema hidrográfico é composto pelos afluentes Arroio Braço do Concórdia e Arroio Dona Lúcia. O clima da região é do tipo Cfa de acordo com Köppen e Mesotérmico Úmido do tipo B3 B'3 ra' segundo Thornthwaite, sem períodos de estiagem e com verões quentes e úmidos. A temperatura média anual varia entre 17,0°C e 19,1°C e a precipitação anual média na região varia de 1.500 a 1.600 mm por ano, com valores máximos entre 2.500 a 2.600 mm (GOTARDO et al., 2018).

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Ribeirão Concórdia e usos do solo estudadas, Lontras (SC), Brasil



De acordo com sua geologia, o material de origem é proveniente de rochas sedimentares do grupo Itararé, sendo que sua porção basal é constituída por espesso pacote de folhelho negro. O tipo de solo predominante na bacia hidrográfica é o Cambissolo Háplico Alumínico típico, (*Cxa*) com áreas de ocorrência de Gleissolo Háplico Ta alumínico típico, (*Gxva*), Cambissolo Húmico Alumínico típico (*Cha*), Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico (*Cxvd*) e Argissolo Vermelho-Amarelo (*PVAal*). A bacia hidrográfica pertence ao bioma Mata Atlântica, mais especificamente a fitofisionomia da Floresta Ombrófila Densa, que se encontra fragmentada devido a ação antrópica (POTTER et al., 2004). Mesmo que grande quantidade de sua área é coberta por floresta nativa (45,1%), a bacia hidrográfica é considerada agrícola devido à alta

diversidade de explorações agrícolas, sendo que 17,5% é referente a áreas de pastagem, 15,7% de agricultura em geral, 14,4% a áreas de reflorestamento (*Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.*), 3,9% a usos antrópicos (área construída e solo exposto), 2,3% de áreas de regeneração de florestas nativas e 1,1% de massas de água.

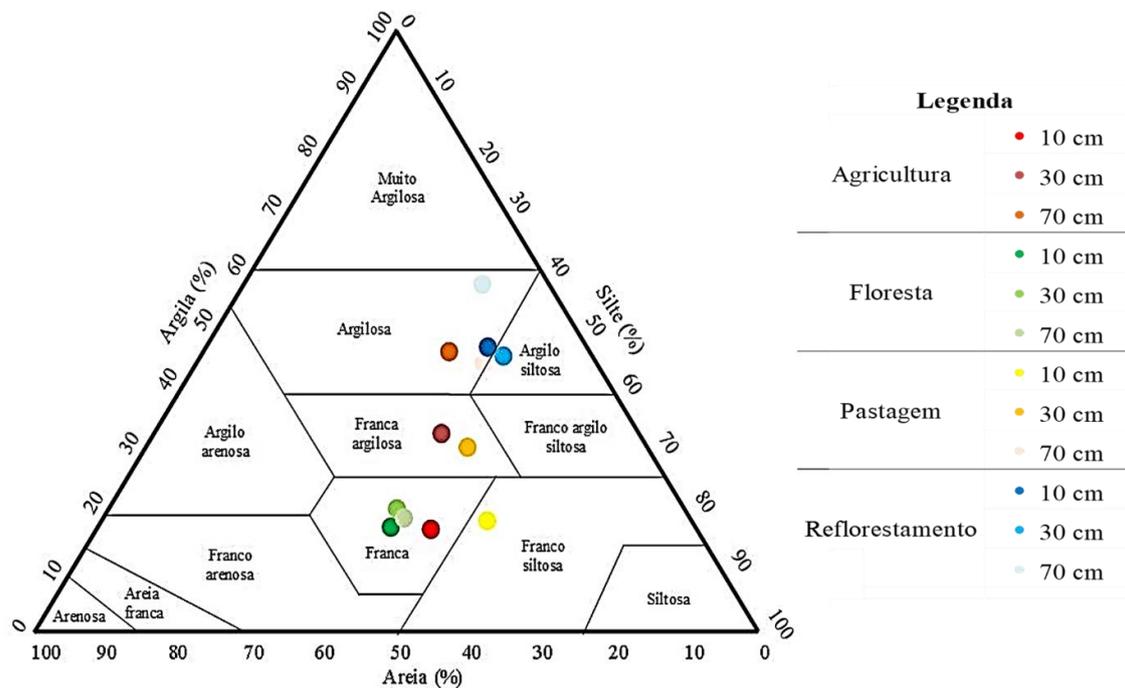
O estudo foi realizado em quatro áreas experimentais, sendo elas referentes aos principais usos e coberturas do solo da bacia hidrográfica. Dentre os usos avaliados estão uma área agricultura (A), uma área de pastagem perene (P), uma área de reflorestamento de eucalipto (R) e uma área de floresta nativa em estágio avançado de regeneração (F). Características dos locais monitorados estão descritos na Tabela 1. A textura do solo nas diferentes profundidades dos locais monitorados é apresentado na Figura 2.

Tabela 1. Características dos locais monitorados na bacia hidrográfica do ribeirão Concórdia, Lontras (SC), Brasil

Uso	Área (ha)	Declividade (%)	Relevo	Manejo	Cultivo
A	0,4	4,6 – 6,6	suave-ondulado	Convencional	Culturas anuais
F	0,5	8,2 – 13,2	ondulado	Conservacionista	Diversos
P	3,5	10,8 – 45,3	ondulado	Convencional	Gramas
R	4,2	13,6 – 45,7	Forte-ondulado	Convencional	Eucalipto

A – agricultura; F – floresta nativa; P – pastagem; R – reflorestamento.

Figura 2. Triângulo da classificação textural dos solos estudados, bacia hidrográfica do ribeirão Concórdia, Lontras (SC), Brasil



Nestas áreas foram realizados monitoramentos da tensão de água no solo através de tensiômetros e umidade instantânea via sonda TDR, e amostragem de solo para determinação das curvas de retenção de água em laboratório. A tensão de água no solo foi monitorada por meio de um conjunto de tensiômetros de pressão UMS modelo T4 com leituras automáticas, instalados em três profundidades do solo (10, 30 e 70 cm). O modelo utilizado é de baixo custo e desenvolvido para operar de forma contínua. O registro dos dados foi realizado em quilopascal (kPa), em uma

frequência de 15 minutos. Dados foram armazenadas em *datalogger*, sendo baixadas a cada 15-20 dias. Posteriormente, em laboratório, foi feita a sua consistência e consequente inserção em um banco de dados no software *Hydraccess*.

A determinação do conteúdo de água ao longo do perfil do solo foi realizada através da sonda TDR (*TRIME®-PICO IPH*, desenvolvido pela empresa alemã *IMKO Micromodultechnik GmbH*), de forma contínua. A sonda consiste de um corpo cilíndrico de PVC a prova de água, com 166 mm de comprimento e 32 mm de

diâmetro. Uma das extremidades é composta por quatro placas de alumínio montadas, que são pressionadas contra o tubo de acesso no solo. Os tubos de acesso são fabricados com um plástico especial resistente chamado *TECANAT* e possui dimensões de 44,3 mm de diâmetro externo, 42 mm de diâmetro interno e 1 m de comprimento. A sonda tem com princípio a geração de um pulso de alta frequência que se propaga ao longo da haste de metal inserida no interior do tubo, no qual é dependente da constante dielétrica do solo. As medições foram realizadas a cada 15-20 dias nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade, totalizando 64 campanhas. Em cada uma das camadas foram realizadas oito medições, fazendo medições em duplicata em cada uma das quatro direções (0°, 90°, 180°, 270°) levando em conta o sentido horário.

As curvas de retenção de água no solo (CRAS) foram determinadas em laboratório, utilizando-se sequencialmente box de areia (0 – 10 kPa) e o Extrator de Richards (20 – 1.500 kPa). Os resultados são representados graficamente pela relação entre o potencial matricial (kPa), em escala logarítmica, e o teor de água do solo em base de volume ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$). Para efeitos de cálculo, foi considerado o potencial matricial de -10 kPa para a capacidade de campo (CC) e de -1.500 kPa para ao ponto de murcha permanente (PMP).

Para a determinação das curvas em laboratório foram coletadas amostras de solo em seis camadas (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm) de perfis escavados em cada um dos diferentes usos da terra. O perfil de solo consistiu de uma trincheira de 1,5 m^2 de superfície por 1,0 m de profundidade, escavado em forma de

degraus para mitigar os interferentes na qualidade das coletas. Em cada um dos degraus foi coletada uma amostra indeformada em anéis volumétricos de 58,9 cm^3 . Os anéis foram inseridos no solo com auxílio de um sistema de percussão, preservando ao máximo a sua estrutura física. Depois de inserido, o anel foi retirado com auxílio de uma espátula, embaladas em papel alumínio, acondicionadas em latas de alumínio e colocadas em um isopor para preservação das amostras.

As curvas de retenção foram determinadas no Laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) em Lages. As amostras foram preparadas e vedadas com tecido permeável na parte inferior dos cilindros, para evitar perda de solo durante a saturação. Na sequência as amostras foram saturadas por capilaridade durante 48 horas, cuja lâmina de água foi elevada gradativamente até 2/3 da altura do anel. Após a saturação as amostras foram submetidas às tensões de 1, 6 e 10 kPa em box de areia e a 100, 330, 1.000 e 1.500 kPa nos Extratores de Richards. Após o equilíbrio hidráulico em cada tensão, determinou-se a massa das amostras através da pesagem. Em seguida as amostras foram secas em estufa a 105 °C durante 24 horas, para determinação da massa de solo presente nos cilindros. O conteúdo de água em cada uma das tensões foi obtido pela diferença entre a massa na respectiva tensão e a massa de solo seco. As curvas de retenção foram ajustadas pelo modelo de van Genuchten (Equação 1), utilizando o programa RETC - RETention Curve em que $m = 1 - \frac{1}{n}$ (para $n > 1$).

$$\theta_a = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\Psi_m|)^n]^m} \quad (1)$$

Sendo, θ_a – umidade atual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_r – umidade residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_s – umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Ψ_m – potencial matricial (kPa); α , n e m – parâmetros de ajuste.

Os resultados foram avaliados por meio do programa estatístico *Statistica* da *StatSoft* versão 7.0 (STATSOFT, 2004). Através dele foi realizado a análise estatística descritiva básica (média, valor máximo, valor mínimo e desvio padrão) e a análise de variância (ANOVA two-way) em um nível nominal de significância de 0,05. A correlação entre os resultados do conteúdo de água e da variação de armazenamento no perfil do solo obtido foram analisadas pela correlação linear de Pearson (R^2).

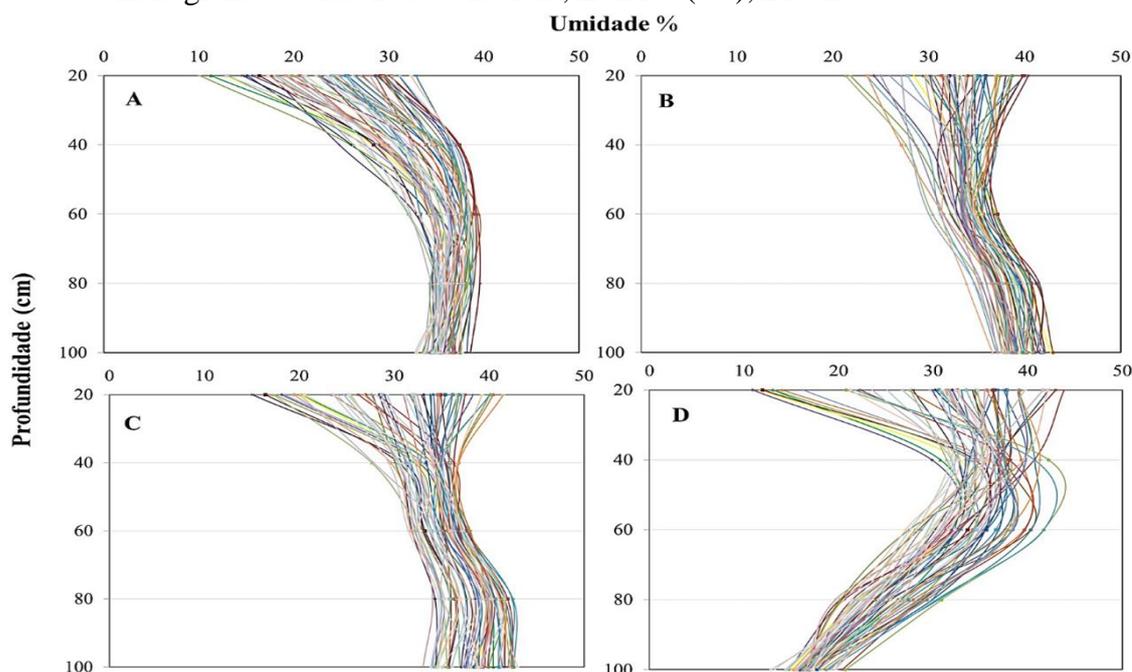
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados com a sonda TDR nas 64 campanhas mostraram que as maiores variações no conteúdo de água ocorrem na camada até 20 cm de profundidade (Figura 3). A alta variabilidade do conteúdo de água na camada superficial está associada aos processos de umedecimento e secagem do solo em função da precipitação e da evaporação da água na interface solo-

atmosfera, que ocorrem de forma dinâmica ao longo do tempo. Resultado semelhante foi observado por Paula et al. (2013) em um estudo comparativo do comportamento do conteúdo de da água do solo em coberturas vegetais.

A área de agricultura apresentou os menores valores do conteúdo de água no perfil do solo. A umidade média da agricultura foi de 32,88% (Figura 3A), com valores inferiores na camada até os 20 cm (29,97%) e superiores na camada de 80 cm (39,28%) de profundidade. Gao et al. (2014) também encontraram em áreas de agricultura valores de umidade relativamente baixos na superfície e altos no horizonte profundo. Estes resultados podem ser justificados pela evaporação superficial da água do solo, da influência do sistema radicular da vegetação plantada, bem como do processo de transpiração das plantas (PAULA et al., 2013). Em relação a sazonalidade, os maiores valores médios do conteúdo de água no solo na agricultura ocorreram no outono (34,12%) e os menores no verão (30,91%).

Figura 3. Conteúdo volumétrico de água no solo determinado pelo TDR nos usos (A) agricultura, (B) pastagem, (C) reflorestamento e (D) floresta nativa, na bacia hidrográfica do ribeirão Concórdia, Lontras (SC), Brasil



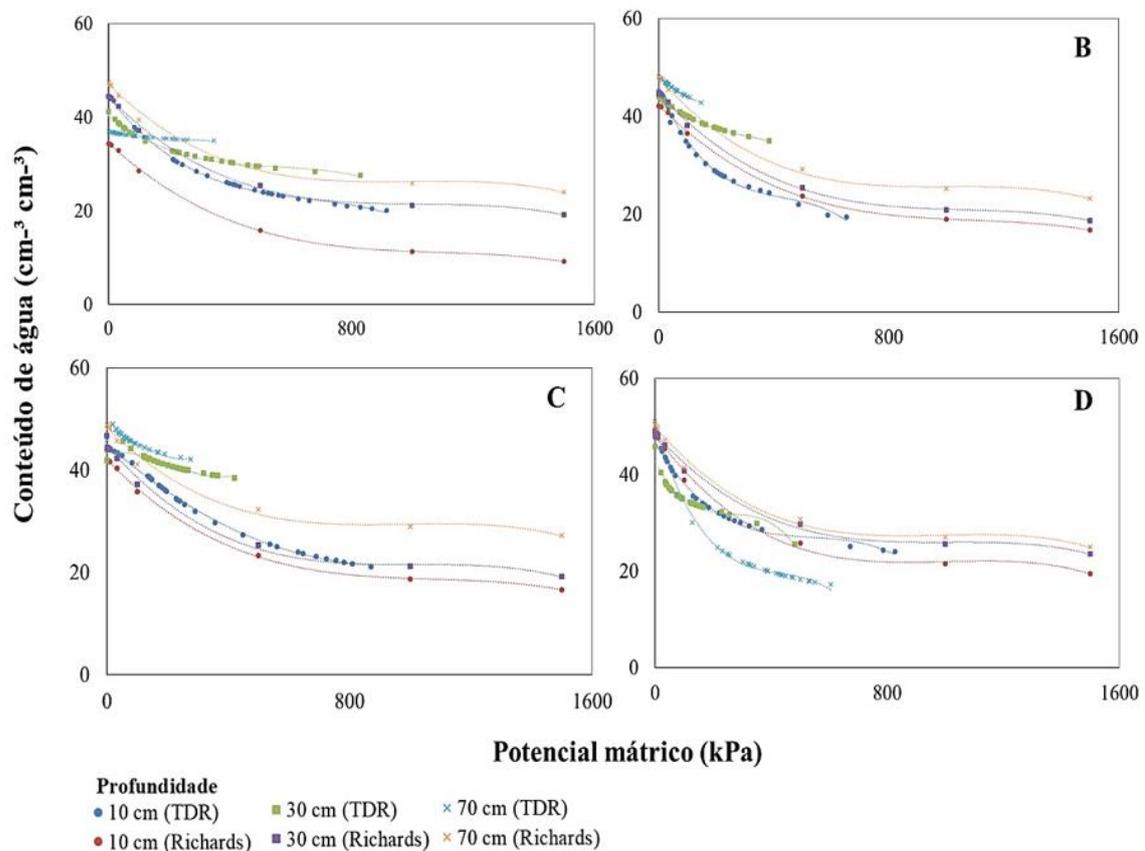
A pastagem apresentou as menores variações no conteúdo de água do solo ao longo do perfil (Figura 3B), sendo as maiores variações encontradas na camada superficial. O valor médio da umidade foi de 35,74%, variando de 32,68% na camada a 20 cm e 39,51% na camada a 100 cm. Vale destacar que o sistema radicular da pastagem geralmente é do tipo axial, concentrando-se principalmente na superfície, interferindo no conteúdo de água dessa camada. Ao longo da profundidade o conteúdo de água do solo permaneceu estabilizado, acumulando ao longo do perfil. Sazonalmente, maiores valores de conteúdo de água no solo foram observados no inverno (36,69%) e os menores no verão (34,87%).

A área de reflorestamento também apresentou as maiores variações na camada de 0 a 20 cm (Figura 3C), sendo que a partir da camada de 60 cm a umidade estabilizou, possivelmente devido à influência do sistema radicular das plantas utilizadas no reflorestamento. Segundo Albaugh et al. (2013) florestas plantadas são caracterizadas por sistemas radiculares profundos, copas altas, dosséis densos e perenes durante todo o ano, consumindo grandes quantidades de água do solo. Abaixo dos 60 cm o teor de umidade voltou a variar até os 100 cm, possivelmente devido a granulometria do solo que apresentou baixos teores de areia e silte e maiores de argila (Figura 2). O perfil do reflorestamento apresentou em média 35,21% de umidade, com menores valores na camada de 20 cm (29,97%) e os maiores na de 80 cm (39,28%). As condições sazonais foram semelhantes aos demais usos, com maiores valores no inverno e menores no verão.

A floresta nativa apresentou um perfil diferenciado em relação ao conteúdo de água do solo, com alta variabilidade na camada superficial (10,89% a 34,85%) (Figura 3D). O aumento da umidade nas camadas ocorreu até os 60 cm, demonstrando função natural de preservação da camada superficial do solo por meio de fontes como subprodutos sazonais e serapilheira. A partir da camada de 60 cm as médias reduziram possivelmente devido a influência do sistema radicular das plantas (LOBET et al., 2014). Gao et al. (2014) também observaram baixos valores de umidade próximos a zona radicular, principalmente durante o verão. Essa dinâmica também pode ser atribuída à granulometria do solo, já que maior teor de areia e silte foram encontrados nessas camadas (Figura 2). Em geral, solos arenosos apresentam menor capacidade de retenção de água e conseqüentemente menores teores de umidade do solo. O outono foi a estação mais úmida (33,68%) e o verão a mais seca (31,60%). As condições sazonais foram semelhantes nos usos de solos monitorados, com maiores valores no inverno e no outono, e menores no verão possivelmente devido a maior evapotranspiração.

Na Figura 4 foram apresentadas as curvas de retenção de água no solo determinadas pelo método de Richards, pelos tensiômetros e com TDR. As curvas de campo demonstram as reais condições do meio natural, no qual influências lentas podem ser visualizadas devido a processos de umedecimento e secagem, da textura do solo e do sistema radicular da vegetação. As reduções no conteúdo de água foram maiores nas tensões de 0 a 100 kPa, relacionadas a perda de água pelos macros e mesoporos.

Figura 4. Curvas de retenção obtidas pelo método de Richards e a campo com uso do TDR para as áreas de agricultura (A), pastagem (B), reflorestamento (C) e floresta nativa (D), na bacia hidrográfica do ribeirão Concórdia, Lontras (SC), Brasil



O método de Richards mostrou uma relação adequada entre o conteúdo de água e as profundidades. Segundo o método de Richards o menor conteúdo de água foi encontrado na profundidade de 10 cm, seguido pelas profundidades de 30 e 70 cm, comportamento também verificado pelo TDR, exceto na área de floresta, onde os menores valores de umidade ocorreram na profundidade de 70 cm.

Os maiores valores de tensão no campo foram a 10 cm de profundidades na área de agricultura (916 kPa) e no reflorestamento (871 kPa), resultado da influência de períodos de estiagem ocorridos nos meses de fevereiro e março de 2015. Já nas profundidades de 30 e 70 cm, as curvas apresentaram menor representatividade em função dos baixos valores de tensão de água no solo. A limitação nas medidas do potencial

matricial dos tensiômetros, levantada por Otto e Alcaide (2001), é uma desvantagem na obtenção das curvas de retenção a campo. Em compensação, os menores valores de tensões proporcionam uma boa similaridade entre os resultados obtidos pelos diferentes métodos de determinação das curvas (CENTURION; MORAES; DELLA LIBERA, 1997). Os teores de umidade diminuiram linearmente com o aumento do potencial matricial.

A diferença entre os dados de campo e de laboratório foi observada nas altas tensões, pois as menores diferenças ocorreram em potenciais matriciais menores que 100 kPa e as maiores para potenciais acima de 500 kPa. Já que neste estudo a curva de retenção de água determinada no campo foi estimada para o potencial hídrico de até 149 kPa, tensão obtida na camada a 70 cm de profundidade na pastagem e de

916 kPa a 10 cm de profundidade na área de agricultura. Estes valores estão relacionados as pressões máximas determinadas pelos tensiômetros. Segundo Wassar et al. (2016) uma das limitações no uso de tensiômetros está ligado aos limites de determinação da tensão de água do equipamento. Braudeau et al. (2014), no entanto, consideram esse intervalo suficiente para representar variações em pressões, em pelo menos 1.500 kPa.

Na área de agricultura (Figura 4A) os menores valores de umidade ocorreram na camada a 10 cm de profundidade a uma tensão de 1.500 kPa, com teor mínimo de 9,18% e máximo de 20,16% em uma tensão de 916 kPa. Os maiores teores de água no solo ficaram concentrados na profundidade de 70 cm para ambos os usos, sendo que por Richards o solo chegou à umidade de 23,97% a 1.500 kPa, ou seja, o método de Richards subestimou os valores reais de umidade do solo em 9,0% ao longo do perfil. Bittelli e Flury (2009) também relataram diferentes resultados de retenção de água no solo utilizando métodos parecidos.

Na pastagem (Figura 4B) as curvas de retenção a 10 cm de profundidade mostraram uma dinâmica similar para os dois métodos. Por Richards as curvas estabilizaram a partir de 1.000 kPa, sendo que a profundidade de 70 cm apresentou as maiores retenções, com 23,21% a 1.500 kPa e a menor com 16,74% na mesma pressão. Estes resultados podem estar ligados a efeitos hidráulicos ocorridos nas medições laboratoriais, que não ocorrem no campo.

No reflorestamento foram obtidos os maiores valores de retenção de água no solo (Figura 4C), explicado pela granulometria, que possui altos teores de argila e silte. O solo desta área é do tipo argiloso, com concentrações que variaram de 46,65% a 58,15% de argila, de 32,53% a 41,44% de silte e de 9,32% a 13,81% de areia. De acordo com Li, Chang e Salifu (2014) a granulometria do solo é um dos

fatores que afetam a infiltração e a redistribuição da água no solo. Como na pastagem, o reflorestamento não apresentou diferença significativa entre os dois métodos nas camadas superficiais. O método de Richards subestimou os valores de umidade do solo em 11,61 e 6,01% nas profundidades de 30 e 70 cm, respectivamente.

Na Figura 4D se observa que as curvas de retenção de água na área de floresta nativa apresentaram similaridade, exceto na profundidade de 70 cm. Nesta profundidade os tensiômetros registraram um conteúdo de água médio de 17,16% em um potencial matricial de 605 kPa, enquanto neste mesmo potencial a umidade obtida pelo método de Richards foi de 28,31%, ou seja, os valores de umidade foram superestimados em 11,14%. A baixa umidade nesta camada está relacionada com à granulometria do solo, que apresentou teores de 39,67% de areia, 41,18% de silte e 19,15% de argila (Figura 2). As altas concentrações de areia e silte formam uma espécie de camada drenante da água, o que justifica os baixos valores de umidade obtidos através da sonda TDR nesta profundidade durante as campanhas de campo (Figura 3). A granulometria desta camada pode ter aumentando o erro no laboratório, pois, apesar dos cuidados tomados durante a amostragem, pode ter ocorrido danos aos poros da amostra em virtude da baixa estruturação e pouco contato hidráulico entre a amostra e a placa porosa, como relatado por Cresswell, Green e Mckenzin, 2008.

Os parâmetros da equação de van Genuchten utilizada para o ajuste das curvas obtidas pelo método de Richards e a campo com uso do TDR são apresentados na Tabela 2. Os parâmetros variaram significativamente entre os dois métodos nos diferentes usos e profundidades do solo. A umidade de saturação (θ_s) obtida pelo TDR foi maior que a obtida pelo método de Richards na profundidade de 10 cm em

todos os usos. Observa-se que a maior diferença ocorreu no uso de culturas anuais, onde na profundidade de 10 cm a diferença foi de $0,043 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, apresentando maior saturação pelo método do TDR e de $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ a maior saturação determinada pelo método de Richards. Estes resultados mostram que a saturação das amostras no laboratório não foi eficiente para atingir os valores máximos, pois no campo os valores de saturação foram superiores. Para Bittelli e Flury (2009), a elaboração de curvas de

retenção de água por meio de amostras de solo com estrutura preservadas é duvidosa, pois a microporosidade é modificada durante o preparo das amostras e nos processos de umedecimento e secagem. Além disso, os maiores valores de θ_s podem estar ligados a erros nos valores iniciais de umidade obtido pelos tensiômetros, tendo em vista que o tempo de resposta dos tensiômetros em relação à velocidade dos processos é impreciso (GHIBERTO; MORAES, 2011).

Tabela 2. Parâmetros da equação de van Genuchten e valores ajustados das curvas de retenção, obtidas na câmara de Richards e a campo com uso do TDR para os diferentes usos da terra na bacia hidrográfica do ribeirão Concórdia, Lontras (SC), Brasil

Pf	θ_s		θ_r		α		n		m		
	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$		$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$		cm^{-1}		-		-		
	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	
A	10	0,402	0,445	0,060	0,047	0,007	0,010	1,533	1,410	0,347	0,291
	30	0,444	0,411	0,083	0,038	0,010	0,020	1,432	1,152	0,301	0,137
	70	0,474	0,370	0,094	0,042	0,015	0,020	1,306	1,031	0,234	0,030
F	10	0,482	0,501	0,096	0,078	0,012	0,020	1,461	1,321	0,315	0,243
	30	0,488	0,519	0,098	0,092	0,013	0,061	1,347	1,418	0,258	0,106
	70	0,504	0,513	0,102	0,064	0,016	0,022	1,312	1,530	0,238	0,346
P	10	0,421	0,453	0,071	0,060	0,007	0,015	1,525	1,690	0,344	0,408
	30	0,446	0,442	0,082	0,068	0,008	0,012	1,479	1,171	0,324	0,146
	70	0,481	0,481	0,096	0,078	0,011	0,012	1,346	1,141	0,257	0,124
R	10	0,419	0,441	0,071	0,065	0,008	0,014	1,509	1,744	0,337	0,426
	30	0,466	0,519	0,095	0,012	0,014	0,061	1,411	1,121	0,291	0,108
	70	0,488	0,510	0,097	0,091	0,018	0,044	1,243	1,093	0,196	0,085

A – agricultura; F – floresta nativa; P – pastagem; R – reflorestamento; Pf – profundidade em cm; R – Método de Richards; T – Método do TDR; ** θ_s – teor de água saturada; θ_r – teor de água residual; α , n e m – parâmetros de ajuste de curva

O método de Richards proporcionou maiores valores de umidade residual (θ_r) em todas as profundidades e usos do solo. Os valores máximos determinados por este método foram obtidos na área de agricultura, com $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ a 70 cm de profundidade e mínimos de $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ a 10 cm. Os valores elevados de θ_r também foram encontrados na floresta nativa, com valor máximo de $0,11 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ a 70 cm de profundidade e mínimos de $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ a 30 cm. Os altos valores de θ_r obtidos através do método de Richards podem estar

ligados à falta de equilíbrio hidráulico das amostras com as placas porosas. De acordo com Cresswell, Green e Mckenzin (2008), a falta de equilíbrio hidráulico é um dos possíveis erros encontrados na determinação das curvas de retenção com placas porosas, onde o equilíbrio não é atingido em um potencial matricial de 1.500 kPa, mesmo com ausência do fluxo de água no dreno da placa porosa. Schelle et al. (2012) em um estudo de comparação de métodos laboratoriais para determinar CRAS, também salientaram que o solo pode

não atingir o equilíbrio hidráulico nas placas porosas em um potencial hídrico a 1.500kPa. Além do problema com o equilíbrio hidráulico, Solone et al. (2012) destacam erros gerados pelo Extrator de Richards que podem estar ligados à baixa condutância da placa de pressão, falta de contato adequado do solo-placa e a dispersão do solo. Os mesmos autores relatam que em tensões acima de 150 mca, a condutividade hidráulica é tão baixa que levaria meses para atingir o equilíbrio hidráulico. Vale destacar que a θ_r é um parâmetro que define o conteúdo de água para que o gradiente se torne zero e, na maioria dos estudos, sua determinação é calculada pela extrapolação dos dados de retenção de água disponível para tensões baixas. Desta forma, fica evidente que a extrapolação da θ_r a partir de dados laboratoriais é imprecisa, pois gera uma faixa de umidade diferente das encontradas nas condições de campo (GHIBERTO; MORAES 2011).

O método de determinação das curvas de retenção pelo TDR apresentou maiores valores de α em todos os usos e profundidades, pois o parâmetro está associado às alterações na estrutura física do solo. Segundo Wang et al. (2009) a variação espacial dos parâmetros das curvas de retenção pode ocorrer em função de processos físicos, químicos e biológicos que operam em diferentes escalas espaciais. O parâmetro n está relacionado com a inclinação da curva de retenção, e é considerado o índice de distribuição de tamanho dos poros. Os valores médios de n campo variaram entre 1,37 para área de agricultura e 1,45 para pastagem, enquanto que no laboratório os valores variaram entre 1,19 e 1,33 para os mesmos usos. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Magalhães et al. (2018) em áreas com sistema de produção integrada e por Souza et al. (2018) em área de floresta Ombrófila

Mista. O método de Richards também apresentou maiores diferenças nos valores do parâmetro n na profundidade de 30 cm em todos os usos do solo, com diferenças de 0,20 no reflorestamento, 0,26 na floresta nativa, 0,28 nas culturas anuais e de 0,31 na pastagem. O parâmetro m apresentou variação significativa entre os dois métodos, com valores que variam entre 14,21% e 20,94%. Estes resultados são próximos aos obtidos por Moradi, Moosavi e Moghaddam (2016), que encontraram dispersão nos valores de m de 11,35%.

Os valores médios diários do conteúdo de água no solo determinado pelos dois métodos estão representados na Tabela 3. Como já encontrado anteriormente, o método de Richards também subestimou os valores do conteúdo de água na profundidade de 10 cm em todos os usos. Já, nas demais profundidades, o método superestimou os valores, chegando a alcançar uma diferença diária de 8,9% na agricultura a 70 cm de profundidade. Pelo mesmo método percebeu-se que os valores do conteúdo de água foram aumentando linearmente das camadas superficiais em relação as camadas mais profundas. Em todos os usos, a determinação na profundidade de 10 cm apresentou os menores volumes de água e os maiores desvios padrões. Este resultado pode ser atribuído à evaporação, que promove um secamento mais rápido da água do solo ou do processo de umedecimento através da precipitação. Os maiores valores de água no solo, por sua vez, foram determinados na floresta, variando de 40,42% a 10 cm de profundidade à 44,09% na profundidade 70 cm, ou seja, o teor médio diário de água no perfil do solo foi de 42,22%. No reflorestamento ocorreram os menores volumes de água no solo, com valores que variaram de 35,19% a 10 cm e de 42,13% a 70 cm, ou seja, uma média diária de 38,38%.

Tabela 3. Valores médios e diferença do conteúdo de água no perfil do solo para os diferentes usos, estimado pelas duas curvas de retenção (Richards e TDR) na bacia hidrográfica do ribeirão Concórdia, Lontras (SC), Brasil

	Pf (cm)	R		TDR		R x TDR	R ²
				%			
A	10	34,2	± 7,7*	37,1	± 8,3*	-2,9	0,997
	30	39,9	± 5,9	37,6	± 3,4	2,3	0,990
	70	43,5	± 4,6	34,6	± 2,1	8,9	0,995
F	10	42,4	± 5,9	44,2	± 5,4	-1,8	0,985
	30	42,2	± 5,4	36,6	± 3,9	5,5	0,764
	70	44,1	± 5,2	38,7	± 8,2	5,4	0,934
P	10	36,2	± 6,1	37,5	± 7,1	-1,3	0,967
	30	40,8	± 5,2	35,3	± 4,3	5,5	0,839
	70	44,5	± 3,3	39,8	± 3,2	4,7	0,836
R	10	35,2	± 6,9	38,5	± 6,8	-3,3	0,979
	30	38,4	± 7,5	35,8	± 3,7	2,7	0,935
	70	42,1	± 5,6	39,8	± 3,5	2,4	0,935

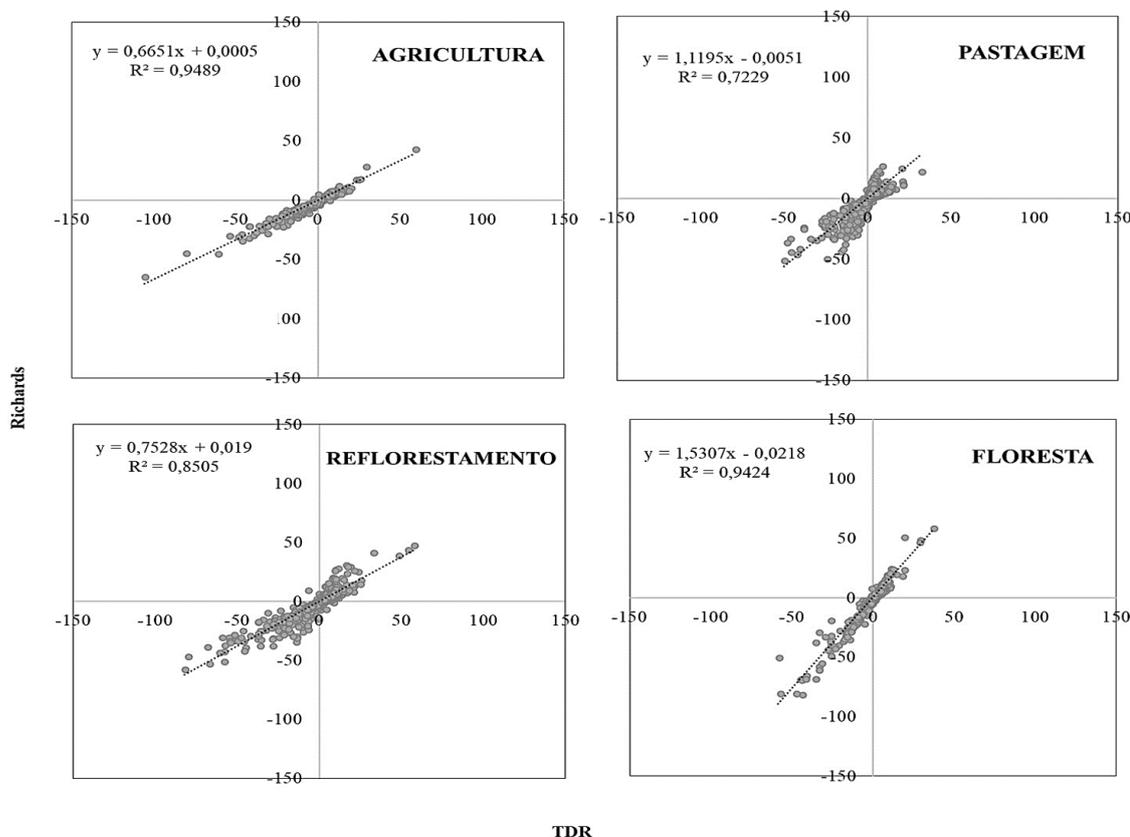
A – agricultura; F – floresta nativa; P – pastagem; R – reflorestamento; Pf – profundidade em cm; R - Método de Richards; T – Método do TDR; *desvio padrão

O método do TDR variou entre usos e profundidades, ou seja, não houve padrão de umidade ao longo do perfil. Este resultado mostra reais condições hídricas do solo e as influências recebidas pelas condições atmosféricas, estruturais e texturais do solo. Os menores valores de umidade foram encontrados para a agricultura, com maiores desvios padrão a 10 cm de profundidade. Nesta área, os menores valores determinados foram de 34,56 % na profundidade de 70 cm e os maiores de 37,10% na profundidade de 10 cm. Os maiores volumes de água foram encontrados na área de floresta nativa, com valores que variaram de 38,72% na maior profundidade (70 cm) e de 44,23% na menor (10 cm). Importante destacar que neste uso de solo na profundidade de 70 cm também ocorreu o maior desvio padrão.

Este resultado está relacionado com retenção de água em relação a textura mais fina de solo encontrado, como mostra a Figura 2 e já citado no texto. Além disso, Solane et al. (2012) relata que os Extratores de Richards proporcionam erros nas propriedades hidráulicas dos solos de textura mais fina.

A correlação da variação diária de armazenamento de água no perfil do solo ao longo do estudo determinado pelos métodos para os diferentes usos está representada na Figura 5. A análise de correlação entre os dois métodos demonstrou boa correspondência entre as curvas de retenção na área com culturas anuais e floresta com R² de 0,95 e 0,94, respectivamente. E correlações inferiores para a pastagem (R² = 0,74) e no reflorestamento (R² = 0,85).

Figura 5. Regressão linear da variação do armazenamento de água no perfil do solo determinados pelas curvas de laboratório e a campo na bacia hidrográfica do ribeirão Concórdia, Lontras (SC), Brasil



O armazenamento diário médio de água no solo da área de agricultura apresentou variação significativa ($p < 0,05$) entre valores de -21,92 a +12,63 mm na área com culturas anuais, com máxima de 59,13 mm em períodos de saturação e de -105,88 mm em períodos de restrição hídrica. Na área florestal os valores médios diários variaram de -19,64 a +10,16 mm, com teores máximos de 59,09 mm e mínimos de -80,09 mm. Para os demais usos a variação de armazenamento ficou entre -22,77 a +11,89 mm na pastagem e de -21,94 a +13,29 mm no reflorestamento.

6 CONCLUSÕES

1 – Métodos alternativos para obtenção das curvas de retenção da água no solo são fundamentais para os setores

agroambientais, principalmente para ações de planejamento de culturas irrigadas e no monitoramento de parâmetros hidrológicos.

2 – As curvas de retenção determinadas a campo por meio de tensiômetros e TDR mostraram uma melhor representatividade do comportamento hídrico do solo no campo ao longo do perfil em relação as curvas determinadas em laboratório (Extrator de Pressão de Richards).

3 – A determinação das curvas de retenção pelo método dos Extratores de Richards foi afetada pela saturação das amostras e pelo equilíbrio hidráulico.

4 – O método dos Extratores de Richards subestimou o conteúdo de água nas áreas monitoradas com os maiores potenciais matriciais (agricultura, pastagem e reflorestamento) e superestimou em áreas

de menor potencial matricial (florestas nativas).

5 – As curvas de retenção obtidas em campo demonstraram maior eficiência para a determinação do conteúdo de água do solo, tendo em vista erros provenientes de determinação laboratorial e a praticidade das respostas.

7 RECOMENDAÇÕES

1 - Apesar da boa representatividade das curvas de retenção é necessário um período relativamente longo de dados de tensiometria e de medidas de TDR no sentido de possibilitar dados de respostas dos processos hidrológicos na interface solo-atmosfera. Sendo que para que estes dados sejam adequados são necessários períodos de estresse hídrico e altos teores de água no solo, para uma melhor abrangência das curvas.

2 – No entanto, dados de monitoramento em campo devem ser acompanhados de monitoramento de amostras laboratoriais, no sentido de fornecer uma validação dos resultados encontrados pelos sensores de monitoramento contínuo. Apenas assim, o monitoramento real-time seja por tensiômetros ou por TDR e transmissão telemetria poderá fornecer dados de alta confiabilidade.

3 – Recomenda-se a implantação de mais observatórios de monitoramento do conteúdo e de transporte de água no solo, por métodos diretos e indiretos, no sentido de aumentar o número de dados monitorados, gerando uma base de dados comparativa sobre os processos hidrológicos, que são essenciais para o planejamento das culturas irrigadas e da gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

4 – Outra sugestão seria a realização de ensaios por meio de tensiometria e TDR em locais controlados com a aplicação de chuvas simuladas, no sentido de se obter diferentes gradientes de saturação do solo, importante no entendimento de processos padrões, histereses (umedecimento e secagem) e modelagem da interface solo-atmosfera, essencial para o ajuste das curvas.

8 AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio recebido da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001 e processo 88881.143991/2017-01, ao CNPq (processos 403739/2013-6 e 309980/2017-8) e ao Laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages.

9 REFERÊNCIAS

ALBAUGH, J. M.; DYE, P. J.; KING, J. S. *Eucalyptus* and water use in South Africa. **International Journal of Forestry Research**, London, v. 2/4, p. 11, 2013.

ARSOY, S.; OZGUR, M.; KESKIN, E.; YILMAZ, C. Enhancing TDR based water content measurements by ANN in sandy soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 195/196, p. 133-144, 2013.

BITTELLI, M.; FLURY, M. Errors in water retention curves determined with pressure plates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, n. 5, p. 1453-1460, 2009.

BRAUDEAU, E.; HOVHANNISSIAN, G.; ASSI, A. T.; MOHTA, R. H. Soil water thermodynamic to unify water retention curve by pressure plates and tensiometer. **Frontiers of Earth Science**, Thompson, v. 2, n. 30, p. 1-13, 2014.

BROCCA, L.; CIABATTA, L.; MASSARI, C.; CAMICI, S.; TARPANELLI, A. Soil moisture for hydrological applications: open questions and new opportunities. **Water**, Basel, v. 9, n. 2, p. 1-20, 2017.

CENTURION, J. F.; MORAES, M. H.; DELLA LIBERA, C. L. F. Comparações de métodos para determinação da curva de retenção de água em solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 173-179, 1997.

CRESSWELL, H. P.; GREEN, T. W.; MCKENZIN, N. J. The adequacy of pressure plate apparatus for determining soil water retention. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 72, n. 1, p. 41-49, 2008.

DOBRIYAL, P.; QURESHI, A.; BADOLA, R.; HUSSAIN, A. S. A review of the methods available for estimating soil moisture and its implications for water resource management. **Journal of Hydrology**, Amsterda, v. 458-459, n. 21, p. 110-117, 2012.

DUKES, M. D.; ZOTARELLI, L.; MORGAN, K. T. Use of irrigation technologies for vegetable crops in Florida. **Horticultural Technology**, Nongsaengmyeong-ro, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, v. 20, n. 1, p. 133-142, 2010.

GAO, X.; WU, P.; ZHAO, X.; WANG, J.; SHI, Y. Effects of land use on soil moisture variations in a semi-arid catchment: implications for land and agricultural water management. **Land Degradation & Development**, Cambridge, v. 25, n. 2, p. 163-172, 2014.

GHIBERTO, P. J.; MORAES, S. O. Comparação de métodos de determinação da condutividade hidráulica em um Latossolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1177-1188, 2011.

GOTARDO, R.; PIAZZA, G. A.; TORRES, E.; SEVERO, D. L.; KAUFMANN, V. Distribuição espacial e temporal das chuvas no estado de Santa Catarina. **Geosul**, Florianópolis, v. 33, n. 67, p. 253-276, 2018.

LI, X.; CHANG, S. X.; SALIFU, F. Soil texture and layering effects on water and salt dynamics in the presence of a water table: a review. **Environmental Review**, Ottawa, v. 22, n. 1, p. 41-50, 2014.

LOBET, G.; COUVREUR, V.; MEUNIER, F.; JAVAUX, M.; DRAYE, X. Plant water uptake in drying soils. **Plant Physiology**, Rockville, v. 4, n. 164, p. 1619-1617, 2014.

MAGALHÃES, W. A.; FREDDI, O. S.; WRUCK, F. J.; PETTER, F. A.; TAVANTI, R. R. Soil water retention curve and index as soil physical quality indicators for integrated production systems. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 1, p. 64-73, 2018.

- MELO, T. M.; BRETANHA, S. S. F.; PEREIRA, M.; CASTRO, N. M. R.; LOUZADA, J. A.; OLIVEIRA, M. H. C. Comparação de modelos para determinação indireta da curva de retenção de água no solo: aplicação em solos da bacia do Arroio Taboão, RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 571-582, 2015.
- MONTEBELLER, C. A.; MARTINS, C. L. Manejo eficiente da água na agricultura. **Incaper em Revista**, Vitória, v. 6/7, n. 4, p. 72-81, 2016.
- MORADI, F.; MOOSAVI, A. A.; MOGHADDAM, B. K. Spatial variability of water retention parameters and saturated hydraulic conductivity in a calcareous Inceptisols (Khuzestan province of Iran) under sugarcane cropping. **Archives of Agronomy and Soil Science**, London, v. 52, n. 12, p. 1686-1699, 2016.
- OTTO, S. R. L.; ALCAIDE, M. Utilização do método TDR-tensiômetro na obtenção da curva de retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 265-269, 2001.
- PAULA, G. R.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S.; SOUZA, C. F.; DIAS, N. W.; PERES, J. G. Avaliação do comportamento da umidade do solo em áreas de eucalipto e de floresta nativa. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, n. 8, p. 237-252, 2013.
- PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 188-199, 2009.
- REICHARDT, K.; TIM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos e aplicações**. 2. ed. Barueri: Manole, 2012.
- POTTER, R. O.; CARVALHO, A. P.; FLORES, C. A.; BOGNOLA, I. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).
- SCHELLE, H.; HEISE, L.; JÄNICKE, K.; DURNER, W. Water retention characteristics of soils over the whole moisture range: a comparison of laboratory methods. **European Journal of Soil Science**, United Kingdom, v. 64, n. 6, p. 814-821, 2012.
- SOLONE, R.; BITTELLI, M.; TOMEI, F.; MORARI, F. Errors in water retention curves determined with pressure plates: Effects on the soil water balance. **Journal of Hydrology, Amsterda**, v. 470/471, p. 65-74, 2012.
- SOUZA, C. F.; SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; COELHO, E. F. Monitoramento do teor de água no solo em tempo real com as técnicas de TDR e FDR. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 26-42, 2016.
- SOUZA, J. L. M.; FEZER, K. F.; GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D.; PACHECHENIK, P. E.; EVANGELISTA, A. W. P. Atributos físicos e balanço hídrico do solo com floresta ombrófila mista, em Latossolo vermelho-amarelo, em Telêmaco Borba – PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 90-101, 2018.

- STATSOFT. **Statistica for Windows**: computer program manual. Tulsa: Statsoft Inc., 2004.
- SUSHA LEKSHMI, S.; SINGH, D.; TARANTINO, A.; BAGHINI, M. A critical review of soil moisture measurement. **Measurement**, Oxford, n. 54, p. 92-105, 2014.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.
- WANG, Z. Y.; SHU, Q. S.; LIU, Z. X.; SI, B. C. Scaling analysis of soil water retention parameters and physical properties of a Chinese agricultural soil. **Australian Journal of Soil Research**, Clayton South, v. 47, n. 8, p. 821-82, 2009.
- WASSAR, F.; GANDOLFI, C.; RIENZNER, M.; CHIARADIA, E. A.; BERNARDONI, E. Predicted and measured soil retention curve parameters in Lombardy region north of Italy. **International Soil and Water Conservation Research**, Beijing, v. 4, n. 3, p. 207-214, 2016.