

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**REGIONAL JATAÍ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ESTABILIDADE TEMPORAL DO CONTEÚDO DE ÁGUA  
NO PERFIL DE UM LATOSSOLO VERMELHO  
DISTROFÉRICO SOB DIFERENTES USOS**

**Claudinei Martins Guimarães**

Engenheiro Agrônomo

JATAÍ - GOIÁS - BRASIL

Fevereiro de 2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**REGIONAL JATAÍ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ESTABILIDADE TEMPORAL DO CONTEÚDO DE ÁGUA  
NO PERFIL DE UM LATOSSOLO VERMELHO  
DISTROFÉRICO SOB DIFERENTES USOS**

**Claudinei Martins Guimarães**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa**  
**Co-orientador: Prof. Dr. Leandro Flávio Carneiro**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JATAÍ - GOIÁS – BRASIL

Fevereiro de 2015

Ficha catalográfica elaborada automaticamente  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob orientação do Sibi/UFG.

Guimarães, Claudinei Martins

Estabilidade temporal do conteúdo de água no perfil de um  
Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes usos [manuscrito] /  
Claudinei Martins Guimarães. - 2015.  
xiii, 62 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa; co-orientador  
Dr. Leandro Flávio Carneiro.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Regional  
Jataí, Jataí, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Jataí, 2015.  
Bibliografia.


Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. Reflectometria no domínio do tempo. 2. Umidade do solo. 3.  
Variação temporal. 4. Diferença relativa. 5. Estatística não-paramétrica. I.  
Costa, Dr. Carlos Alexandre Gomes, orient. II. Carneiro, Dr. Leandro  
Flávio, co-orient. III. Título.

CLAUDINEI MARTINS GUIMARÃES

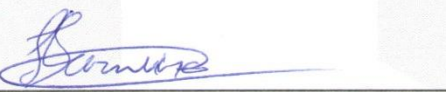
TÍTULO: "ESTABILIDADE TEMPORAL DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO  
PERFIL DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB  
DIFERENTES USOS"

Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 13 de fevereiro de 2015,  
pela Banca Examinadora constituída pelos membros:



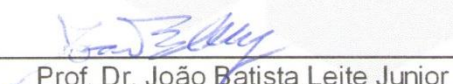
---

Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa  
Presidente – CAJ/UFG



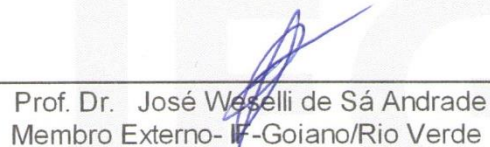
---

Prof. Dr. Leandro Flávio Carneiro  
Membro – CAJ/UFG



---

Prof. Dr. João Batista Leite Junior  
Membro - CAJ/UFG



---

Prof. Dr. José Weselli de Sá Andrade  
Membro Externo- IF-Goiano/Rio Verde

Jataí - Goiás  
Brasil

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**CLAUDINEI MARTINS GUIMARÃES** – nascido em Viçosa – MG, no dia 29/12/1981, filho de José Martins Guimarães e Eva Sant'ana Guimarães. Em janeiro de 2011, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), onde foi estagiário nos departamentos de Engenharia Agrícola e Fitotecnia da UFV durante a graduação. Em 2006 e 2007 (18 meses), participou de intercâmbio como estudante e estagiário na Universidade de Minnesota – EUA e na empresa Betaseed inc. – EUA. No ano de 2011, atuou como professor de ensino superior na Faculdade UNIVERTIX em Matipó – MG, na área de Recursos Hídricos. No período entre abril de 2011 a novembro de 2012, foi bolsista de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial (DTI) do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo Departamento de Fitotecnia da UFV. Em março de 2013, iniciou o curso de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal, Stricto Sensu, nível mestrado, pela Universidade Federal de Goiás (UFG), Regional Jataí - GO, obtendo o título de Mestre no dia 13 de fevereiro de 2015.

*“Então a nossa boca se encheu de riso e a nossa língua de cânticos; então se  
dizia entre as nações: Grandes cousas fez o Senhor a estes.  
Grandes cousas fez o Senhor por nós, e por isso estamos alegres.”*

*Salmo 126:2-3*

*À Deus,  
que me ensinou os valores e  
princípios da vida, e a sabedoria  
que homem algum pode oferecer,  
pois sei que ele sempre estará comigo,  
em todos os momentos  
que eu desejar estar com ele.*

**Dedico.**

*À minha esposa Aline.*

*Você é um exemplo de sabedoria,  
paciência e companheirismo.*

*Obrigado por sempre me apoiar e  
estar ao meu lado todo esse tempo.*

*Te amo muito!*

**Ofereço.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que nunca me desamparou e que sempre esteve à frente nas minhas decisões e nas da minha família, ao qual dedico esta dissertação.

Aos meus familiares: meu pai Jose Martins Guimarães, que sempre será um exemplo de dignidade e honestidade; minha mãe Eva Sant'ana Guimarães, mulher simples, esforçada e que nunca deixou de cuidar dos filhos da melhor forma possível; meus irmãos José Geraldo, João, Dionísio, Denísia, Hermínia, Verinha e Deleíse, com os respectivos esposos, esposas, filhos e filhas. Não tenho palavras para expressar o quanto os amo e o quão bom é ter todos vocês em minha vida.

À minha esposa Aline Baldez Felismino Guimarães, pelo carinho, atenção, companheirismo e dedicação a nós, a quem ofereço esta dissertação.

Aos irmãos da Igreja Cristã Maranata de Rio Verde - GO, pela assistência, pelo cuidado e carinho dados a mim e a minha esposa, principalmente pelas orações. "... A oração de um justo pode muito em seus efeitos" (*Tiago 5:16*).

Ao meu orientador Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa, e ao Prof. Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho e suas respectivas famílias, pelo apoio, confiança, compreensão e principalmente, pela amizade que nunca faltou durante todo esse período. Sou grato por tudo que têm feito por mim e minha esposa. Obrigado!

Aos professores da banca de defesa Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa, Dr. Leandro Flávio Carneiro, Dr. José Weselli de Sá Andrade e Dr. João Batista Leite Junior, pelas sugestões e contribuições no enriquecimento deste trabalho.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí, pelo apoio técnico e científico, bem como pelo provimento da área experimental, em especial ao Programa de pós-graduação em Agronomia/Produção Vegetal pela oportunidade da realização deste curso.



Ao grupo HIDROSED/UFC (Grupo de Pesquisa Hidrosedimentológica do Semiárido) pela concessão do equipamento de TDR.

Ao coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/ Produção Vegetal, Dr. Edésio Fialho dos Reis, pelo apoio geral.

Aos professores: Dr. Hildeu Ferreira da Assunção e Dr. Helder Barbosa Paulino, pela contribuição na banca de qualificação; Dr. Paulo César Timossi e Dr. José Hortêncio Mota, pelo auxílio científico e apoio estrutural na obtenção de alguns dados da pesquisa.

Ao meu co-orientador Dr. Leandro Flávio Carneiro pelo apoio científico e disponibilização do laboratório de solos da UFG, bem como ao técnico Marcos pelo apoio na realização das análises laboratoriais.

A todos os professores e alunos, sem exceção, que sempre nos apoiaram nesse trabalho, seja com recursos, opiniões e até com uma boa conversa como amigo, fornecendo-me informações valiosas para meu crescimento como pesquisador e profissional.

À Moni, secretária do programa de pós-graduação em Agronomia, pela ajuda, paciência e amizade, desde o meu primeiro contato com a instituição.

Aos meus companheiros de trabalho, que foram extremamente importantes nas coletas de campo e análises de laboratório: Augusto, Wesley, Pedro Neto, Oleico, Lázaro Costa, Aurélio, Lázaro Vinícius, Gustavo, Tarcísio e Davi. A todos, o meu muito obrigado!

Aos funcionários do Núcleo de Pesquisas Agronômicas: Vânia, Sr. Mário, Fabiana e demais colaboradores, e também ao Sr. Gilmar, pelo auxílio e amizade.

Enfim, a todos os meus familiares, amigos, professores e colegas que mesmo à distância, direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho, seja incentivando ou orando por mim.

**Muito Obrigado a todos!**

## SUMÁRIO

	Página
1 LISTA DE FIGURAS .....	xi
2 LISTA DE TABELAS .....	xiii
3 CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	1
3.1 Referências Bibliográficas .....	6
4 CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÃO E CALIBRAÇÃO DE SENSOR PORTÁTIL TIPO TDR SOB TRÊS CONDIÇÕES DE USO E DIFERENTES PROFUNDIDADES DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO .....	9
4.1 Introdução .....	11
4.2 Material e métodos .....	13
4.2.1 Localização do Experimento .....	13
4.2.2 Área Experimental .....	13
4.2.3 Amostragem e Coleta dos dados .....	14
4.2.4 Análise dos dados .....	16
4.3 Resultados e discussão .....	17
4.3.1 Características do solo .....	17
4.3.2 Pré-ajuste da umidade do sensor TDR .....	19
4.3.3 Análise da equação geral de calibração do sensor TDR .....	22
4.3.4 Análise das equações de calibração dos sensores TDR de umidade do solo por uso e profundidade do solo .....	23
4.3.5 Análise comparativa das equações de calibração do sensor TDR de umidade do solo por uso e profundidade do solo com equação padrão do sensor .....	25
4.4 Conclusões .....	27
4.5 Referências bibliográficas .....	27
5 CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DA ESTABILIDADE TEMPORAL DA UMIDADE SOB TRÊS DIFERENTES USOS E PROFUNDIDADES DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO .....	30
5.1 Introdução .....	32
5.2 Material e métodos .....	33
5.2.1 Localização do Experimento .....	33
5.2.2 Área Experimental .....	33
5.2.3 Amostragem e Coleta dos dados .....	35
5.2.4 Análise da estabilidade temporal .....	35

5.3	Resultados e discussão.....	38
5.3.1	Características do solo .....	38
5.3.2	Análise do padrão temporal da umidade.....	47
5.3.3	Coefficiente de correlação de Sperman .....	50
5.3.4	Diferença Relativa .....	52
5.4	Conclusões.....	58
5.5	Referência Bibliográfica.....	59
6	CAPÍTULO 4 - IMPLICAÇÕES.....	62

## 1 LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1.** Localização do experimento (Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás - SIEG, 2014) (a); imagem de satélite da área de estudo (© Google Earth, 20/04/2014) (b); e Croqui da distribuição dos pontos de amostragem nas áreas de estudo (c).....14
- Figura 2.2.** Detalhes do equipamento TDR utilizado (“*HydroSense*” CD620/CS620®) composto pelo visor CD620 (direita), sensor CS620 (esquerda), com duas hastes de aço (A) e das hastes inseridas no solo durante a leitura (B).....15
- Figura 2.3.** Pré-ajuste da umidade do solo ( $\theta_{TDR}$ ) pelo período de resposta  $\tau$  (em milissegundos) do sensor TDR para os dois grupos de tratamentos formados pelo teste de Scott-knott.....21
- Figura 2.4.** Equação geral de calibração e correlação dos valores de umidade volumétrica do sensor TDR ( $\theta_{TDR}$ ) e umidade volumétrica de referência obtida por meio de gravimetria ( $\theta_R$ )..... 22
- Figura 2.5.** Validação da equação geral de calibração e correlação dos valores de umidade volumétrica do sensor TDR corrigidos ( $\theta_{TDR}$  corrigidos) e umidade volumétrica de referência obtida por meio de gravimetria ( $\theta_R$ ), considerando-se os nove pontos de coleta como referência para calibração do sensor.....23
- Figura 2.6.** Equações individuais de calibração e correlação entre umidade padrão volumétrica determinada pela gravimetria ( $\theta_p$ ) e umidade volumétrica ajustada do TDR ( $\theta_{TDR}$ ), para os sistemas de Plantio Direto (PD), Integração Lavoura – Pecuária (ILP) e Plantio Convencional (CONV), nas três profundidades.....24
- Figura 2.7.** Análise comparativa das equações de calibração do sensor TDR de umidade do solo por uso e profundidade do solo com equação padrão do sensor.....26
- Figura 3.1.** Localização do experimento (Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás - SIEG, 2014) (a); imagem de satélite da área de estudo (© Google Earth, 20/04/2014) (b); e Croqui da distribuição dos pontos de amostragem nas áreas de estudo (c).....34

- Figura 3.2.** Topografia do terreno nas áreas de estudo. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.....38
- Figura 3.3.** Distribuição espacial da densidade do solo em três sistemas de manejo e três profundidades. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.....41
- Figura 3.4.** Distribuição espacial da matéria orgânica do solo em três sistemas de manejo e três profundidades. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.....43
- Figura 3.5.** Distribuição espacial do teor de argila do solo em três sistemas de manejo e três profundidades. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.....44
- Figura 3.6.** Distribuição espacial da massa seca (em gramas) da Palhada oriunda de restos das culturas anteriores sobre o solo em três sistemas de manejo e três profundidades. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária.....45
- Figura 3.7.** Padrão temporal da umidade média do solo para os sistemas de Plantio Direto (PD), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Convencional (CONV). A precipitação e evapotranspiração (Makkink) diários também são apresentados.....47
- Figura 3.8.** Gráfico “Box Plot” da diferença relativa média para cada ponto de amostragem dos respectivos sistemas de manejo do solo.....53
- Figura 3.9.** Gráfico “Box Plot” da diferença relativa média para sistemas de manejo do solo em três profundidades. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.....54
- Figura 3.10.** Mapa de média e desvio padrão da diferença relativa nos três sistemas de manejo (PD, ILP e CONV) nas profundidades de 0 - 0,12 m (A), 0,12 - 0,24 m (B) e 0,24 - 0,36 m (C).....55
- Figura 3.11.** Histograma do Índice de Estabilidade Temporal (IET) para cada ponto de coleta em três profundidades dos três sistemas de manejo. As setas indicam os pontos com maior estabilidade temporal.....56
- Figura 3.12.** Representação em três dimensões do Índice de Estabilidade Temporal médio ( $IET_m$ ) para cada ponto de coleta em três sistemas de manejo. Os círculos indicam os pontos com menor  $IET_m$  e, conseqüente, maior estabilidade temporal.....57

## 2 LISTA DE TABELAS

- Tabela 2.1.** Resumo estatístico das características do solo (Anova e teste de “Scott-knott”,  $\alpha = 0,05$ ,  $n = 9$ )..... 18
- Tabela 2.2.** Equações de ajuste de  $\theta_{TDR}$  em relação a  $t$  para três sistemas distintos de manejo do solo e três profundidades diferentes, com respectivos coeficientes de regressão ( $R^2$ ), coeficientes de variação (CV) e números de termos utilizados na análise de variância.....20
- Tabela 2.3.** Teste “Scott-Knott” para as médias dos coeficientes lineares e angulares da relação entre  $\theta_{TDR}$  e  $t$  em três sistemas de manejo do solo e três profundidades diferentes.....21
- Tabela 3.1.** Resumo estatístico das características do solo (Anova e teste de “Scott-knott”,  $\alpha = 0,05$ ,  $n = 9$ ).....40
- Tabela 3.2.** Coeficiente de correlação de “Pearson” entre umidade do solo e variáveis investigadas para os três tipos de manejo em diferentes profundidades do solo.....46
- Tabela 3.3.** Estatística descritiva da umidade do solo para as datas de coleta nos três sistemas de manejo e três profundidades.....48
- Tabela 3.4.** Matriz do coeficiente de correlação de “Spearman” (\* = significativo a 5%).....50 e 51

### **3 CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS**

A água é o principal fator que determina a produtividade de uma cultura, pois na planta, ela participa das principais reações metabólicas, desde o crescimento a reprodução, e no solo é a responsável pela movimentação, solubilização e absorção dos nutrientes pela raiz. A falta da água ou seu excesso afetam de maneira decisiva o desenvolvimento vegetal.

No decorrer de todo seu desenvolvimento, a planta absorve e perde água, assim o solo passa a ser um reservatório de água e nutrientes. A quantidade de água consumida por uma cultura agrícola, durante o seu desenvolvimento, varia com a distribuição espacial e temporal do clima, da variedade da cultura e do manejo do sistema agrícola, que altera as propriedades físicas do solo diretamente relacionadas à armazenagem de água (Moreti et al., 2007). Assim, observa-se que o sistema de cultivo é um dos principais parâmetros inerentes a dinâmica da água no solo, portanto, diversos trabalhos indicam que em sistema conservacionistas como plantio direto e Integração Lavoura-Pecuária, a qualidade do solo é conservada e/ou até mesmo melhorada pelo maior aporte de matéria orgânica, devido à palhada mantida em superfície do solo (Carneiro et al. 2009; Farinelli et al. 2006; Fontana et al., 2006; Oliveira et al. 2004; Salton et al., 2008; Tormena et al. 1998).

Vale ressaltar que devido a grande variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos tornam-se muitas vezes onerosos os custos com amostragem e análise de solo para se representar a média de quaisquer atributos. Portanto, faz-se necessário utilizar um método em que estabeleça quais pontos representam melhor a estabilidade ao longo do tempo para uma área. Essa estabilidade temporal possibilita a identificação de pontos no campo que refletem o comportamento médio de uma variável, ou seja, pontos que apresentam valores semelhantes ao valor médio. A identificação deles é fundamental no planejamento de programas de monitoramento de variáveis hidrológicas, pois permite a redução de custos relacionados à mensuração de dados de campo (Ávila et al., 2010).

Brocca et al (2009), mencionam que umidade do solo próximo à superfície é uma variável chave para a descrição de muitos processos hidrológicos e climáticos. Em particular, a distribuição de fluxos de energia entre o solo e a primeira camada da atmosfera é controlada pelo conteúdo de água no solo, que é caracterizada por uma variabilidade espaço-temporal elevada também em pequena escala espacial (Bell et al., 1980; Francis et al., 1986; Munoz-Pardo et al., 1990; Fitzjohn et al., 1998; Seyfried, 1998; Hupet and Vanclooster, 2002; Schume et al., 2003; Hupet and Vanclooster, 2005; Lin et al., 2006; Brocca et al., 2007).

Segundo Brocca et al. (2009), novas metodologias para a otimização do número de observações, sem perda de informações tornam-se cada vez mais importante. Utilizando uma abordagem estatística, Brocca et al. (2007) determinaram, em função das condições de molhamento, o número de pontos amostrais necessários para se estimar a média da umidade do solo de uma área específica localizada em regiões do interior e caracterizado por um clima Mediterrâneo. O conceito de estabilidade temporal introduzido por Vachaud et al. (1985) também pode ser utilizado para otimizar o sistema de amostragem. Refere-se à "estabilidade do tempo, da ordem de observações individuais na função de distribuição de probabilidade de toda a população" e ajuda a identificar, dentro de uma área de interesse, a localização dos pontos que representam com precisão a média da umidade do solo da área em geral.

Os solos são naturalmente heterogêneos e suas propriedades variam continuamente no espaço e no tempo. Dentre os fatores responsáveis pela variabilidade, podem-se citar os processos de formação natural, envolvendo as características físicas e químicas, interações com o sistema biológico e interferências antrópicas.

O solo apresenta ampla variabilidade dos seus atributos, tanto no sentido vertical como horizontal resultante da interação dos processos que comandam os fatores de sua formação (Carvalho et al., 2004). O conhecimento da distribuição dos atributos físico-hídricos do solo torna-se uma premissa básica quando se pretende estabelecer práticas de manejo adequadas de solo e de culturas, pois a não observância desses conceitos ocasionará em erros na amostragem e manejo do solo. Isso decorre da ampla variação espacial dos atributos do solo e sentido e direção dos fluxos da água (Iqbal et al., 2005).



Para que o manejo do solo seja adequado, tornam-se necessários custos com amostragem e análises do solo. Os custos de análises de campo podem ser significativamente reduzidos através de técnicas apropriadas. Dentre estas, destaca-se a estabilidade temporal, a qual considera pontos representativos do valor médio de uma variável numa específica área de estudo, visando redução de custos de amostragem da variável estudada.

De acordo com Ávila et al. (2010), a estabilidade temporal surgiu com a necessidade de representar adequadamente o conteúdo de água no solo com reduzido esforço amostral (Vachaud et al., 1985). Esse conceito pode ainda ser definido como a associação constante entre a localização espacial e as medidas estatísticas que caracterizam uma determinada propriedade do solo ao longo do tempo (van Wesenbeeck & Kashanoski, 1988). A estabilidade temporal possibilita a identificação de pontos no campo que refletem o comportamento médio de uma variável, ou seja, pontos que apresentam valores semelhantes ao seu valor médio.

Ao longo dos anos, diversos autores (Grayson and Western, 1998; Gómez-Plaza et al., 2000; Starr, 2005; Brocca et al., 2007; Brocca et al., 2009; Ávila et al., 2010; Souza et al., 2011; Gao & Shao, 2012, Jia et al., 2013) tem mostrado que a identificação desses pontos é fundamental no planejamento de programas de monitoramento de variáveis hidrológicas, pois permite a redução de custos relacionados à mensuração de dados de campo. A estabilidade temporal da umidade do solo é dependente de diversos fatores, tais como, topografia, textura, densidade e matéria orgânica do solo, bem como a precipitação, evapotranspiração e a deposição de palhada sobre o solo.

As variabilidades temporal e espacial da umidade volumétrica do solo ( $\theta$ ), por sua vez, relacionam-se com a maioria dos processos agronômicos, hidrológicos e ambientais, de modo que sua quantificação requer técnicas que permitam medidas rápidas, exatas, passíveis de automação e de repetição no mesmo local, com o mínimo de perturbação do solo (Gonçalves et al., 2011).

Em virtude das dificuldades envolvidas na determinação direta da umidade do solo pelo método gravimétrico, a maioria dos autores, ao estudarem a estabilidade temporal da umidade do solo, geralmente utilizam métodos indiretos, em que a umidade é estimada a partir da medição de alguma propriedade do solo a ela relacionada (Miranda et al., 2007), como o método da reflectometria no domínio do tempo TDR ("*Time Domain Reflectometry*") utilizado no presente trabalho, que

relaciona a umidade volumétrica com a constante dielétrica ( $\epsilon$ ) do solo (Topp et al., 1980). Esse método além de fornecer estimativas rápidas com grande número de leituras em intervalos curtos de tempo, também é considerado como não destrutivo, exato, pouco dependente dos fatores ambientais e que possibilita automatização da coleta de dados distribuídos espacialmente na área em tempo real. Entretanto, pesquisas anteriores relatam a necessidade de calibração específica desses sensores, pois os valores de umidade sofrem interferências das características intrínsecas do solo, as quais podem ser afetadas pelo tipo de manejo do solo.

Schneider et al. (2008) mencionam que o método da estabilidade temporal foi aplicado em estudos relacionados ao conteúdo de água no solo em diversos países, em regiões com climas diferenciados e com amostras de diversos tamanhos. Como exemplo, têm-se os trabalhos de Grayson & Western (1998), os quais determinaram a estabilidade temporal do conteúdo de água no solo em três bacias hidrográficas localizadas na Austrália e nos Estados Unidos, e de Gómez-Plaza et al. (2000), que estudaram os fatores que influenciam na estabilidade temporal do conteúdo de água no solo em uma região de clima semiárido da Espanha (Ávila et al., 2010).

Segundo Ávila et al. (2010), apesar de vários autores utilizarem a estabilidade temporal, sua comparação não é adequada devido à diversidade das condições das regiões analisadas, como a extensão da área, o plano de amostragem, a profundidade monitorada e o período de monitoramento (Bosch et al., 2006; Starks et al., 2006; Teuling et al., 2006). Além disso, a persistência temporal do padrão do conteúdo de água no solo pode ser influenciada pela vegetação, pelas propriedades do solo, pelas condições climáticas e pela topografia (Schneider et al., 2008).

Gómez-Plaza et al. (2000) ao compararem a estabilidade temporal do conteúdo de água no solo numa área vegetada e em outra sem cobertura vegetal, observaram menor estabilidade temporal na área vegetada. Os autores, associaram esse comportamento à distribuição da cobertura vegetal e das raízes, que, ocasionalmente, causaram maior variabilidade da demanda de água pela planta durante o cultivo. Maior estabilidade temporal no período de estiagem foi percebida por Fernandez & Ceballos (2003) em comparação ao período de re-umedecimento do solo por ocasião do início da estação chuvosa, indicando que este último como o período mais crítico para a estabilidade temporal (Ávila et al., 2010).

O município de Jataí atualmente possui aproximadamente 300.000 ha de área territorial usada para agricultura. A precipitação média anual no município é de aproximadamente 1600 mm, distribuídas entre outubro e maio, o que permite o cultivo de duas safras por ano sem irrigação, motivo esse que vem transformando o município no maior produtor de grãos do Brasil, com destaque para as culturas do milho e da soja (IBGE, 2015). E este cenário contribui para que haja um grande aporte de investimentos em equipamentos e insumos para a agricultura, sobretudo, no sistema de plantio direto e integração lavoura pecuária.

Com isso, o presente estudo se justifica, principalmente, pelo fato de que o estudo da estabilidade temporal pode ser utilizado para equacionar uma diversidade de questões relacionadas ao monitoramento da dinâmica da água no solo, especialmente na redução de custos associados à medição do conteúdo de água no solo, gerando informações científicas que poderão ser aplicadas com maior grau de confiabilidade a um custo reduzido (Ávila et al., 2010), auxiliando o produtor rural na tomada de decisão dentro e fora da fazenda.

Portanto, a hipótese deste estudo considera que a umidade do solo é distribuída tanto espacialmente quanto temporalmente independente do uso e manejo do solo nos sistemas de plantio direto (PD), integração lavoura pecuária (ILP) e plantio convencional (CONV) no perfil do solo correspondente à zona das raízes.

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a distribuição espacial de atributos do solo e a distribuição espaço-temporal da disponibilidade hídrica do mesmo através da estabilidade temporal da umidade do solo em três usos do solo (plantio direto; integração lavoura pecuária e plantio convencional) com uso de sensor TDR de umidade do solo.

Este trabalho está organizado basicamente em três capítulos principais, independentes e complementares. No primeiro capítulo, faz-se uma abordagem geral do conceito de estabilidade temporal e sua aplicabilidade no meio agrícola, além de referências científicas sobre o tema. No segundo capítulo, aborda-se a questão da qualidade e análise dos dados dos sensores de umidade tipo TDR através de uma análise que relaciona os três usos do solo em três profundidades (0 - 0,12m; 0,12 - 0,24m; 0,24 - 0,36m) na camada mais superficial do solo. No terceiro capítulo, utilizando-se dos resultados do primeiro capítulo, avalia-se a distribuição espacial e temporal da umidade do solo através da estabilidade temporal nos

mesmos usos e profundidades abordados nesta pesquisa. Além dos três capítulos principais, possui ainda um quarto capítulo com algumas considerações finais que complementam o presente estudo.

### 3.1 Referências Bibliográficas

- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. DE; SILVA, A. M. DA. Estabilidade temporal do conteúdo de água em três condições de uso do solo, em uma bacia hidrográfica da região da Serra da Mantiqueira, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34: 2001-2009, 2010.
- BELL, K.R., BLANCHARD, B.J., SCHMUGGE, T.J., WITCZAK, M.W. Analysis of surface moisture variations within large field sites. **Water Resources Research** 16, 796–810, 1980.
- BOSCH, D.D.; LAKSHMI, V.; JACKSON, T.J.; CHOI, M. & JACOBS, J.M. Large scale measurements of soil moisture for validation of remotely sensed data: Georgia soil moisture experiment of 2003. **Journal of Hydrology**, 323:120-137, 2006.
- BROCCA, L., MORBIDELLI, R., MELONE, F., MORAMARCO, T. Soil moisture spatial variability in experimental areas of central Italy. **Journal of Hydrology** 333, 356–373, 2007.
- BROCCA, L., MELONE, F., MORAMARCO, T., MORBIDELLI, R. Soil moisture temporal stability over experimental areas in Central Italy. **Geoderma** 148, 364–374, 2009.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de, REIS, E. F. dos, PEREIRA H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:147-157, 2009.
- CARVALHO, M. A. C. DE; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O.; SÁ, M. E. de. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.39, n.1, p.47-53, 2004.
- FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. PENARIOL, F. G.; EGÉA, M. M.; GASPAROTO, M. G. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro, em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.41, n.2, p.307-312, fev. 2006.
- FERNANDEZ, J.M. & CEBALLOS, A. Temporal stability of soil moisture in a large- field experiment in Spain. **Soil Science Society American Journal** 67:1647-1656, 2003.
- FITZJOHN, C., TERNAN, J.L., WILLIAMS, A.G. Soil moisture variability in a semi-arid gully catchment: implications for runoff and erosion control. **Catena** 32, 55–70, 1998.

- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.847-853, 2006.
- FRANCIS, C.F., THORNES, J.B., ROMERO, DIAZ, A., LOPEZ, A., BERMUDEZ, A., FISHER, G.C. Topographic control of soil moisture, vegetation cover and land degradation in a moisture stressed Mediterranean environment. **Catena** 13, 211–225, 1986.
- GAO, L.; SHAO, M. Temporal stability of shallow soil water content for three adjacent transects on a hillslope. **Agricultural Water Management** 110, 41– 54. 2012.
- GÓMEZ-PLAZA, A.; ALVAREZ-ROGEL, J. & ALBALADEJO, J. Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in a semi-arid environment. **Hydrology Process**, 14:1261-1277, 2000.
- GONÇALVES, A. C. A.; TRINTINALHA, M. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M. V. Influência da densidade do solo na estimativa da umidade em um nitossolo vermelho distroférico, por meio da técnica de TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 1551-1559. 2011.
- GRAYSON, R. B.; WESTERN, A. W. Towards areal estimation of soil water content from point measurements: time and space stability of mean response. **Journal of Hydrology** 207, 1–2, p. 68–82, 1998.
- HUPET, F., VANCLOOSTER, M. Intraseasonal dynamics of soil moisture variability within a small agricultural maize cropped field. **Journal of Hydrology** 261, 86–101, 2002.
- HUPET, F., VANCLOOSTER, Micro-variability of hydrological processes at the maize row scale: implications for soil water content measurements and vapotranspiration estimates. **Journal of Hydrology** 303, 247–270. 2005.
- IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 de janeiro de 2015.
- IQBAL, J. et al. Relationships between soil landscape and dryland cotton lint yield. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.69, n.6, p.872-882, 2005.
- JIA, Y. H. & SHAO, M. A. Temporal stability of soil water storage under four types of revegetation on the northern Loess Plateau of China, **Agricultural Water Management**, 117, 33–42, 2013.
- LIN, H.S.; KOGELMANN, W.; WALKER, C.; BRUNS, M.A. Soil moisture patterns in a forested catchment: a hydrological perspective. **Geoderma** 131, 345– 368, 2006.
- MIRANDA, F. R. DE; SANTANA, M. G. S. DE, SOUZA, C. C. M. DE; OLIVEIRA. C. H. C. DE. Calibração do sensor dielétrico ECH2O em dois tipos de solo. **Revista Ciência Agrônômica. Fortaleza** 38, n.3, p.317-321, 2007.
- MORETI, D.; LIBARDI, P. L.; ROCHA, G. C.; LOVATTI, M. J.; AGUIAR, L. I. G. Avaliação espaço-temporal das armazenagens gravimétrica e volumétrica da água num Latossolo com citros. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.31, p. 1281-1290, 2007.

- MUNOZ-PARDO, J., RUELLE, P., VAUCLIN, M. Spatial variability of an agricultural field: geostatistical analysis of soil texture, soil moisture and yield component of two rainfed crops. **Catena** 17, 369–381, 1990.
- OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:327-336, 2004.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRICIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.11-21, 2008.
- SEYFRIED, M. Spatial variability constraints to modeling soil water at different scales. **Geoderma** 85, 231–254, 1998.
- SCHUME, H., JOST, G., KATZENSTEINER, K. Spatio-temporal analysis of the soil water content in a mixed Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)-European beech (*Fagus sylvatica* L.) stand. **Geoderma** 112, 273–287. 2003.
- SCHNEIDER, K.; HUISMAN, J.A.; BREUER, L.; ZHAO, Y.; FREDE, H.G. Temporal stability of soil moisture in various semi-arid steppe ecosystems and its application in remote sensing. **Journal of Hydrology** 359:16-29, 2008.
- SOUZA, E. R. de; MONTENEGRO, A. A. D. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; MATOS, J. D. A. de. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. **Agricultural Water Management** 99, 26–32. 2011.
- STARKS, P.; HEATHMAN, G.; JACKSON, T.J. & COSH, M.H. Temporal stability of soil moisture profile. **Journal of Hydrology**, 324:400-411, 2006.
- STARR, G.C. Assessing temporal stability and spatial variability of soil water patterns with implications for precision water management. **Agricultural Water Management** 72, 3: 223–243, 2005.
- TEULING, A.J.; UIJLENHOET, R.; HUPET, F.; van LOON, E.E. & TROCH, P.A. Estimating spatial mean root-zone soil moisture from point-scale observations. **Journal of Hydrology**. Earth Syst. Sci., 10:755-767, 2006.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:301-309, 1998.
- TOPP, G. C.; YANUKA, M.; ZEBCHUK, W. D.; ZEGELIM, S. Determination of electrical conductivity using a time domain reflectometry: soil and water experiments in coaxial lines. **Water Resources Research**, Washington, v. 24, p. 945-952, 1980.
- VACHAUD, G.; PASSERAT DE SILANS, A.; BALABANIS, P. & VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society. American Journal** 49:822-827, 1985.

#### **4 CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÃO E CALIBRAÇÃO DE SENSOR PORTÁTIL TIPO TDR SOB TRÊS CONDIÇÕES DE USO E DIFERENTES PROFUNDIDADES DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO**

**RESUMO** - A técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) tem se destacado na avaliação da umidade do solo, por ser um método instantâneo, não destrutivo, exato e pouco dependente dos fatores ambientais, porém pesquisadores tem enfatizado a necessidade de calibração específica e contínua para cada área de estudo. Portanto, objetiva-se com esse trabalho a calibração de um sensor portátil do tipo TDR para um Latossolo Vermelho Distroférico do Cerrado, em três profundidades distintas sob três diferentes sistemas de manejo do solo. O equipamento utiliza-se de duas hastes de 0,12 m de comprimento cada, registra leitura instantânea do conteúdo volumétrico de água no solo. Avaliou-se as profundidades de 0 - 0,12, 0,12 - 0,24 e 0,24 - 0,36 m de três diferentes sistemas (plantio direto, integração lavoura-pecuária e plantio convencional). A resposta do sensor TDR variou com o tipo de manejo e profundidade. Após análise estatística dos dados por meio de regressão, observou-se boa representatividade dos valores de umidade em função do período de resposta do sensor e da correlação entre a umidade pelo TDR e umidade pelo método gravimétrico, indicando que o aparelho estudado apresentou-se eficaz na mensuração da umidade do solo em todas as profundidades e sistemas de manejo do específico latossolo analisado.

**Palavras-chave:** manejo do solo, permissividade dielétrica, sistemas de cultivo, “time domain reflectometry”

**ABSTRACT** - Time Domain Reflectometry (TDR) technique has been highlighted in the evaluation of soil moisture, as a snapshot method, non-destructive, accurate and less dependent on environmental factors, but researchers have emphasized the need for specific and continuous calibration for each study area. Therefore, the purpose of this study is the calibration of a portable TDR sensor type for a Hapludox from the Cerrado, at three depths and three soil management systems. The equipment makes use of two rods of 0.12 m long each, records instant reading of volumetric water content in the soil. We evaluated the depths from 0 to 0.12, from 0.12 to 0.24 and from 0.24 to 0.36 m in three different systems (tillage, crop-livestock integration and conventional tillage). After statistical analysis of the data by regression, there was a good representation of values of moisture due to the sensor response time and the correlation between moisture by TDR and moisture by gravimetric method, indicating that the device studied showed to be effective in the measurement of soil moisture at all depths and management systems of the specific analyzed oxisol.

**Keywords:** soil management, dielectric permittivity, cropping systems, time domain reflectometry



## 4.1 Introdução

Devido à essencialidade da água para a produção vegetal e a forte concorrência pela mesma em função da seca, do crescimento urbano e principalmente das mudanças climáticas, tornam-se necessários melhores métodos de gerenciamento da água. Para isso, os sensores de umidade do solo desempenham importante papel, pois possibilitam monitoramento em tempo real de grande variedade de condições do conteúdo volumétrico do solo (CVS) no campo, o que permite maior precisão tanto no gerenciamento da quantidade e do tempo de irrigação, quanto nas análises de outras atividades hidroagrícolas.

Os solos funcionam como suporte físico e reservatório de água e nutrientes para plantas, portanto a determinação da umidade do solo é de grande importância para a produção vegetal. Para determinação do teor de água do solo, os métodos diretos que são considerados padrão, embora sejam precisos, são limitados quando se exigem estimativas rápidas ou um grande número de determinações em intervalos curtos de tempo e isso tem motivado o desenvolvimento de sensores para estimativa rápida do teor de água no solo (Sá et al., 2008).

Em virtude das dificuldades envolvidas na determinação direta da umidade do solo pelo método gravimétrico, geralmente utilizam-se métodos indiretos, em que a umidade é estimada a partir da medição de alguma propriedade do solo a ela relacionada (Miranda et al., 2007).

Entre os métodos indiretos de determinação da umidade do solo, aqueles que relacionam a umidade às propriedades dielétricas do meio solo-água-ar, como a Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), têm se destacado nos últimos anos e tem sido utilizados por vários pesquisadores na avaliação da umidade e de outros atributos do solo, como Topp et al. (2003), Brocca et al. (2009), Coppola et al. (2011) e Penna et al. (2013).

A técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) se caracteriza por ser um método indireto, rápido, não destrutivo, exato e pouco dependente dos fatores ambientais, além de possibilitar automatização da coleta de dados distribuídos espacialmente na área em tempo real. Segundo Silva & Gervásio (1999), o TDR estabelece a constante dielétrica do solo ( $\epsilon$ ), através da medição do tempo ou período ( $t$ ) para um pulso eletromagnético emitido em barras condutoras paralelas de

comprimento  $L$ , cravadas no solo, alcançar o seu final e voltar ao ponto de emissão. Essa permissividade dielétrica do solo, a qual explica o princípio de funcionamento do sensor, está relacionada principalmente à quantidade de água presente no substrato, dada à variação de  $\epsilon$  (valor adimensional) das frações constituintes do solo. Para o ar,  $\epsilon$  é praticamente igual a do vácuo, ou seja, igual a 1. Para um solo seco,  $\epsilon$  normalmente varia de 2 a 5, enquanto que para água seu valor é de aproximadamente 81 (Silva et al., 2008). Deste modo, o sensor TDR utiliza a variação de  $\epsilon$  para a medida da permissividade dielétrica do substrato, a qual é influenciada, em grande parte, pelo seu conteúdo de água. Estudos anteriores como o de Gonçalves et al. (2011) demonstraram que esses sensores dielétricos proporcionam alta correlação com a umidade volumétrica do solo ( $\theta$ ), indicando potencial para medições quantitativas quando bem calibrados.

Topp et al. (1980) propuseram um polinômio do terceiro grau para conversão dos valores da constante dielétrica do solo em umidade com base em volume e segundo os autores, a precisão é suficiente para sugerir o uso do TDR sem necessidade de calibração para os diferentes solos. Porém desde então pesquisadores tem enfatizado a necessidade de calibração específica e contínua para cada solo estudado (Abbas et al., 2011; Gonçalves et al., 2011; Souza et al., 2013), pois a  $\epsilon$  varia de acordo com as características do solo, com conseqüente variação da umidade no mesmo.

Portanto, partindo-se da hipótese que os sensores de umidade apresentam valores de umidade para um tipo de solo independentemente do sistema de manejo, objetivou-se com esse trabalho avaliar a resposta do sensor TDR de umidade, em três profundidades distintas e em três diferentes sistemas de manejo (plantio direto - PD; integração lavoura pecuária - ILP; plantio convencional - CONV) do solo para um Latossolo Vermelho Distroférrico do Cerrado.

## 4.2 Material e métodos

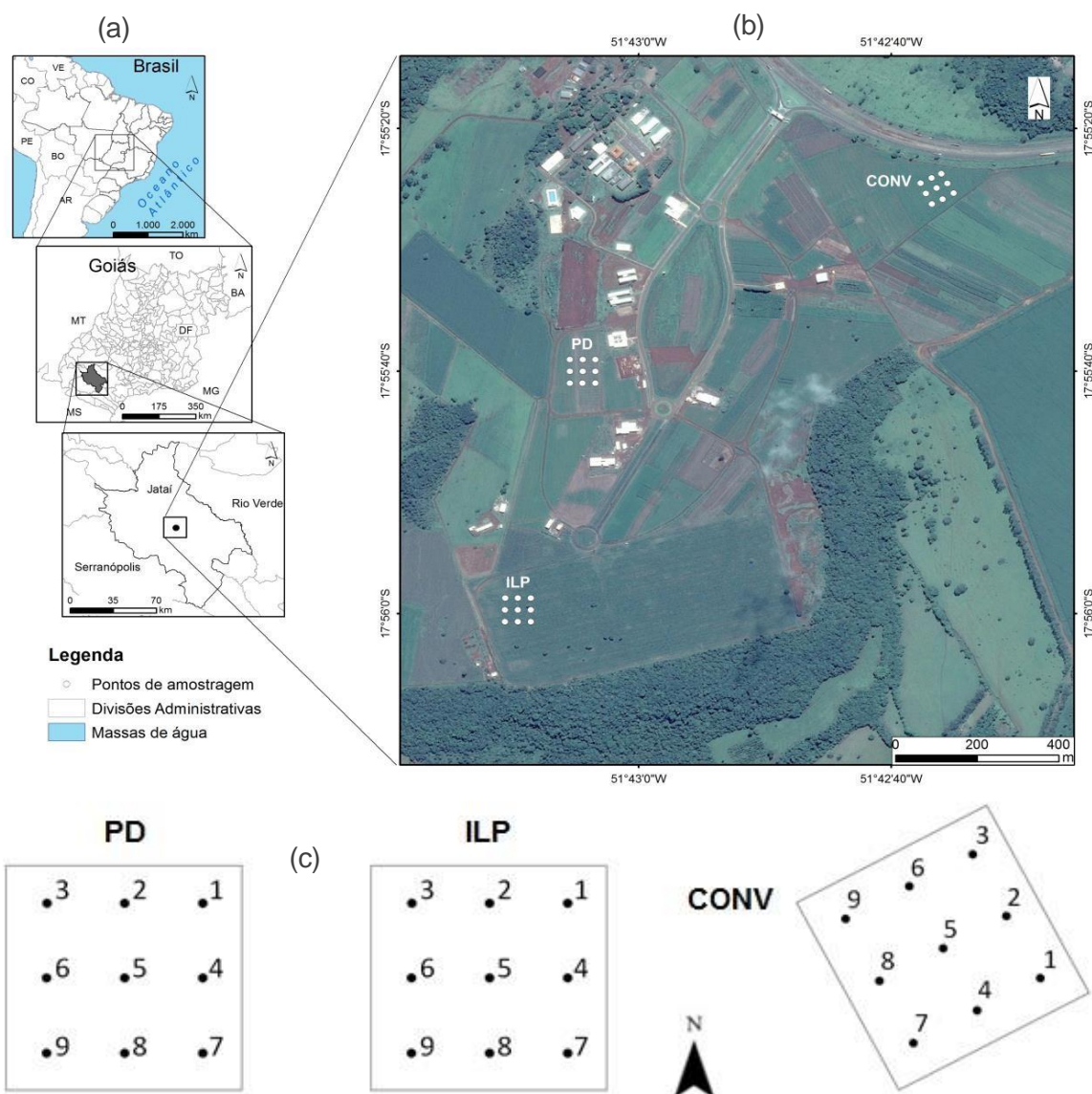
### 4.2.1 Localização do Experimento

O experimento foi conduzido em uma área experimental situada na Universidade Federal de Goiás (UFG), Regional Jataí, no sudoeste de Estado de Goiás – Brasil (Figura 2.1), com 17° 52' 53" S de latitude e 51° 42' 52" W de longitude, com 700 m de altitude, localizada numa região de clima do tipo Cw, tropical de savana, mesotérmico, com estação seca e chuvosa bem definida, segundo a classificação de Kopen. A temperatura média anual é de aproximadamente 22 °C, com um período chuvoso estendendo-se de outubro a abril, quando nestes sete meses são registrados mais de 90% do total das chuvas do ano. A precipitação média anual varia em torno de 1600 mm (Koetz et al., 2010).

O solo estudado foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, segundo a classificação da EMBRAPA (2009).

### 4.2.2 Área Experimental

A área experimental foi composta por três subáreas de aproximadamente 1 ha cada, cultivados com soja (*Glycine max*) na safra de 2013/2014 (primeira safra), com diferentes sistemas de manejo do solo. O plantio da soja, que na região do estudo geralmente é realizado em outubro, ocorreu no início do mês de novembro, coincidindo com o período chuvoso de 2013 (ano atípico). As subáreas vêm sendo cultivadas ao longo dos anos com as culturas de soja na primeira safra (safra) e de milho ou sorgo na segunda (safrinha), em sistema de plantio direto (PD) desde o ano de 2008 (subárea 1), em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP), consorciando as culturas de soja e braquiária desde 2009 (subárea 2) e com plantio convencional (CONV) associado ao uso de gradagem na época do plantio (subárea 3). Cada subárea foi dividida em uma grade regular contendo nove células medindo 30 x 30 m cada (Figura 2.1, b e c), considerando-se o centro de cada célula como ponto de referência para coletas.



**Figura 2.1.** Localização do experimento (Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás - SIEG, 2014) (a); imagem de satélite da área de estudo (© Google Earth, 20/04/2014) (b); e Croqui da distribuição dos pontos de amostragem nas áreas de estudo (c). PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.

#### 4.2.3 Amostragem e Coleta dos dados

A determinação e localização dos pontos para a coleta dos dados foi feita, inicialmente, com o uso de trena e estacas onde posteriormente foi realizado o georeferenciamento dos pontos utilizando-se um aparelho GPS (“Global Position System”), marca GARMIN, modelo MAP785.

Com os pontos previamente determinados, foram realizadas 1944 leituras da umidade do solo nos nove pontos de cada sistema, nas profundidades de 0-0,12,

0,12-0,24 e 0,24-0,36 m, durante os dias 19 de novembro de 2013 e 15 de fevereiro de 2014, por meio de um sensor portátil do tipo “Time Domain Reflectometry” (TDR), modelo “HydroSense - Soil Water Measurement System” (CD620/CS620), com haste de 0,12 m de comprimento, o qual fornece leitura instantânea de  $\theta$  no solo (Figura 2.2).



**Figura 2.2.** Detalhes do equipamento TDR utilizado (“HydroSense” CD620/CS620®) composto pelo visor CD620 (direita), sensor CS620 (esquerda), com duas hastes de aço (A) e das hastes inseridas no solo durante a leitura (B).

Para a calibração do sensor TDR, adotou-se metodologia semelhante à Abbas et al. (2011) quando, simultaneamente ao monitoramento pelo sensor, foram coletadas 270 amostras de solo deformadas, em cinco dos nove pontos de cada sistema de manejo, com 4 repetições por ponto (20 repetições por profundidade analisada), coletadas aleatoriamente dentro de um raio de 1 m do ponto, nas três profundidades.

O estudo foi realizado em um ano atípico no qual o período chuvoso iniciou-se um pouco mais tarde do que o normal. Assim, as coletas ocorreram entre os dias 19 de novembro de 2013 (término do período seco de 2013) e 15 de janeiro de 2014 (durante o período chuvoso), o que possibilitou a obtenção de maior variação de umidade no solo devido à maior variabilidade climática entre os meses analisados. Essas amostras de solo devidamente coletadas e embaladas em sacos plásticos hermeticamente fechados, foram em seguida transportadas para o laboratório de

solos da UFG, onde se determinou a umidade gravimétrica, pelo método da estufa, e que posteriormente foi transformada em umidade volumétrica ( $\theta$ ) utilizando-se a densidade do solo determinada por meio de amostras indeformadas, em cilindros de metal de volume conhecido, coletadas nas três profundidades estudadas, em cada um dos nove pontos de amostragem para cada tipo de manejo, semelhante a Ferreira et al. (2003) e segundo metodologia da EMBRAPA (1997).

#### *4.2.4 Análise dos dados*

Primeiramente, foram pré-analisados todos os 1944 valores de umidade volumétrica do solo obtidas pelo TDR ( $\theta_{\text{TDR}}$ ) coletados no período do estudo. Assim, considerou-se 95% dos dados mais representativos (desprezou-se 2,5% dos valores inferiores e superiores) para análises subsequentes.

Posteriormente, desses dados pré-analisados, foram utilizados 270 valores referentes às campanhas e locais onde se coletou amostras de solo para determinação da umidade por gravimetria e densidade do solo. Esses 270 valores foram submetidos à calibração, sendo correlacionados com os valores de umidade volumétrica de referência obtida por gravimetria pelo método da estufa, avaliando-se todos os possíveis modelos de regressão, a 1 % de probabilidade, semelhante a Ávila et al. (2010), Abbas et al. (2011), Varble & Chávez (2011) e Souza et al. (2013).

Para fins de calibração do sensor, foram analisadas duas metodologias: uso de uma única equação geral considerando-se valores de todos os tratamentos e equações individuais e específicas para cada tratamento. Para comparação das metodologias foram usados os índices de erro quadrático médio e raiz quadrada do erro quadrático médio.

### 4.3 Resultados e discussão

#### 4.3.1 Características do solo

Na Tabela 2.1 são apresentados os valores de composição textural, densidade do solo e teor de matéria orgânica para o Latossolo Vermelho Distroférico utilizado no trabalho.

Além das análises apresentadas na Tabela 2.1, determinou-se também o pH (H<sub>2</sub>O) do solo, que apresentou valores muito próximos de 5,47 para todas as condições.

Após comparação dos atributos do solo entre profundidades para cada sistema através da análise de variância e teste de “Scott-Knott” a 5% de significância, percebeu-se diferença estatística entre as médias de valores dos atributos do solo avaliados neste trabalho. Essas diferenças são representadas por diferentes letras colocadas após os valores médios dos atributos (Tabela 2.1).

Analisando-se a Tabela 2.1, observa-se tendência a maior estabilidade dos valores de densidade ao longo do perfil do solo no sistema CONV, pois as três camadas desse sistema foram iguais entre si, enquanto que nos outros sistemas as primeiras camadas apresentaram valores maiores de densidade. A maior estabilidade no CONV, provavelmente, ocorreu devido ao frequente revolvimento das três profundidades em análise.

Valores mais altos de densidade do solo em camadas próximas à superfície do solo, nos sistemas de PD e ILP, indicam maior grau de compactação nessas camadas (Tabela 2.1), que pode ser atribuído ao histórico de tráfego de máquinas agrícolas em solo pouco revolvido ao longo dos anos, confirmando efeitos observados por Costa et al. (2003) e Assis et al. (2005). No ILP, essa compactação do solo se torna mais acentuada devido ao pisoteio animal (Albuquerque et al., 2001).

Quanto à Matéria Orgânica do solo (M.O.S.), foram constatadas diferenças entre os tratamentos, porém com tendência à redução dos valores com o aumento da profundidade em todos os tratamentos estudados (Tabela 2.1). Essa observação demonstra um perfil característico dos solos em geral, pois a deposição de matéria seca se concentra na superfície do solo.

**Tabela 2.1.** Resumo estatístico das características do solo (Anova e teste de “Scott-knott”,  $\alpha = 0,05$ ,  $n = 9$ )

Itens	Parâmetro	PD-A	PD-B	PD-C	ILP-A	ILP-B	ILP-C	CONV-A	CONV-B	CONV-C
d (g cm <sup>-3</sup> )	Média	1,26a	1,19b	1,17b	1,32a	1,22a	1,14b	1,24a	1,26a	1,27a
	Máx	1,44	1,37	1,32	1,38	1,37	1,25	1,37	1,39	1,38
	Mín	1,09	0,99	1,02	1,14	1,09	0,99	1,07	1,14	1,09
	$\sigma$	0,10	0,12	0,11	0,07	0,10	0,08	0,10	0,08	0,09
	CV	7,98	10,23	9,69	5,46	7,98	6,92	7,69	6,23	6,73
	E. Padrão	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
M.O.S. (%)	Média	3,1b	2,7c	2,2d	3,4a	3,3a	2,6c	3,5a	3,4a	2,7c
	Máx	3,61	3,59	2,97	4,10	4,04	3,56	4,05	3,61	3,25
	Mín	2,56	2,27	1,69	2,71	2,48	1,80	2,56	2,47	2,23
	$\sigma$	0,24	0,25	0,32	0,40	0,37	0,38	0,40	0,37	0,36
	CV	7,8	9,38	14,48	11,96	11,15	14,74	11,60	12,29	13,40
	E. Padrão	0,04	0,04	0,05	0,07	0,06	0,06	0,13	0,12	0,12
Argila (%)	Média	45,1c	44,3c	48,2b	43,1c	46,8b	48,3b	57,6a	58,0a	58,9a
	Máx	49,32	50,16	52,74	48,59	50,48	53,12	64,85	63,19	63,84
	Mín	42,19	36,31	44,21	35,12	39,96	44,19	52,06	47,83	54,16
	$\sigma$	2,83	4,64	2,74	4,42	3,36	3,10	4,87	5,37	3,78
	CV	6,27	10,46	5,68	10,25	7,17	6,43	8,45	9,25	6,42
	E. Padrão	0,94	1,55	0,91	1,05	1,12	1,03	1,62	1,79	1,26
Silte (%)	Média	28,5a	29,4a	25,1b	32,0a	27,8a	26,5b	26,2b	26,3b	23,0b
	Máx	34,30	36,69	30,14	38,51	30,68	30,66	32,53	33,16	28,97
	Mín	24,34	22,65	19,97	25,73	23,52	22,47	17,72	22,43	13,02
	$\sigma$	3,40	5,00	3,17	3,91	2,33	2,86	4,57	4,16	4,84
	CV	11,92	17,01	12,64	12,23	8,39	10,77	17,47	15,83	21,08
	E. Padrão	1,13	1,67	1,06	1,30	0,78	0,95	1,52	1,39	1,61
Areia (%)	Média	26,4a	26,3a	26,7a	25,0a	25,4a	25,2a	16,3b	15,7b	18,1b
	Máx	29,11	29,35	29,76	26,86	29,36	25,93	18,76	19,23	25,18
	Mín	21,38	20,92	24,55	17,25	22,00	24,26	14,18	13,07	14,61
	$\sigma$	2,27	2,99	1,68	2,96	2,62	0,57	1,50	1,95	2,99
	CV	8,60	11,35	6,26	11,85	10,33	2,27	9,22	12,40	16,51
	E. Padrão	0,76	1,00	0,56	0,99	0,87	0,19	0,50	0,65	1,00

d = densidade do solo; M. O.S.= matéria orgânica do solo ( $n = 36$ );  $\sigma$  = desvio padrão;

CV = coeficiente de variação; E. Padrão = erro padrão da média

Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem entre si, estatisticamente.

PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.

A = 0-0,12 m; B = 0,12-0,24 m; C = 0,24-0,36 m

Ainda na Tabela 2.1, é possível perceber semelhança entre os sistemas de PD e ILP quanto ao teor de argila nas três camadas analisadas e tendência crescente com a profundidade do solo, diferentemente do sistema CONV que se diferiu estatisticamente, quando apresenta valores mais altos de teor de argila em todas as profundidades avaliadas em relação aos sistemas anteriores, com valores



médios próximos de 58%. A mesma característica foi demonstrada para teores de areia, porém com valores menores para o sistema CONV.

Segundo alguns autores, a calibração de sensores de umidade sofre grande influência do teor de argila do solo: Bohl & Roth et al (1994) apud Santos et al. (2010), mencionam anormalidades nas características da constante dielétrica da água em contato com partículas coloidais (argila e matéria orgânica); Kaiser et al. (2010) perceberam que o aumento do teor de argila e de óxidos de ferro do solo promoveram aumento da constante dielétrica do meio para os mesmos teores de umidade volumétrica proporciona; e Trabalho realizado por Villwock (2004) em condições semelhantes ao do presente estudo (calibração de sondas TDR em Latossolo Vermelho Distroférrico) também confirma a recomendação de calibração específica para solos com alto teor de argila e Fe. Assim, a necessidade de calibrações distintas para o sensor TDR em função das características do solo torna-se evidente.

Para comprovação da necessidade de calibração específica do sensor TDR utilizado no presente estudo, apresenta-se comparações entre uma equação de calibração geral para todos os tratamentos e a utilização de equações específicas para cada condição avaliada.

#### *4.3.2 Pré-ajuste da umidade do sensor TDR*

A Tabela 2.2 apresenta nove equações de pré-ajuste de  $\theta_{TDR}$  em relação a  $t$  para os três sistemas de manejo do solo nas três profundidades diferentes, com respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e variação (CV).

Dentre os modelos de regressão analisados, o linear foi o que melhor se ajustou as condições do solo estudado, apresentando excelente correlação entre as variáveis estudadas, com  $R^2 = 0,99$ , e CV abaixo de 3,11. Tal correlação observada foi classificada como positiva ( $0 < r < 1$ ), pois a variação de umidade volumétrica do solo apresentou-se diretamente proporcional a  $t$ , ou seja, valores crescentes da variável X foram relacionados a valores crescentes da variável Y. Característica confirmada pelo fato de a permissividade dielétrica do solo, a qual explica o princípio de funcionamento do sensor, estar relacionada principalmente à quantidade de água presente no substrato, dada à variação da constante dielétrica ( $\epsilon$ ) das frações

constituintes do solo. Este cenário demonstra boa representatividade dos dados pelas equações lineares propostas, as quais se diferiram das encontradas por Coelho et al. (2006), que ao avaliarem modelos de calibração da umidade do solo em função da constante dielétrica ( $\epsilon$ ), que está diretamente ligada a  $t$ , para três tipos de solo, com dois tipos de equipamentos de TDR, perceberam que o modelo cúbico foi o que melhor se ajustou para o Latossolo Vermelho estudado, corroborando com Topp et al. (1980).

**Tabela 2.2.** Equações de pré-ajuste de umidade do solo do TDR ( $\theta_{TDR}$ ) em relação ao tempo de resposta da onda eletromagnética entre as duas hastes do aparelho TDR ( $t$ ) para três sistemas distintos de manejo do solo e três profundidades diferentes, com respectivos coeficientes de regressão ( $R^2$ ), coeficientes de variação (CV) e números de termos utilizados na análise de variância (N)

Sistema de Manejo	Profundidade	Equações de calibração	$R^2$	CV (%)	N
PD	A	$\theta_{TDR} = - 152,12 + 186,71 t$	0,99 **	2,30	225
	B	$\theta_{TDR} = - 153,63 + 187,82 t$	0,99**	2,17	225
	C	$\theta_{TDR} = - 149,51 + 183,70 t$	0,99**	2,63	225
ILP	A	$\theta_{TDR} = - 149,42 + 183,54 t$	0,99**	2,03	225
	B	$\theta_{TDR} = - 140,60 + 174,75 t$	0,99**	2,37	225
	C	$\theta_{TDR} = - 133,46 + 167,60 t$	0,99**	3,00	225
CONV	A	$\theta_{TDR} = - 139,39 + 173,60 t$	0,99**	3,11	198
	B	$\theta_{TDR} = - 142,31 + 177,06 t$	0,99**	3,01	198
	C	$\theta_{TDR} = - 139,82 + 174,12 t$	0,99**	2,61	198

\*\* Significativo a 1 %; A = 0 - 0,12 m; B = 0,12 - 0,24 m; C = 0,24 - 0,36 m. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.

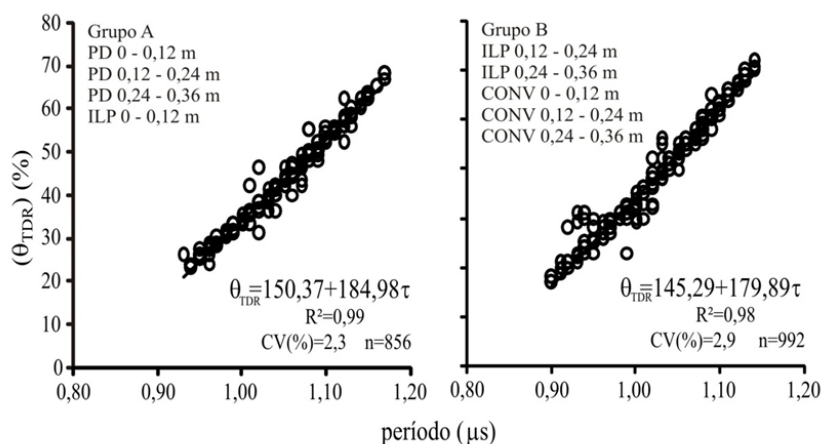
Embora os valores de coeficientes angulares e lineares das equações de ajuste do TDR sejam semelhantes e apresentem altos valores de  $R^2$  (Tabela 2.2), após análise estatística dos dados por meio do teste de “Scott-Knott” a 1% de significância, notou-se a formação de dois grupos distintos de coeficientes, um formado pelos tratamentos ILP (0,12 – 0,24 m), ILP (0,24 – 0,36 m), CONV (0 – 0,12 m), CONV (0,12 – 0,24 m) e CONV (0,24 – 0,36 m), e outro grupo com PD (0 – 0,12 m), PD (0,12 – 0,24 m), PD (0,24 – 0,36 m) e ILP (0 – 0,12 m), que se mostraram iguais entre si estatisticamente (Tabela 2.3), indicando a possibilidade de utilização de uma única equação para os tratamentos considerados iguais.

**Tabela 2.3.** Teste “Scott-Knott” para as médias dos coeficientes lineares e angulares da relação entre  $\theta_{TDR}$  e  $t$  em três sistemas de manejo do solo e três profundidades diferentes

Tratamentos	Médias	
	Coefficiente linear	Coefficiente angular
PD (0 – 0,12 m)	- 152,12 a	186,71 a
PD (0,12 – 0,24 m)	- 153,63 a	187,82 a
PD (0,24 – 0,36 m)	- 149,51 a	183,70 a
ILP (0 – 0,12m)	- 149,42 a	183,54 a
ILP (0,12 – 0,24 m)	- 140,60 b	174,75 b
ILP (0,24 – 0,36 m)	- 133,46 b	167,60 b
CONV (0 – 0,12 m)	- 139,39 b	173,60 b
CONV (0,12 – 0,24 m)	- 142,31 b	177,06 b
CONV (0,24 – 0,36 m)	- 139,82 b	174,12 b

Valores seguidos de mesma letra são iguais estatisticamente a 1% de significância pelo teste Scott-Knott. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.

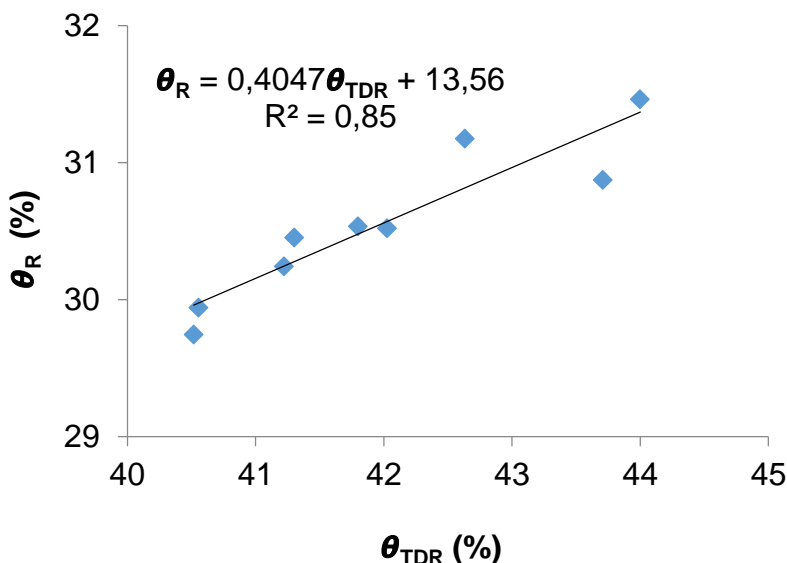
A Figura 2.3 apresenta dois gráficos com respectivas equações de pré-ajuste da  $\theta_{TDR}$  (em porcentagem) pelo período de resposta “ $t$ ” (em milissegundos) de propagação dos pulsos eletromagnéticos emitidos no solo pelo sensor TDR utilizando os coeficientes de cada um dos dois grupos citados anteriormente. Tais gráficos apresentaram altos valores de  $R^2$ , de 0,99 para o primeiro grupo e 0,98 para o segundo, e ambos com baixo CV (%).



**Figura 2.3.** Pré - ajuste da umidade do solo ( $\theta_{TDR}$ ) pelo período de resposta  $\tau$  (em milissegundos) do sensor TDR para os dois grupos de tratamentos formados pelo teste de “Scott-knott”.

### 4.3.3 Análise da equação geral de calibração do sensor TDR

A Figura 2.4 mostra a representação gráfica e a equação da calibração do sensor TDR considerando-se os nove pontos de coleta como referência para calibração do sensor.



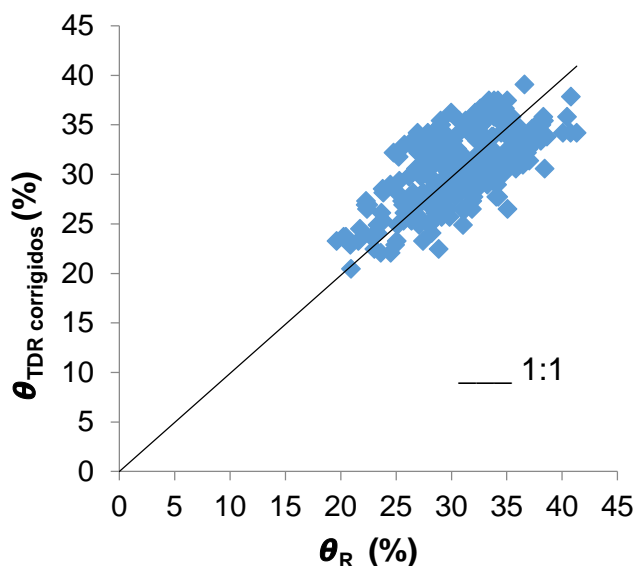
**Figura 2.4.** Equação geral de calibração e correlação dos valores de umidade volumétrica do sensor TDR ( $\theta_{TDR}$ ) e umidade volumétrica de referência obtida por meio de gravimetria ( $\theta_R$ ).

Para essa etapa, os 270 conjuntos de valores de umidade volumétrica do TDR e as obtidas por gravimetria foram reduzidos a nove conjuntos de dados a fim de obter menor dispersão dos valores, considerando-se apenas os pontos de coletas como referência para a calibração do sensor.

O modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados de umidade analisados para a calibração do sensor TDR. Ao se correlacionar os valores de umidade volumétrica obtidos por gravimetria e pelo TDR, gerou-se a equação de regressão geral  $\theta_R = 0,4047\theta_{TDR} + 13,56$ , no modelo de ajuste linear com  $R^2 = 0,8516$ , o qual é considerado relativamente alto para calibração a campo, pois se encontra acima do valor mínimo de 0,84, recomendado por Draper & Smith (1981) e Veiga & Sáfadi (1999) para ajustes de curvas.

A Figura 2.5, por sua vez, representa a validação da calibração do sensor através da correlação entre valores de umidade volumétrica do TDR corrigidos na etapa anterior e os valores de referência obtidos por gravimetria. Percebeu-se que

os valores de umidade aproximam-se da linha de tendência de proporção de 1:1, Indicando que a calibração do sensor foi realizada corretamente.

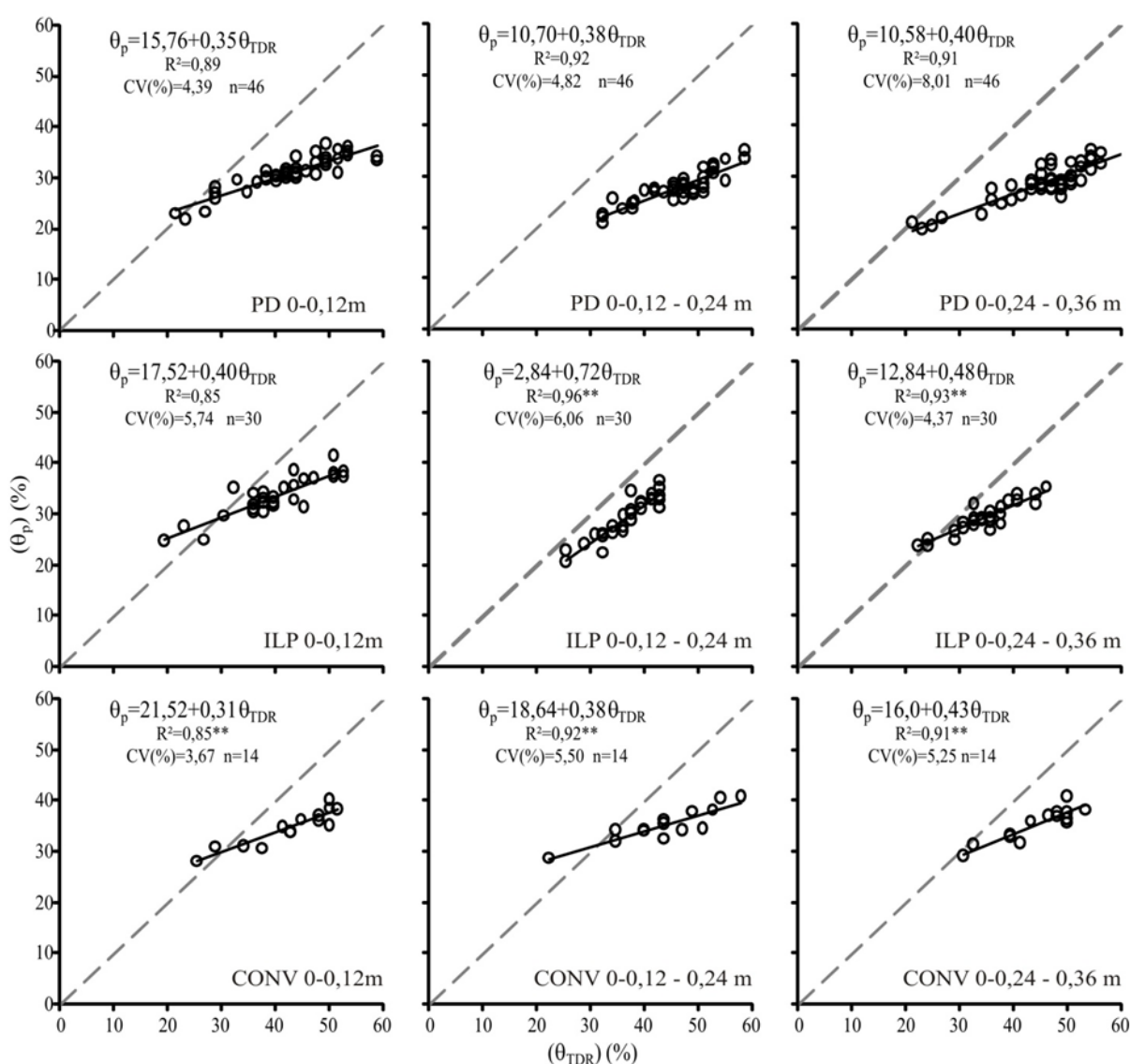


**Figura 2.5.** Validação da equação geral de calibração e correlação dos valores de umidade volumétrica do sensor TDR corrigidos ( $\theta_{\text{TDR corrigidos}}$ ) e umidade volumétrica de referência obtida por meio de gravimetria ( $\theta_R$ ), considerando-se os nove pontos de coleta como referência para calibração do sensor.

#### 4.3.4 Análise das equações de calibração dos sensores TDR de umidade do solo por uso e profundidade do solo

Foram apresentadas equações individuais com respectivos valores de  $R^2$ , CV (%) e número de termos (n) utilizados nas distribuições de pontos, para cada sistema de manejo e profundidades distintas (Figura 2.6). O modelo linear foi o que melhor se ajustou para os nove tratamentos analisados, com valores de  $R^2$  variando de 0,85 a 0,96, os quais se encontram acima do valor mínimo de 0,84, recomendado por Draper & Smith (1981) e Veiga & Sáfyadi (1999) para ajustes de curvas. Tais valores encontrados neste trabalho foram semelhantes aos de Cardenas-Lailhacar & Duker (2010) que desenvolveram uma equação linear com  $R^2 = 0,93$  para calibração do modelo ECH2O (“Decagon Devices, Inc.”) e aos de Varble & Chávez (2011) que também utilizaram o modelo linear com  $R^2 = 0,92$  ao analisarem o sensor TDR modelo CS616 (“Campbell Scientific”) semelhante ao do presente estudo. Também se notou a presença de menores valores de  $R^2$  na profundidade de 0 - 0,12 m para

todos os sistemas, provavelmente devido ao menor contato da haste do sensor com as partículas de solo, pois nessa camada é onde se concentra maior quantidade das raízes e maiores teores de matéria orgânica (Tabela 2.1), o que favoreceu maior aeração do solo, e conseqüentemente maior influência pela evaporação da água do solo para a atmosfera. No campo, essas características foram percebidas com maior intensidade no sistema CONV, devido ao maior revolvimento do solo, corroborando com menores valores de densidade próximos a superfície do referido sistema de manejo.



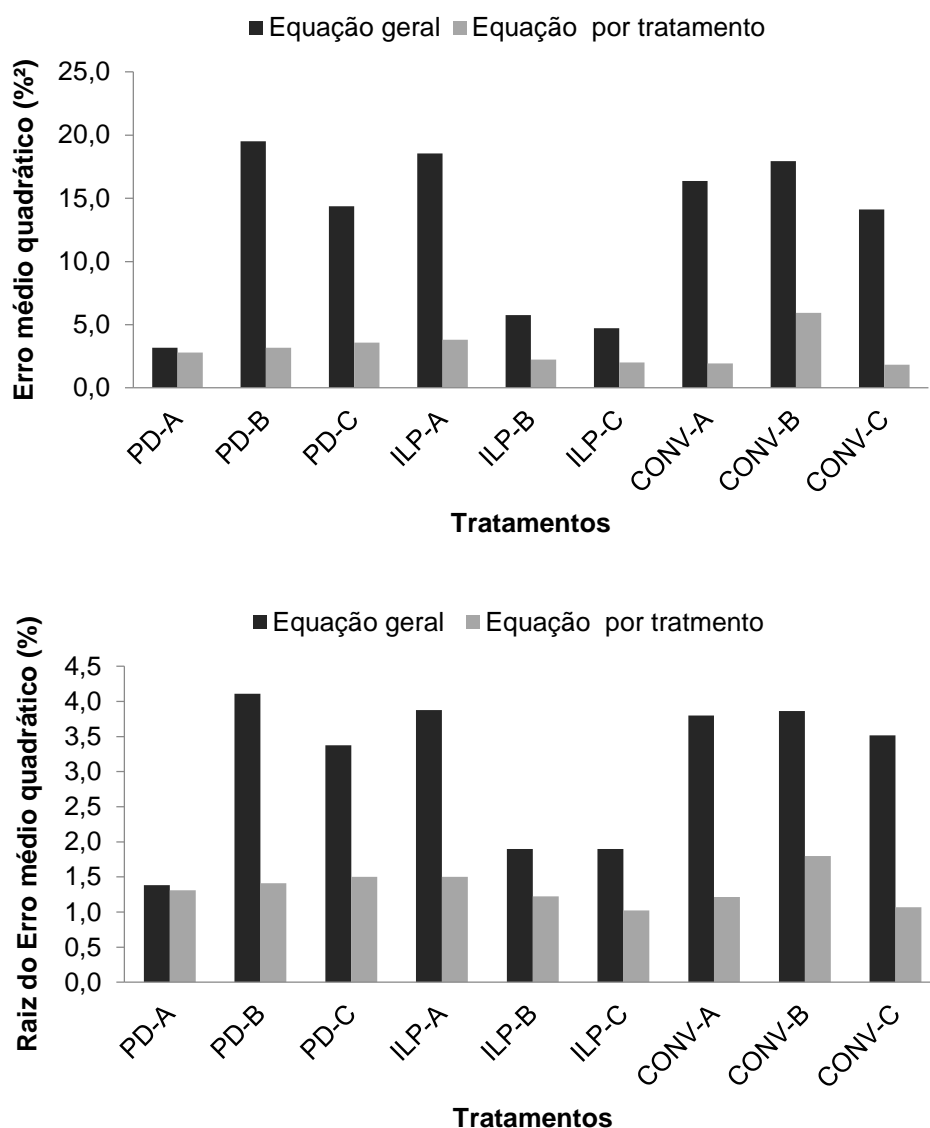
**Figura 2.6.** Equações individuais de calibração e correlação entre umidade padrão volumétrica determinada pela gravimetria ( $\theta_p$ ) e umidade volumétrica ajustada do TDR ( $\theta_{TDR}$ ), para os sistemas de Plantio Direto (PD), Integração Lavoura – Pecuária (ILP) e Plantio Convencional (CONV), nas três profundidades.

O grau de inclinação das linhas de tendência dos pontos exibiram semelhanças para quase todos os tratamentos, com média de coeficientes angulares de 0,39, com exceção do ILP (0,12-0,24 m) que além de possuir maior valor de  $R^2$  em relação a todos os outros tratamentos, também apresentou maior variação de  $\theta_p$  e maior valor de coeficiente angular (0,72) expressando maior grau de inclinação da linha de tendência (Figura 2.6), sendo o que mais se aproximou da proporção de 1:1, como encontrado por Silva & Gervásio (1999). De modo geral, os altos valores de  $R^2$  e baixos CV apresentados indicaram boa eficácia do aparelho utilizado na mensuração da umidade no solo para as condições edafoclimáticas da região.

#### *4.3.5 Análise comparativa das equações de calibração do sensor TDR de umidade do solo por uso e profundidade do solo com equação padrão do sensor*

Com o intuito de comparar as duas metodologias de calibração do sensor TDR e estimativa da umidade do solo, foram utilizados o erro quadrático médio (EQM) e a raiz quadrada do erro médio quadrático (REQM) apresentados na Figura 2.7.

Em termos gerais, verificou-se que tanto a equação geral quanto as equações individuais para cada tratamento foram capazes de representar a relação existente entre a umidade volumétrica dos solos determinada por gravimetria e da umidade volumétrica dos solos obtida por meio do sensor TDR utilizado neste estudo. Contudo, um melhor ajuste para esta estimativa foi obtido ao se considerar equações individuais para cada tratamento, uma vez que apresentaram menores valores de ambos os índices supracitados (EQM e REQM) para todos os tratamentos (Figura 2.7), em relação à equação geral, confirmando a preferência pelo uso das equações individuais para cada condição analisada.



**Figura 2.7.** Análise comparativa das equações de calibração do sensor TDR de umidade do solo por uso e profundidade do solo com equação padrão do sensor.

Os resultados obtidos comprovam que a resposta do sensor HydroSense (CD620CS620) à umidade varia com o sistema de manejo e com a profundidade, pois as curvas de calibração obtidas neste estudo diferem entre si. Com isso, a calibração do sensor analisado foi realizada com êxito, utilizando equações distintas para cada sistema de manejo e profundidade, demonstrando a eficácia do aparelho para a mensuração da umidade do solo na área experimental utilizada.

Portanto, corroborando com ABBAS et al., 2011; GONÇALVES et al., 2011; SOUZA et al., 2013, o presente trabalho reafirma a necessidade de calibração



específica de sensores do tipo TDR para cada sistema estudado, principalmente quando o grau de precisão necessário na determinação da umidade do solo for alto.

#### 4.4 Conclusões

O sensor TDR “HydroSense” apresenta-se eficaz na mensuração da umidade do solo no Latossolo Vermelho Distroférico estudado da região sudoeste de Goiás - Brasil;

A resposta do sensor variou em relação ao tipo de manejo e profundidade, indicando que a calibração específica para cada local é recomendada, ainda que para um mesmo tipo de solo;

A curva de ajuste obtida apresentou valores altos de coeficiente de determinação ( $R^2$ ), indicando que, quando devidamente calibrado, o sensor pode ser utilizado com bons resultados na determinação da umidade do solo.

#### 4.5 Referências bibliográficas

- ABBAS F.; FARES, F.; FARES, S. Field Calibrations of Soil Moisture Sensors in a Forested Watershed. **Sensors**, 11, 6354-6369, 2011.
- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:717-723, 2001.
- ASSIS, R. L. de; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 515-522, 2005.
- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. DE; SILVA, A. M. DA. Estabilidade temporal do conteúdo de água em três condições de uso do solo, em uma bacia hidrográfica da região da Serra da Mantiqueira, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34: 2001-2009. 2010.
- BROCCA, L. et al. Soil moisture temporal stability over experimental areas in Central Italy. **Geoderma**, v. 148, n. 3-4, p. 364-374, 2009.

- CARDENAS-LAILHACAR B.; DUKES M.D. Precision of soil moisture sensor irrigation controllers under field conditions. **Agricultural Water Management** 97, 666–672, 2010.
- COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO, FILHO. M A, LEDO, C. A. S. Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipos de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.30, n.1, p. 23-30, 2006.
- COPPOLA, A. et al. Average moisture saturation effects on temporal stability of soil water spatial distribution at field scale. **Soil Tillage Rescearch**, v. 114, n. 2, p. 155-164, 2011.
- COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 527-535, 2003.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. John Wiley, 1981. 232 p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Embrapa Solos, 412 p., 2009.
- FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S.; MESQUITA, M. G. B. F.; ALVES, E.A.B.F. Física do solo. Lavras, Universidade Federal Lavras, 2003. 79p.
- GONÇALVES, A. C. A.; TRINTINALHA, M. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M. V. Influência da densidade do solo na estimativa da umidade em um nitossolo vermelho distroférico, por meio da técnica de TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 1551-1559. 2011.
- KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; MINELLA, J.P.G. Dielectric constant obtained from TDR and volumetric moisture of soils in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34 n.3, p.649-658, 2010.
- KOETZ, M.; MASCA, M. G. C. C.; CARNEIRO, L. C.; RAGAGNIN, V. A.; SENA JUNIOR, D. G. de; GOMES FILHO, R. R. Caracterização agrônômica e °brix em frutos de tomate Industrial sob irrigação por gotejamento no sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.4, n.1, p.14–22, 2010.
- MIRANDA, F. R. DE; SANTANA, M. G. S. DE, SOUZA, C. C. M. DE; OLIVEIRA. C. H. C. DE. Calibração do sensor dielétrico ECH2O em dois tipos de solo. **Revista Ciência Agrônômica**. Fortaleza, v.38, n.3, p.317-321, 2007.
- PENNA, D. et al. Soil moisture temporal stability at different depths on two alpine hillslopes during wet and dry periods. **Journal of Hydrology**, v. 477, p. 55-71, 2013.
- SÁ, M. A. C. DE; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos; SANO, E. E. **Calibração e Validação de sensor Dielétrico para Estimativa de Teor de Água em Solos do Cerrado**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 223. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Planaltina, 2008.

- SANTOS, M.R. dos; ZONTA, J.H.; MARTINEZ, M.A. Influência do tipo de amostragem na constante dielétrica do solo e na calibração de sondas de TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.2, p.299-307, 2010.
- SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, S. de A.; SOUZA, C. F. **Aspectos práticos na utilização da técnica de capacitância: desafios e aprendizagem**. In: SOUZA, C. F.; VARALLO, A. C. T.; LOPES, L. N.; SANTORO, B. L. (Org.). Aplicações de técnicas eletromagnéticas para o monitoramento ambiental. Taubaté: Universidade de Taubaté - UNITAU, v.1, p.25-45, 2008.
- SILVA, E.L. da & GERVÁSIO, E. S. Uso do instrumento tdr para determinação do teor de água em diferentes camadas de um latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p.417-420, 1999.
- SOUZA, C. F.; PIRES R. C. M.; MIRANDA, D. B. de; VARALLO, A. C. T. Calibração de sondas fdr e tdr para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 4, p. 597-606, outubro-dezembro, 2013.
- TOPP, G. C.; YANUKA, M.; ZEBCHUK, W. D.; ZEGELIM, S. Determination of electrical conductivity using a time domain reflectometry: soil and water experiments in coaxial lines. **Water Resources Research**, Washington, v. 24, p. 945-952, 1980.
- TOPP, C.G., Davis, J.L., Annan, A.P. The early development of TDR for soil measurements. **Vadose Zone Journal**, 2 , pp. 492–499, 2003.
- VARBLE, J.L. & CHÁVEZ, J.L. Performance evaluation and calibration of soil water content and potential sensors for agricultural soils in eastern Colorado. **Agricultural Water Management**, 101, 93–106, 2011.
- VEIGA, R.D; SÁFADI, T. **Análise de regressão e séries temporais**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 57p, 1999.
- VILLWOCK, R.; TAVARES, M.H.F. & VILAS BOAS, M.A. Calibração de um equipamento TDR em condições de campo. **Irriga**, v.9, n.1, p.82-88, 2004.

## 5 CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DA ESTABILIDADE TEMPORAL DA UMIDADE SOB TRÊS DIFERENTES USOS E PROFUNDIDADES DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO

**RESUMO** - A estabilidade temporal é utilizada por vários pesquisadores para representar adequadamente o conteúdo de água no solo com reduzido esforço amostral a partir da identificação de pontos no campo que refletem o comportamento médio da umidade do solo. Portanto, objetivou-se com esse trabalho analisar a estabilidade temporal da umidade do solo em 3 sistemas de cultivo e 3 profundidades de um Latossolo Vermelho Distroférico no sudoeste do estado de Goiás, com características de Cerrado. No período de 09 de novembro de 2013 a 15 de fevereiro de 2014, foram realizadas leituras instantâneas da umidade volumétrica do solo a cada 14 dias. Para isso, utilizou-se um sensor portátil do tipo TDR, com hastes de 0,12 m de comprimento, nas profundidades de 0 - 0,12, 0,12 – 0,24 e 0,24 - 0,36 m, que posteriormente, foram corrigidas pela umidade volumétrica obtida por gravimetria com uso da densidade do solo. Para análise estatística da estabilidade temporal, utilizaram-se as técnicas não paramétricas de diferença relativa média e coeficiente de correlação de Spearman. Os resultados mostraram que foi possível a identificação de locais específicos representativos na área para mensuração da média da umidade do solo nos respectivos sistemas analisados.

**Palavras-chave:** Reflectometria no domínio do tempo, umidade do solo, variação temporal, diferença relativa, estatística não-paramétrica.

**ABSTRACT** - The technique of temporal stability is used by several researchers to adequately represent the water content in the soil with reduced sampling effort from the identification of points on the field that reflect the average behavior of soil moisture. Therefore, the objective of this work is to analyze the temporal stability of soil moisture in three cropping systems and three depths of an Oxisol in the southwest of the state of Goiás, with characteristics of Cerrado. In the period from November 9, 2013 to February 15, 2014, instant readings of the volumetric soil moisture every 14 days were performed. For this, it was used a portable type sensor TDR HydroSence model, rods with length 0.12 m at depths from 0 to 0.12, from 0.12 to 0.24 and 0.24 to 0.36 m, which subsequently were corrected by soil moisture obtained by gravimetry using soil density. Statistical analysis of temporal stability were done using the nonparametric techniques of average relative difference and Spearman correlation coefficient. Results showed that it was possible to identify representative locations in the area for the measurement of soil moisture average on the respectively analyzed systems.

**Keywords:** time domain reflectometry, soil moisture, temporal variation, relative difference, nonparametric statistics.

## 5.1 Introdução

Estimar o valor representativo de variáveis relacionadas a processos naturais como a dinâmica da água no solo é relativamente complexo devido à sua heterogeneidade, a qual é dependente da ação de diversos fatores extrínsecos e intrínsecos do solo, no caso da variação do conteúdo de água no solo, caracterizando sua variabilidade espacial e temporal (Ávila et al., 2010). Segundo esses autores, o conceito de estabilidade temporal foi introduzido por Vachaud et al. (1985), com o intuito de representar adequadamente o conteúdo de água no solo com reduzido esforço amostral. van Wesenbeeck & Kashanoski (1988) definiram como a associação constante entre a localização espacial e as medidas estatísticas que caracterizam uma determinada propriedade do solo ao longo do tempo. Essa técnica possibilita a identificação de pontos no campo que refletem o comportamento médio de uma variável, ou seja, pontos que apresentam valores semelhantes ao valor médio.

Ao longo dos anos, alguns autores tem estudado a estabilidade temporal da umidade do solo e concluído que locais específicos podem representar a média dos valores de umidade em uma determinada área de estudo por um período de tempo e que a identificação desses pontos é fundamental no planejamento de programas de monitoramento de variáveis hidrológicas e hidroagrícolas, pois permite a redução de custos relacionados à mensuração de dados de campo (Grayson & Western, 1998; Gómez-Plaza et al., 2000; Starr, G.C., 2005; Brocca, L. et al., 2007; Brocca et al., 2009; Ávila et al., 2010; Souza et al., 2011; Gao & Shao, 2012; Jia & Shao., 2013).

Porém, a persistência temporal do padrão do conteúdo de água no solo pode ser influenciada pela vegetação, pelas propriedades do solo (que são afetadas pelo tipo de manejo do solo), pelas condições climáticas e pela topografia (Schneider et al., 2008).

Portanto, observa-se que o estudo da estabilidade temporal pode contribuir na obtenção de soluções para uma diversidade de questões relacionadas ao monitoramento da dinâmica da água no solo, especialmente na redução de custos associados à medição do conteúdo de água no solo, gerando informações científicas que poderão ser aplicadas com maior grau de confiabilidade a um custo reduzido (Ávila et al., 2010).

Baseado nessas informações e testando a hipótese de que a estabilidade temporal da umidade do solo é igual para o tipo de solo independentemente do manejo do solo e profundidade, objetivou-se neste trabalho analisar a distribuição espacial de atributos do solo e a estabilidade temporal da umidade do mesmo em três diferentes sistemas de cultivo e três profundidades distintas de um Latossolo Vermelho Distroférico no sudoeste do estado de Goiás, com características de Cerrado.

## **5.2 Material e métodos**

### *5.2.1 Localização do Experimento*

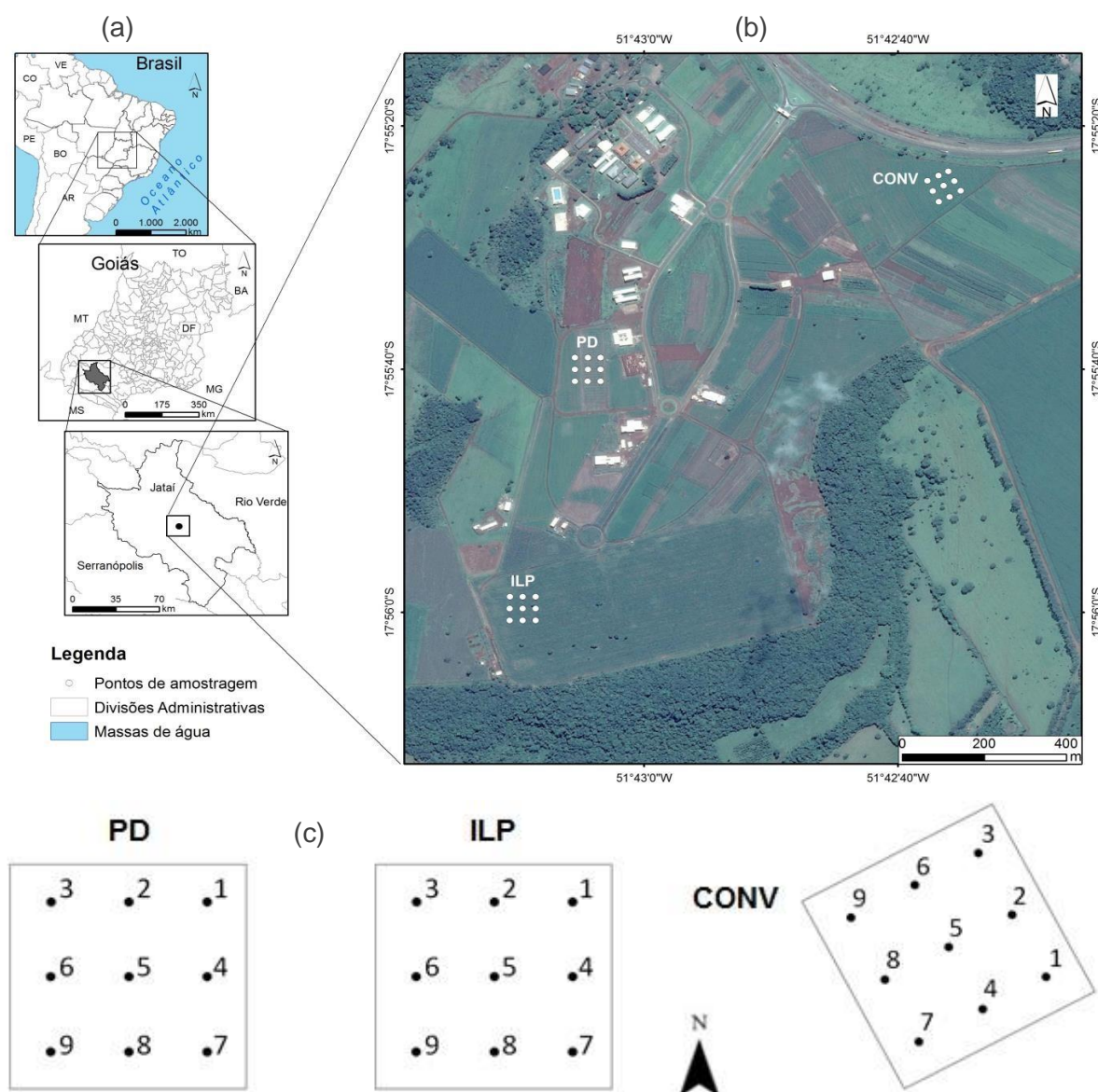
O experimento foi conduzido em uma área experimental situada na Universidade Federal de Goiás (UFG), Regional Jataí, no sudoeste de Estado de Goiás – Brasil (Figura 3.1), com 17° 52' 53" S de latitude e 51° 42' 52" W de longitude, com 700 m de altitude, localizada numa região de clima do tipo Cw, tropical de savana, mesotérmico, com estação seca e chuvosa bem definida, segundo a classificação de Kopen. A temperatura média anual é de aproximadamente 22 °C, com um período chuvoso estendendo-se de outubro a abril, quando nestes sete meses são registrados mais de 90% do total das chuvas do ano. A precipitação média anual varia em torno de 1600 mm (Koetz et al., 2010).

O solo estudado foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, segundo a classificação da EMBRAPA (2009).

### *5.2.2 Área Experimental*

A área experimental foi composta por três subáreas de aproximadamente 1 ha cada, cultivados com soja (*Glycine max*) na safra de 2013/2014 (primeira safra), com diferentes sistemas de manejo do solo. O plantio da soja, que na região do estudo geralmente é realizado em outubro, ocorreu no início do mês de novembro, coincidindo com o início do período chuvoso de 2013/2014 (ano atípico). As

subáreas vêm sendo cultivadas ao longo dos anos com as culturas de soja na primeira safra (safra) e de milho (*Zea mays*) ou sorgo (*Sorghun bicolor*) na segunda (safrinha), em sistema de plantio direto (PD) desde o ano de 2008 (subárea 1), em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP), consorciando as culturas de soja e braquiária desde 2009 (subárea 2) e com plantio convencional (CONV) associado ao uso de gradagem na época do plantio. Cada subárea foi dividida em uma grade regular contendo nove células medindo 30 x 30 m cada (Figura 3.1, b e c), considerando-se o centro de cada célula como ponto de referência para coletas.



**Figura 3.1.** Localização do experimento (Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás - SIEG, 2014) (a); imagem de satélite da área de estudo (© Google Earth, 20/04/2014) (b); e Croqui da distribuição dos pontos de amostragem nas áreas de estudo (c). PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.



### 5.2.3 Amostragem e Coleta dos dados

A determinação e localização dos pontos para a coleta dos dados foi feita, inicialmente, com o uso de trena e estacas onde posteriormente foi realizado o georeferenciamento dos pontos, semelhante à Ávila et al. (2010).

Com os pontos previamente determinados, realizou-se o monitoramento do umedecimento do solo, desde o início do período chuvoso de 2013 até o período úmido, em que o solo manteve-se sempre próximo à condição de saturação. O monitoramento da umidade do solo nas profundidades de 0 - 0,12, 0,12 - 0,24 e 0,24 - 0,36 m, ocorreu entre os meses de novembro de 2013 e fevereiro de 2014, com leituras intermediárias a cada 14 dias, por meio de um equipamento baseado na medição da constante dielétrica do solo que é altamente correlacionada com a umidade do mesmo, semelhante ao utilizado por Top et al. (1980), Coppola et al. (2011), e Penna et al. (2013). Este sensor portátil do tipo TDR (reflectometria no domínio do tempo – “*Time Domain Reflectometry*”), modelo “HydroSence” (CD620, CS620), com haste de 0,12 m de comprimento, fabricado por “Campbel Scientific”, forneceu leituras instantâneas do conteúdo de água no solo com base em volume, proporcionando o monitoramento de camadas 0,12 m de profundidade. Foram feitas 4 repetições, coletadas aleatoriamente dentro de um raio de 1 m do ponto de referência.

Também se coletaram, em áreas de 0,5 m<sup>2</sup>, amostras de palhada depositada sobre a superfície do solo (oriunda de cultivos anteriores) as quais foram secas em estufa em temperatura de aproximadamente 60°C até se obter massa constante (massa seca).

### 5.2.4 Análise da estabilidade temporal

Para a análise da estabilidade temporal, utilizaram-se técnicas da estatística não paramétrica que são: diferença relativa e teste não paramétrico de “Spearman”. De acordo com Vachaud et al. (1985), a diferença relativa pode ser calculada pela equação 3.1:

$$\delta_{ij} = \frac{\theta_{ij} - \bar{\theta}_j}{\bar{\theta}_j} \quad (3.1)$$

Em que  $\delta_{ij}$  é a diferença relativa na posição  $i$  no tempo  $j$   $\theta_{ij}$  é o valor do conteúdo de água no solo na posição  $i$  e no tempo  $j$ ; e  $\bar{\theta}_j$  é a média do conteúdo de água no solo, em todas as posições, no tempo  $j$ , calculada pela equação 3.2:

$$\bar{\theta}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \theta_{ij} \quad (3.2)$$

Para cada posição  $i$ , a média e o desvio padrão da diferença relativa são dadas pelas equações 3.3 e 3.4, respectivamente:

$$\bar{\delta}_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \delta_{ij} \quad (3.3)$$

$$\sigma(\delta_i) = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{j=1}^M (\delta_{ij} - \bar{\delta}_i)^2} \quad (3.4)$$

Segundo Vachaud et al. (1985), um valor constante ou uma pequena variação de  $\delta_{ij}$  ao longo do tempo, para cada posição  $i$ , é indicação de estabilidade temporal. E de acordo com Brocca et al. (2009), uma posição estável no tempo é caracterizada por um baixo valor de  $\sigma(\bar{\delta}_i)$ .

Um valor positivo de  $\bar{\delta}_i$  para um determinado ponto de amostragem indica que a localização é geralmente mais úmida do que o local onde se encontra a média de umidade da área estudada enquanto que um valor negativo indica que a localização é mais seca comparada à média. O desvio padrão da diferença relativa especifica o grau de variação da estimativa analisada.

A determinação do ponto específico da área, considerado ideal para monitoramento da umidade do solo foi realizada semelhante à Zhao et al. (2010) e Penna et al. (2013), quando utilizaram um parâmetro Indicador de Estabilidade

Temporal ( $IET_i$ ), considerando o valores de  $\bar{\delta}_i$  e  $\sigma(\delta_i)$  em conjunto, assim fornecendo um único indicador da localização mais temporalmente estável e, ao mesmo tempo, da localização mais representativa da média da umidade na área analisada. O  $IET_i$  foi calculado pela equação 5:

$$IET_i = \sqrt{\bar{\delta}_i^2 + \sigma(\delta_i)^2} \quad (3.5)$$

Assim, o valor mais baixo de  $IET_i$  caracteriza o local de amostragem com maior estabilidade temporal, ao passo que os pontos com valores elevados de  $IET_i$  caracterizam os locais com características extremas de umidade do solo, ou seja, locais mais úmidos ou mais secos no campo.

Concordando com Ávila et al.(2010), a estatística do teste de “Spearman” ( $T$ ) pode ser obtida pela equação 6:

$$T = \frac{cs}{\sqrt{var(cs)}} \quad (3.6)$$

Onde  $cs$  é o coeficiente de correlação de “Spearman” e  $var(cs)$  é a variância do coeficiente de correlação de “Spearman”. Considerando um nível de significância de 5 % ( $\alpha = 0,05$ ), pela Tabela de Z. Assim, se  $|T| > Z(1 - \frac{\alpha}{2})$ , rejeita-se a hipótese  $H_0$  de que as observações não apresentam tendência temporal. O coeficiente de correlação de “Spearman” ( $cs$ ) e a variância do coeficiente de correlação são obtidos, respectivamente, pelas equações 7 e 8:

$$cs = 1 - \frac{6 \times \sum_{i=1}^N (F_i - f_i)^2}{N^3 - N} \quad (3.7)$$

$$var(cs) = \frac{1}{N-1} \quad (3.8)$$

Em que  $f_i$  corresponde à posição temporal da série histórica e  $F_i$  à posição em que as observações associadas a  $f_i$  ocupam com a série histórica ordenada em ordem crescente e  $N$  corresponde ao número de dados da série.

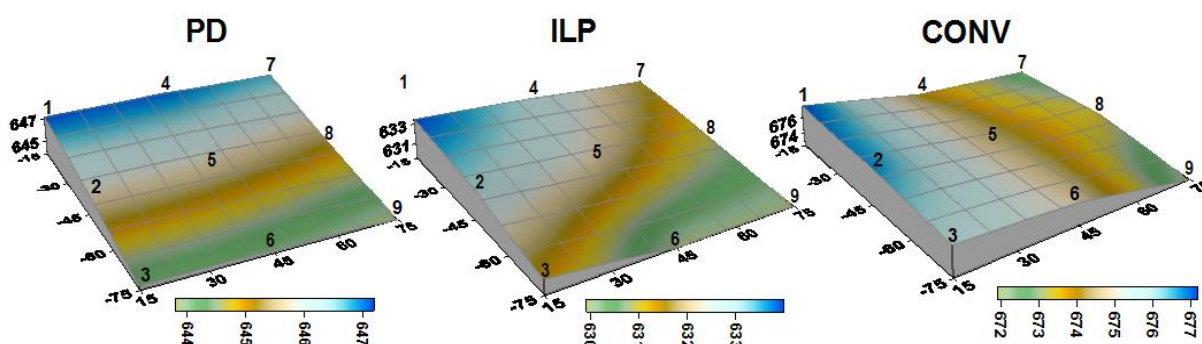
O coeficiente de correlação de “Spearman” ( $cs$ ) é empregado para avaliar o grau de correlação da variável espacial, conteúdo de água no solo, nos diferentes tempos de amostragem. Um valor de  $cs$  igual à unidade corresponderá a posições idênticas em todos os pontos de medição, ou seja, estabilidade perfeita entre dois tempos. Assim, quanto mais próximo de 1 for  $cs$ , mais estável será o processo (Campos, 1983; Vachaud et al., 1985; Ávila et al., 2010).

### 5.3 Resultados e discussão

#### 5.3.1 Características do solo

Determinou-se o pH ( $H_2O$ ) do solo, que apresentou valores muito próximos de 5,47 para todas as condições.

Também se realizou uma avaliação da topografia do terreno, da qual foi gerada a Figura 3.2 que representa a declividade das áreas de estudo para os três sistemas de manejo avaliados.



**Figura 3.2.** Topografia do terreno nas áreas de estudo. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.

Schneider et al. (2008) mencionam que a persistência temporal do padrão do conteúdo de água no solo pode ser influenciada pela topografia, porém o relevo das áreas utilizadas no presente trabalho (plano a suave ondulado) reduz expressivamente a interferência do relevo no padrão espaço-temporal da umidade do solo nas referidas áreas, eliminando a influência da topografia do terreno na análise temporal da umidade do solo.

Assim como a topografia, a vegetação também não influenciou na análise comparativa da umidade do solo entre os três tipos de manejo do solo (PD, ILP e CONV), uma vez que o plantio foi realizado com mesma cultura (soja) e em mesma data para ambos.

Na Tabela 3.1 são apresentados os valores de composição textural, densidade do solo e teor de matéria orgânica para o Latossolo Vermelho Distroférico utilizado no trabalho.

Após realização de análise de variância e teste de “Scott-Knott” a 5% de significância, percebeu-se diferença estatística entre as médias de valores dos atributos do solo avaliados neste trabalho. Essas diferenças são representadas por diferentes letras colocadas após os valores médios dos atributos (Tabela 3.1).

**Tabela 3.1.** Resumo estatístico das características do solo (Anova e teste de “Scott-knott”,  $\alpha = 0,05$ ,  $n = 9$ )

Itens	Parâmetro	PD-A	PD-B	PD-C	ILP-A	ILP-B	ILP-C	CONV-A	CONV-B	CONV-C
d (g cm <sup>-3</sup> )	Média	1,26a	1,19b	1,17b	1,32a	1,22a	1,14b	1,24a	1,26a	1,27a
	Máx	1,44	1,37	1,32	1,38	1,37	1,25	1,37	1,39	1,38
	Mín	1,09	0,99	1,02	1,14	1,09	0,99	1,07	1,14	1,09
	$\sigma$	0,10	0,12	0,11	0,07	0,10	0,08	0,10	0,08	0,09
	CV	7,98	10,23	9,69	5,46	7,98	6,92	7,69	6,23	6,73
	E. Padrão	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
M.O.S. (%)	Média	3,1b	2,7c	2,2d	3,4a	3,3a	2,6c	3,5a	3,4a	2,7c
	Máx	3,61	3,59	2,97	4,10	4,04	3,56	4,05	3,61	3,25
	Mín	2,56	2,27	1,69	2,71	2,48	1,80	2,56	2,47	2,23
	$\sigma$	0,24	0,25	0,32	0,40	0,37	0,38	0,40	0,37	0,36
	CV	7,8	9,38	14,48	11,96	11,15	14,74	11,60	12,29	13,40
	E. Padrão	0,04	0,04	0,05	0,07	0,06	0,06	0,13	0,12	0,12
Argila (%)	Média	45,1c	44,3c	48,2b	43,1c	46,8b	48,3b	57,6a	58,0a	58,9a
	Máx	49,32	50,16	52,74	48,59	50,48	53,12	64,85	63,19	63,84
	Mín	42,19	36,31	44,21	35,12	39,96	44,19	52,06	47,83	54,16
	$\sigma$	2,83	4,64	2,74	4,42	3,36	3,10	4,87	5,37	3,78
	CV	6,27	10,46	5,68	10,25	7,17	6,43	8,45	9,25	6,42
	E. Padrão	0,94	1,55	0,91	1,05	1,12	1,03	1,62	1,79	1,26
Silte (%)	Média	28,5a	29,4a	25,1b	32,0a	27,8a	26,5b	26,2b	26,3b	23,0b
	Máx	34,30	36,69	30,14	38,51	30,68	30,66	32,53	33,16	28,97
	Mín	24,34	22,65	19,97	25,73	23,52	22,47	17,72	22,43	13,02
	$\sigma$	3,40	5,00	3,17	3,91	2,33	2,86	4,57	4,16	4,84
	CV	11,92	17,01	12,64	12,23	8,39	10,77	17,47	15,83	21,08
	E. Padrão	1,13	1,67	1,06	1,30	0,78	0,95	1,52	1,39	1,61
Areia (%)	Média	26,4a	26,3a	26,7a	25,0a	25,4a	25,2a	16,3b	15,7b	18,1b
	Máx	29,11	29,35	29,76	26,86	29,36	25,93	18,76	19,23	25,18
	Mín	21,38	20,92	24,55	17,25	22,00	24,26	14,18	13,07	14,61
	$\sigma$	2,27	2,99	1,68	2,96	2,62	0,57	1,50	1,95	2,99
	CV	8,60	11,35	6,26	11,85	10,33	2,27	9,22	12,40	16,51
	E. Padrão	0,76	1,00	0,56	0,99	0,87	0,19	0,50	0,65	1,00

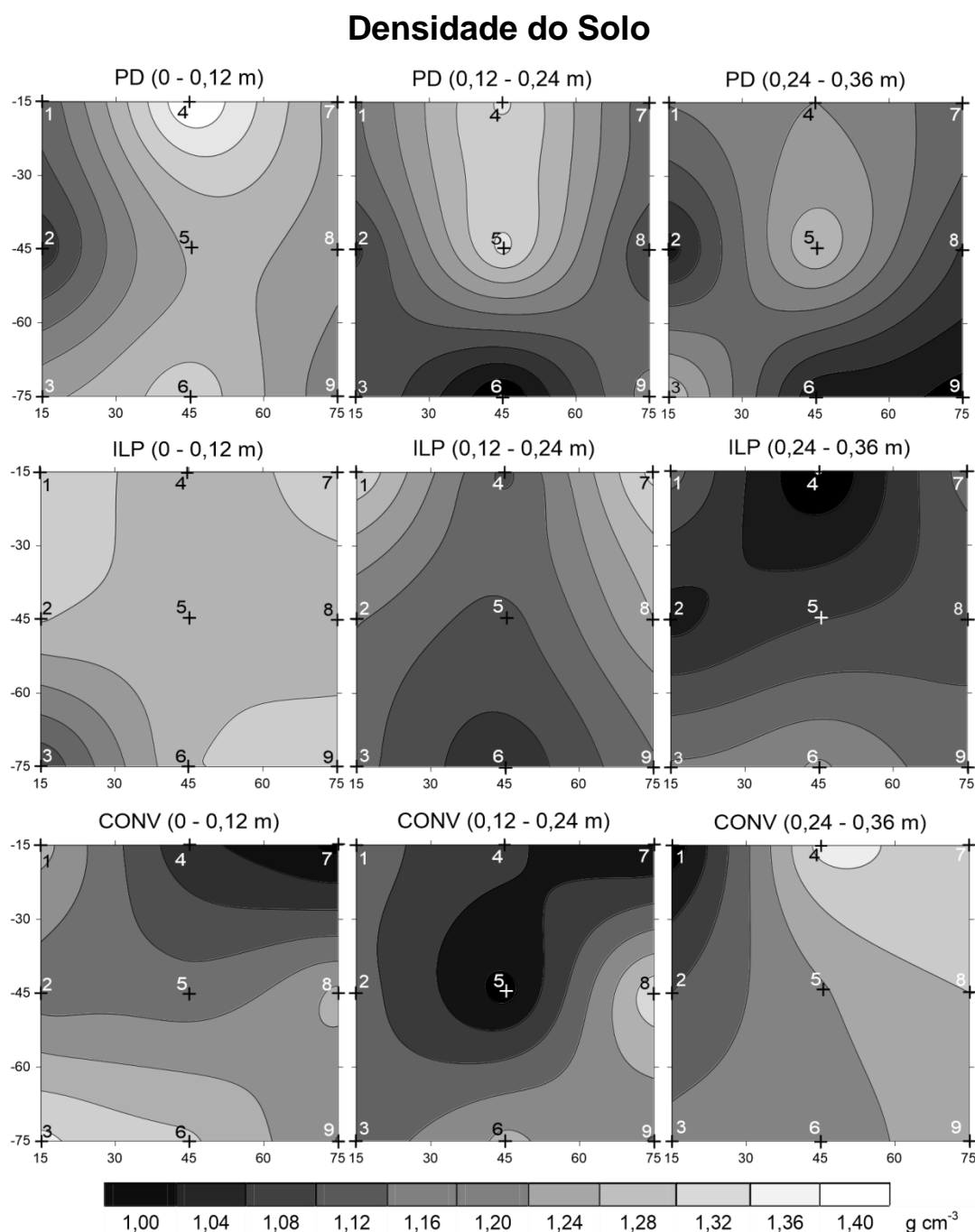
d = densidade do solo; M. O.S. = matéria orgânica do solo ( $n = 36$ );  $\sigma$  = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; E. Padrão = erro padrão da média

Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem entre si, estatisticamente.

PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.

A = 0-0,12 m; B = 0,12-0,24 m; C = 0,24-0,36 m

Analisando-se a Tabela 3.1 e a Figura 3.3, respectivamente, observa-se tendência a maior estabilidade dos valores de densidade ao longo do perfil do solo no sistema CONV, pois as três camadas desse sistema foram iguais entre si, enquanto que nos outros sistemas as primeiras camadas apresentaram valores maiores de densidade, também representada pela maior homogeneidade no padrão de cores entre as três camadas do sistema CONV, comparado aos outros sistemas.



**Figura 3.3.** Distribuição espacial da densidade do solo em três sistemas de manejo e três profundidades. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.

A maior estabilidade no CONV, provavelmente, ocorreu devido ao frequente revolvimento das três profundidades em análise.

Valores mais altos de densidade do solo em camadas próximas à superfície do solo, nos sistemas de PD e ILP, indicam maior grau de compactação nessas camadas (Tabela 3.1), que pode ser atribuído ao histórico de tráfego de máquinas agrícolas em solo pouco revolvido ao longo dos anos, confirmando efeitos observados por Costa et al. (2003) e Assis et al. (2005). No ILP, essa compactação do solo se torna mais acentuada devido ao pisoteio animal (Albuquerque et al., 2001).

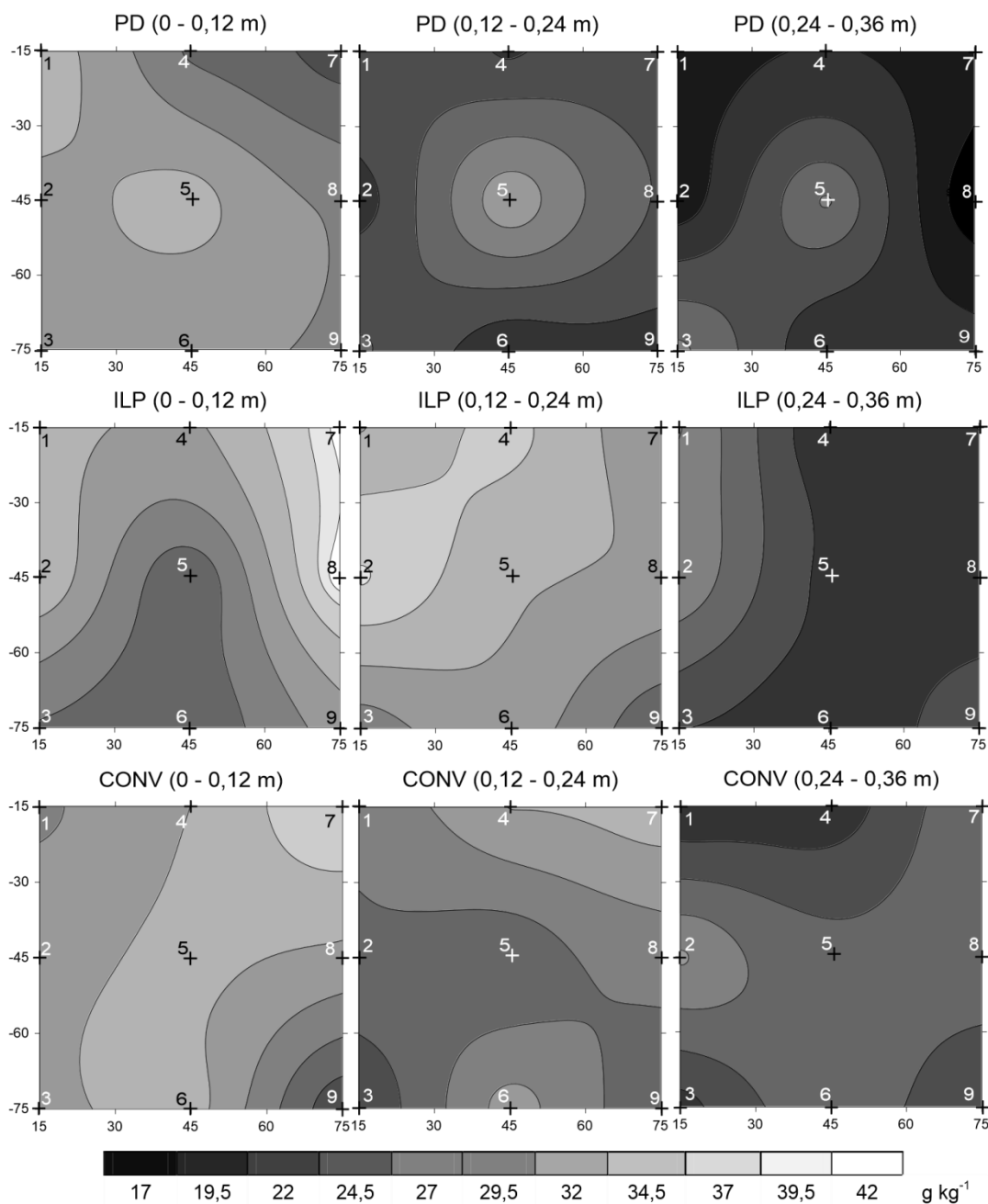
Quanto à Matéria Orgânica do solo (M.O.S.), foram constatadas diferenças entre os tratamentos, porém com tendência à redução dos valores com o aumento da profundidade em todos os tratamentos estudados (Tabela 3.1 e Figura 3.4). Essa observação demonstra um perfil característico dos solos em geral, pois a deposição de matéria seca se concentra na superfície do solo.

A Figura 3.4 mostra a distribuição espacial da M.O.S para todos os tratamentos, onde nota-se a redução dos valores da M.O.S. com a profundidade do solo, através da mudança gradual do padrão de cores, de mais claras nas camadas mais superficiais para tonalidades mais escuras nas camadas mais profundas.

Ainda na Tabela 3.1, é possível perceber semelhança entre os sistemas de PD e ILP quanto ao teor de argila nas três camadas analisadas e tendência crescente com a profundidade do solo, diferentemente do sistema CONV que se diferiu estatisticamente, quando apresenta valores mais altos de teor de argila em todas as profundidades avaliadas em relação aos sistemas anteriores, com valores médios próximos de 58%. A mesma característica foi demonstrada para teores de areia, porém com valores menores para o sistema CONV.



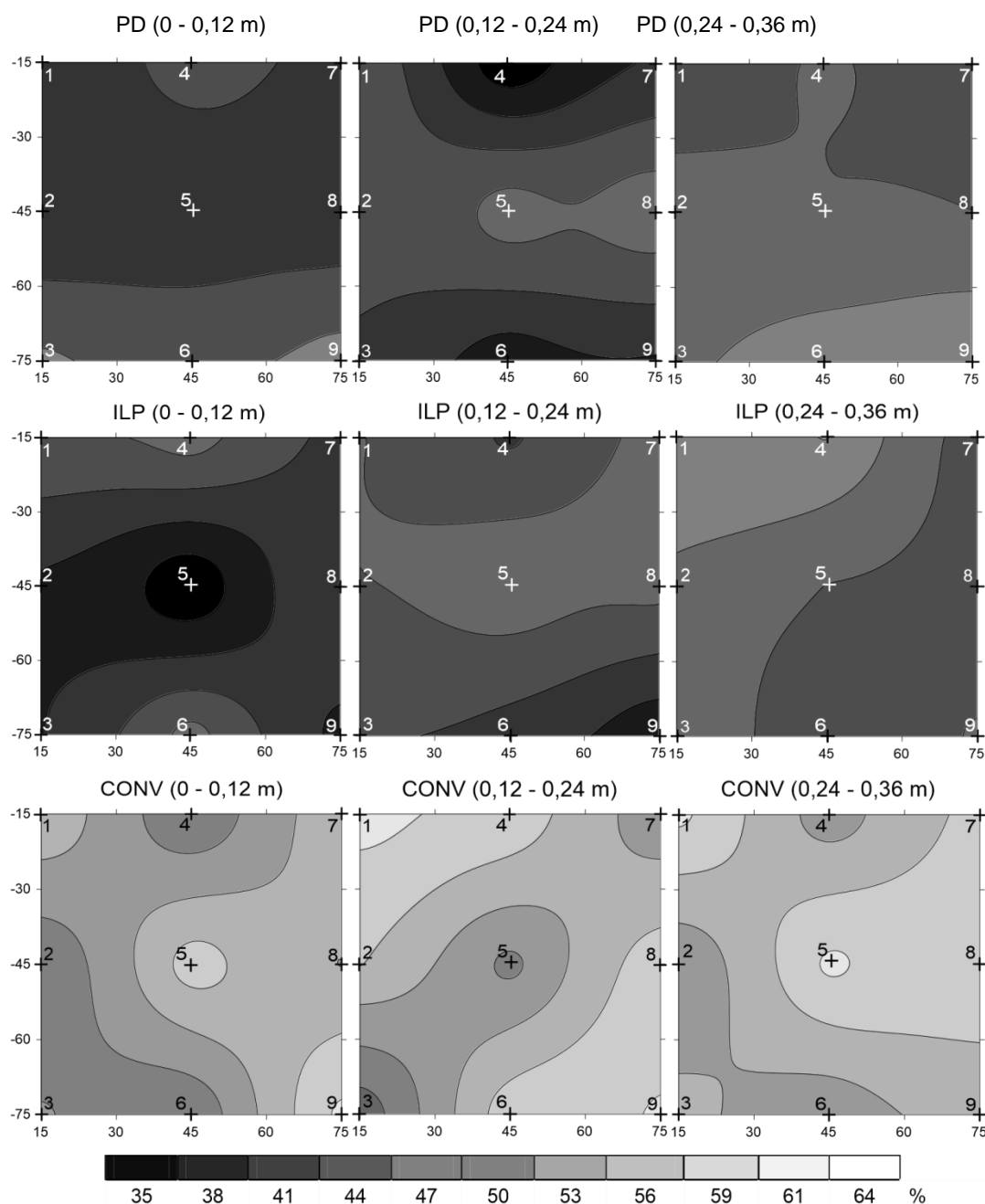
## Matéria Orgânica do Solo



**Figura 3.4.** Distribuição espacial da matéria orgânica do solo em três sistemas de manejo e três profundidades. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.

Uma análise da Figura 3.5, auxilia na percepção da variação dos teores de argila no solo, bem como na distinção do sistema CONV em relação aos outros, com tonalidades bem mais claras para todas as profundidades, indicando valores mais altos e mais homogêneos de teor de argila no mesmo.

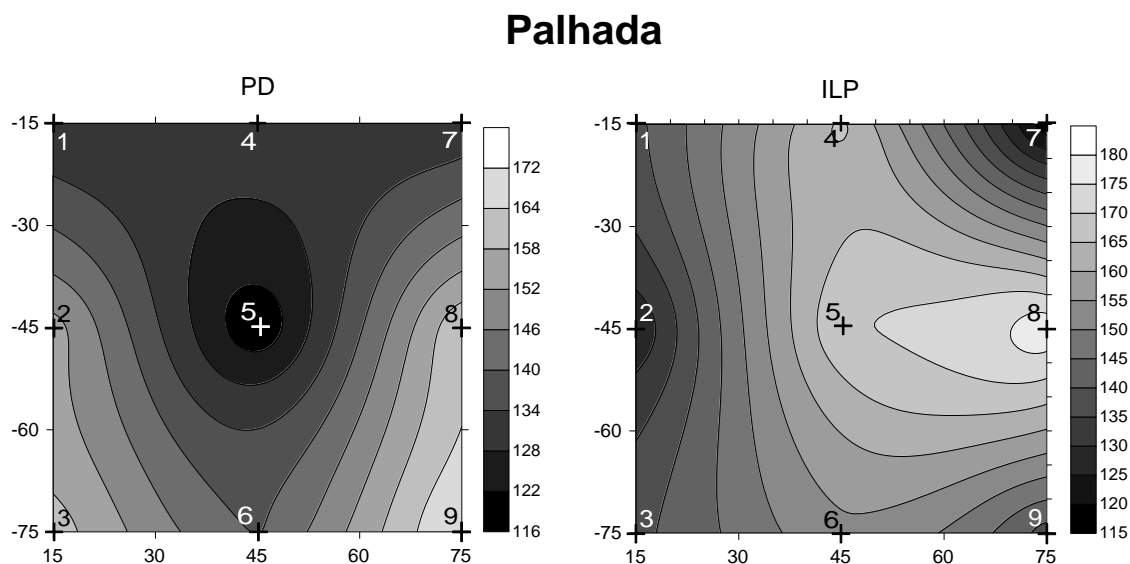
## Argila no Solo



**Figura 3.5.** Distribuição espacial do teor de argila do solo em três sistemas de manejo e três profundidades. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.

Uma análise da distribuição espacial da palhada oriunda de restos das culturas anteriores (principalmente cultura do milho) sobre o solo em três tipos de manejo e três profundidades é apresentada na Figura 3.6. Percebe-se diferença na distribuição espacial entre os dois tipos de manejos, quando, no PD, maiores valores

de palhada (coloração mais claras) se concentram nas extremidades e no ILP se concentram na região central das áreas de estudo.



**Figura 3.6.** Distribuição espacial da massa seca (em gramas) da Palhada oriunda de restos das culturas anteriores sobre o solo em três sistemas de manejo e três profundidades. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária.

A Tabela 3.2 apresenta uma análise comparativa por meio de coeficientes de correlação de Pearson para os atributos do solo em relação aos valores de umidade para cada tipo de manejo e profundidade. A análise de variância também foi usada para na análise.

Semelhante a Gao & Shao (2012), o coeficiente de correlação de “Pearson” foi para analisar a dependência do conteúdo de água no solo (CAS) em relação as propriedades do solo para PD, ILP e CONV em três profundidades distintas. Os resultados (Tabela 3.2) mostram que a M.O.S. teve maiores efeitos sobre o CAS (em acordo com Gómez-Plaza et al., 2000; Zhao et al., 2010; Biswas and Si, 2011) do que os outros atributos (densidade, argila e palhada). Esse comportamento é caracterizado pela maior quantidade de eventos com valores de coeficientes de correlação de “Pearson” significativos, os quais são maiores dos que encontrados por Zhao et al. (2010) e Gao & Shao (2012). Outras variáveis importantes foram o teor de argila e a densidade, que também apresentaram significância para alguns tratamentos.

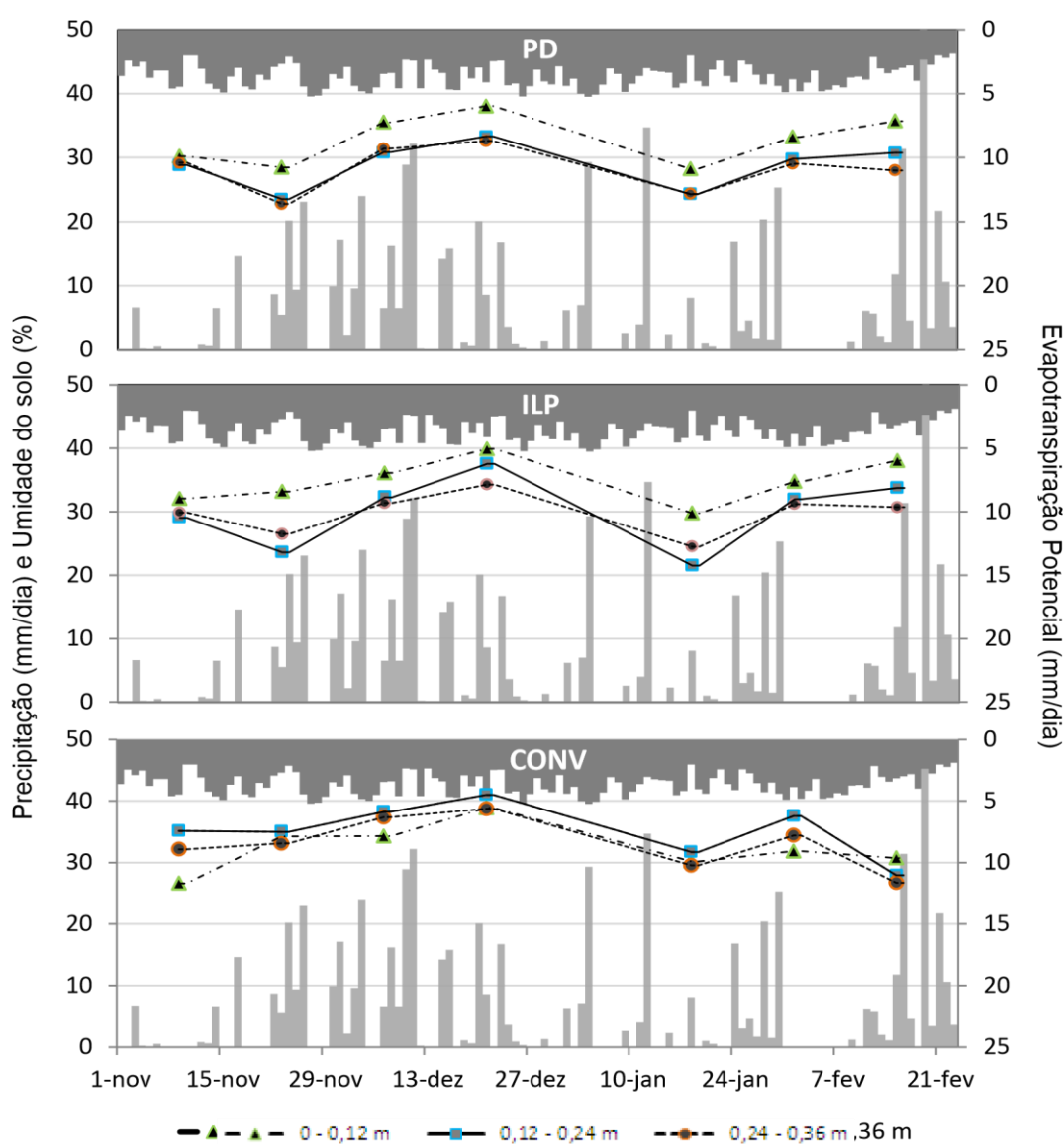
**Tabela 3.2.** Coeficiente de correlação de “Pearson” entre umidade do solo e variáveis investigadas para os três tipos de manejo em diferentes profundidades do solo

Sistema de Manejo	Profundidade	Densidade	M.O.S.	Argila	Palhada
PD	A	0,29	0,68**	- 0,14	0,20
	B	- 0,24	0,10	- 0,16	0,29
	C	- 0,23	0,51**	0,22	0,51**
ILP	A	- 0,14	0,65**	- 0,20	0,22
	B	0,03	- 0,33	0,64**	0,13
	C	- 0,52**	0,86**	- 0,16	- 0,01
CONV	A	0,13	0,21	- 0,35	-
	B	- 0,35	0,06	- 0,56**	-
	C	- 0,79**	0,18	0,09	-

\*\* Significativo a 1 % (ANOVA); A = 0 - 0,12 m; B = 0,12 - 0,24 m; C = 0,24 - 0,36 m; M. O.S.: matéria orgânica do solo; PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.

### 5.3.2 Análise do padrão temporal da umidade

O padrão temporal da umidade média do solo pode ser analisado por meio da Figura 3.7 e Tabela 3.3. Essa última apresenta uma série temporal de precipitação e evapotranspiração potencial (por dia) para sete campanhas de coleta em campo durante o período de novembro de 2013 a fevereiro de 2014 para as áreas de PD, ILP e CONV.



**Figura 3.7.** Padrão temporal da umidade média do solo para os sistemas de Plantio Direto (PD), Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Plantio Convencional (CONV). A precipitação e evapotranspiração (“Makkink”) diários também são apresentados.

Considerando-se valores médios da umidade de todas as campanhas, pode ser vista na Figura 3.7 e Tabela 3.3, uma variação entre 22 e 41%, com valor máximo próximo à capacidade de campo (43%) determinada por Koetz et al. (2010) em trabalho anterior na mesma área do experimento. O perfil temporal foi semelhante entre os três sistemas, com destaques para PD e ILP que se mostraram análogos para as três profundidades, principalmente em relação à camada mais superficial que apresentou valores superiores aos das outras profundidades em ambos os sistemas e em todas as campanhas.

**Tabela 3.3.** Estatística descritiva da umidade do solo para as datas de coleta nos três sistemas de manejo e três profundidades

Datas	PD (0 - 0,12 m)					PD (0,12 - 0,24 m)					PD (0,24 - 0,36 m)				
	Mín (%)	Máx (%)	$\bar{Y}$ (%)	$\sigma$	CV (%)	Mín (%)	Máx (%)	$\bar{Y}$ (%)	$\sigma$	CV (%)	Mín (%)	Máx (%)	$\bar{Y}$ (%)	$\sigma$	CV (%)
9-nov	27,7	33,2	30,2	1,7	5,7	27,2	30,4	28,8	1,1	4,0	26,4	32,1	29,2	1,6	5,4
23-nov	24,9	32,8	28,5	2,5	8,7	19,6	27,7	23,5	2,6	11,0	20,6	25,2	22,8	1,4	6,2
7-dez	34,0	37,1	35,5	1,1	3,1	27,9	33,9	30,9	2,1	6,8	29,4	32,9	31,4	1,1	3,5
21-dez	35,4	40,3	38,0	1,7	4,4	30,1	36,2	33,3	2,0	6,0	29,0	36,2	32,6	2,4	7,5
18-jan	26,7	32,5	28,3	1,8	6,3	22,4	27,2	24,3	1,4	5,9	22,7	27,8	24,3	1,5	6,2
1-fev	29,8	35,4	33,2	1,8	5,3	27,9	32,5	29,8	1,7	5,6	27,3	31,5	29,0	1,3	4,6
15-fev	33,1	39,7	35,7	2,4	6,7	27,9	33,5	30,8	1,9	6,0	24,7	31,5	28,0	2,1	7,5

Datas	ILP (0 - 0,12 m)					ILP (0,12 - 0,24 m)					ILP (0,24 - 0,36 m)				
	Mín (%)	Máx (%)	$\bar{Y}$ (%)	$\sigma$	CV (%)	Mín (%)	Máx (%)	$\bar{Y}$ (%)	$\sigma$	CV (%)	Mín (%)	Máx (%)	$\bar{Y}$ (%)	$\sigma$	CV (%)
9-nov	30,8	35,0	32,1	1,4	4,3	25,3	31,5	29,1	2,0	7,0	27,8	32,3	29,9	1,5	4,9
23-nov	30,5	34,7	33,2	1,3	4,1	20,5	26,1	23,6	2,0	8,4	23,0	28,7	26,5	1,8	6,9
7-dez	32,9	39,4	36,1	1,9	5,3	28,9	35,1	32,3	2,2	6,8	28,2	35,0	31,4	2,2	6,9
21-dez	35,9	42,7	39,9	2,3	5,8	28,8	43,9	37,6	4,5	12,0	29,6	36,8	34,3	2,6	7,6
18-jan	28,9	31,4	29,8	1,0	3,3	19,8	24,3	21,5	1,3	6,1	22,4	26,3	24,5	1,2	5,0
1-fev	32,9	36,1	34,8	1,2	3,3	27,3	35,6	32,0	3,1	9,6	28,2	34,1	31,2	1,7	5,4
15-fev	36,6	40,8	38,1	1,4	3,7	26,1	38,3	33,8	3,9	11,7	25,3	33,2	30,7	2,3	7,6

Datas	CONV (0 - 0,12 m)					CONV (0,12 - 0,24 m)					CONV (0,24 - 0,36 m)				
	Mín (%)	Máx (%)	$\bar{Y}$ (%)	$\sigma$	CV (%)	Mín (%)	Máx (%)	$\bar{Y}$ (%)	$\sigma$	CV (%)	Mín (%)	Máx (%)	$\bar{Y}$ (%)	$\sigma$	CV (%)
9-nov	25,9	28,0	26,6	0,7	2,5	32,7	39,5	35,1	2,1	2,1	28,0	34,5	32,1	2,0	6,3
23-nov	31,8	37,5	34,2	1,8	5,4	30,6	39,0	35,0	3,1	8,9	29,8	37,3	33,1	2,7	8,1
7-dez	31,4	36,2	34,3	1,6	4,6	34,7	40,9	38,2	1,9	4,8	34,6	40,1	37,4	1,8	4,9
21-dez	31,8	43,8	38,9	4,6	11,9	36,1	45,2	41,0	2,5	6,0	29,3	44,4	38,7	4,1	10,7
18-jan	28,4	32,8	30,2	1,2	3,9	29,8	33,3	31,7	1,2	3,9	27,9	30,7	29,5	1,0	3,3
1-fev	28,3	34,3	31,8	1,7	5,3	34,6	40,8	37,6	1,8	4,7	32,0	36,9	34,4	1,8	5,1
15-fev	29,6	33,5	30,7	1,3	4,1	25,9	30,4	27,9	1,4	5,1	25,0	28,5	26,7	1,1	4,1

PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.

Essa semelhança entre os sistemas, provavelmente ocorreu por se tratar de áreas muito próximas: aproximadamente 500 m de PD a ILP e 800 m de PD a CONV (ver Figura 3.1), especialmente entre os dois primeiros que além de serem mais próximos ainda possuem sistemas de manejo do solo semelhantes, de pouco revolvimento do solo e alta deposição de massa seca da palhada do milho na superfície do solo impedindo a evaporação da água.

A análise da Figura 3.7 demonstra tendência de semelhança de padrão temporal entre umidade do solo e precipitação, semelhante à Brocca et al. (2009), e evapotranspiração. Entre a primeira e a segunda campanha, notam-se menores valores médios da umidade explicados pela baixa incidência de chuva e frequência considerável de alta evapotranspiração diária no início do período chuvoso, quando a precipitação foi insuficiente para infiltração da água nas camadas mais profundas do solo, permanecendo nas camadas superiores, as quais sofrem maior interferência da atmosfera.

Porém, após alta incidência de precipitação, entre a segunda e a quarta campanha, percebe-se aumento expressivo das médias de umidade do solo, atingindo valores máximos, próximos de 41%.

Posteriormente à quarta campanha, os valores oscilaram de acordo com o volume e incidência de precipitação. Ressalta-se ainda que as duas ocorrências isoladas com grande volume de chuva entre a quarta e quinta campanha não foram suficientes para manter a alta umidade no solo por causa da baixa frequência de precipitação ocorrida em longo período, aliado a constância de altos índices de evapotranspiração, com valores superiores a 5 mm por dia. O sistema CONV foi o que evidenciou maior tendência a se diferir, especialmente na camada de 0 – 0,12 m, onde apresentou menores valores de umidade tanto em relação aos outros sistemas quanto às outras profundidades, provavelmente devido ao maior revolvimento do solo e exposição da água a evaporação causada pela ausência da palhada na superfície e facilitada pela menor densidade do solo nessa camada (Tabela 3.1), corroborando com o encontrado por Costa et al. (2003) em Latossolo Bruno sob plantio direto e convencional.

### 5.3.3 Coeficiente de correlação de Spearman

Resultados da estatística do coeficiente de correlação de “Spearman” são apresentados em uma matriz na Tabela 3.4. A persistência temporal foi analisada por meio do coeficiente de correlação de “Spearman” (cs) entre valores amostrais das campanhas em diferentes épocas.

Os valores absolutos de cs encontrados variaram de 0 a 0,90, com valores considerados altos segundo Brocca et al. (2009), indicando alta estabilidade temporal entre as campanhas.

**Tabela 3.4.** Matriz do coeficiente de correlação de Spearman (\* = significativo a 5 %). PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional

Datas	PD (0 - 0,12 m)							ILP (0 - 0,12 m)						
	9-nov	23-nov	7-dez	21-dez	18-jan	1-fev	15-fev	9-nov	23-nov	7-dez	21-dez	18-jan	1-fev	15-fev
9-nov	1	0,88*	-0,45	-0,47	0,38	0,50	0,33	1	0,23	-0,09	0,32	0,03	0,19	0,13
23-nov		1	-0,49	-0,08	0,33	0,54	0,36		1	0,11	0,29	0,35	0,12	0,18
7-dez			1	0,13	-0,18	0,05	0,12			1	0,77*	0,14	0,38	0,33
21-dez				1	-0,55	0,31	-0,20				1	0,35	0,75*	0,52
18-jan					1	0,64	0,55					1	0,65	0,35
1-fev						1	0,90*						1	0,59
15-fev							1							1

Datas	PD (0,12 - 0,24 m)							ILP (0,12 - 0,24 m)						
	9-nov	23-nov	7-dez	21-dez	18-jan	1-fev	15-fev	9-nov	23-nov	7-dez	21-dez	18-jan	1-fev	15-fev
9-nov	1	0,73*	0,14	-0,05	0,45	0,26	-0,15	1	0,28	0,18	-0,12	-0,01	0,56	0,13
23-nov		1	0,15	0,16	0,15	0,52	0,12		1	0,14	-0,18	0,45	0,78*	0,48
7-dez			1	-0,25	0,25	0,40	0,37			1	0,17	0,24	0,44	0,22
21-dez				1	0,50	0,24	-0,11				1	0,47	-0,27	-0,36
18-jan					1	0,05	-0,21					1	0,24	0,11
1-fev						1	0,03						1	0,71*
15-fev							1							1

Datas	PD (0,24 - 0,36 m)							ILP (0,24 - 0,36 m)						
	9-nov	23-nov	7-dez	21-dez	18-jan	1-fev	15-fev	9-nov	23-nov	7-dez	21-dez	18-jan	1-fev	15-fev
9-nov	1	0,88*	0,10	-0,20	-0,17	0,15	0,42	1	-0,14	0,33	-0,25	-0,52	0,34	0,13
23-nov		1	0,12	0,18	-0,09	0,41	0,47		1	-0,10	0,32	0,46	0,26	0,12
7-dez			1	0,00	0,73*	0,18	-0,12			1	0,22	-0,16	0,22	0,63
21-dez				1	0,32	0,09	-0,05				1	0,43	-0,20	0,13
18-jan					1	0,16	0,12					1	0,41	0,15
1-fev						1	0,52						1	0,60
15-fev							1							1



Continuação da Tabela 3.4

CONV (0 - 0,12 m)							
Datas	9-nov	23-nov	7-dez	21-dez	18-jan	1-fev	15-fev
9-nov	1	-0,35	0,09	0,03	0,04	0,35	0,43
23-nov		1	0,68*	0,43	0,68*	-0,23	0,58
7-dez			1	0,18	0,68*	-0,14	0,83*
21-dez				1	0,34	0,30	0,49
18-jan					1	0,31	0,57
1-fev						1	-0,09
15-fev							1

CONV (0,12 - 0,24 m)							
Datas	9-nov	23-nov	7-dez	21-dez	18-jan	1-fev	15-fev
9-nov	1	0,43	0,05	-0,02	0,50	0,00	-0,10
23-nov		1	0,43	0,68*	0,63	0,29	0,26
7-dez			1	0,44	0,00	0,57	0,29
21-dez				1	0,36	0,66*	0,34
18-jan					1	0,03	-0,02
1-fev						1	0,44
15-fev							1

CONV (0,24 - 0,36 m)							
Datas	9-nov	23-nov	7-dez	21-dez	18-jan	1-fev	15-fev
9-nov	1	0,39	0,15	-0,02	0,14	0,25	-0,30
23-nov		1	0,06	0,65	0,52	0,13	-0,04
7-dez			1	0,29	0,34	0,75*	0,52
21-dez				1	0,13	0,22	0,37
18-jan					1	0,31	0,07
1-fev						1	0,60
15-fev							1

Observa-se que as séries de dados de umidade do solo apresentam significância (\*) pelo teste de “Spearman” ( $|T| < Z_{0,975} = 1,86, \alpha = 5\%$ ) em 4 eventos no CONV-A, 2 eventos no PD-A, PD-C, ILP-A, ILP-B e CONV-B, 1 evento no PD-B e CONV-C e nenhum no ILP-C, ou seja, para esses eventos deve-se rejeitar a hipótese  $H_0$  de que os dados não apresentam tendência temporal (Tabela 3.4), pois apresentaram estabilidade temporal, semelhante a Ávila et al. (2010) e diferentemente do encontrado por Penna et al. (2013).

O ILP-B tende a apresentar menores valores de  $c_s$ , coincidindo com a ausência de significância do teste de “Spearman” nesse tratamento. Porém, o CONV-A, apresentou maior frequência de valores superiores a 0,66 (mínimo para considerar significância a 5%, para o presente estudo) (Tabela 3.4).

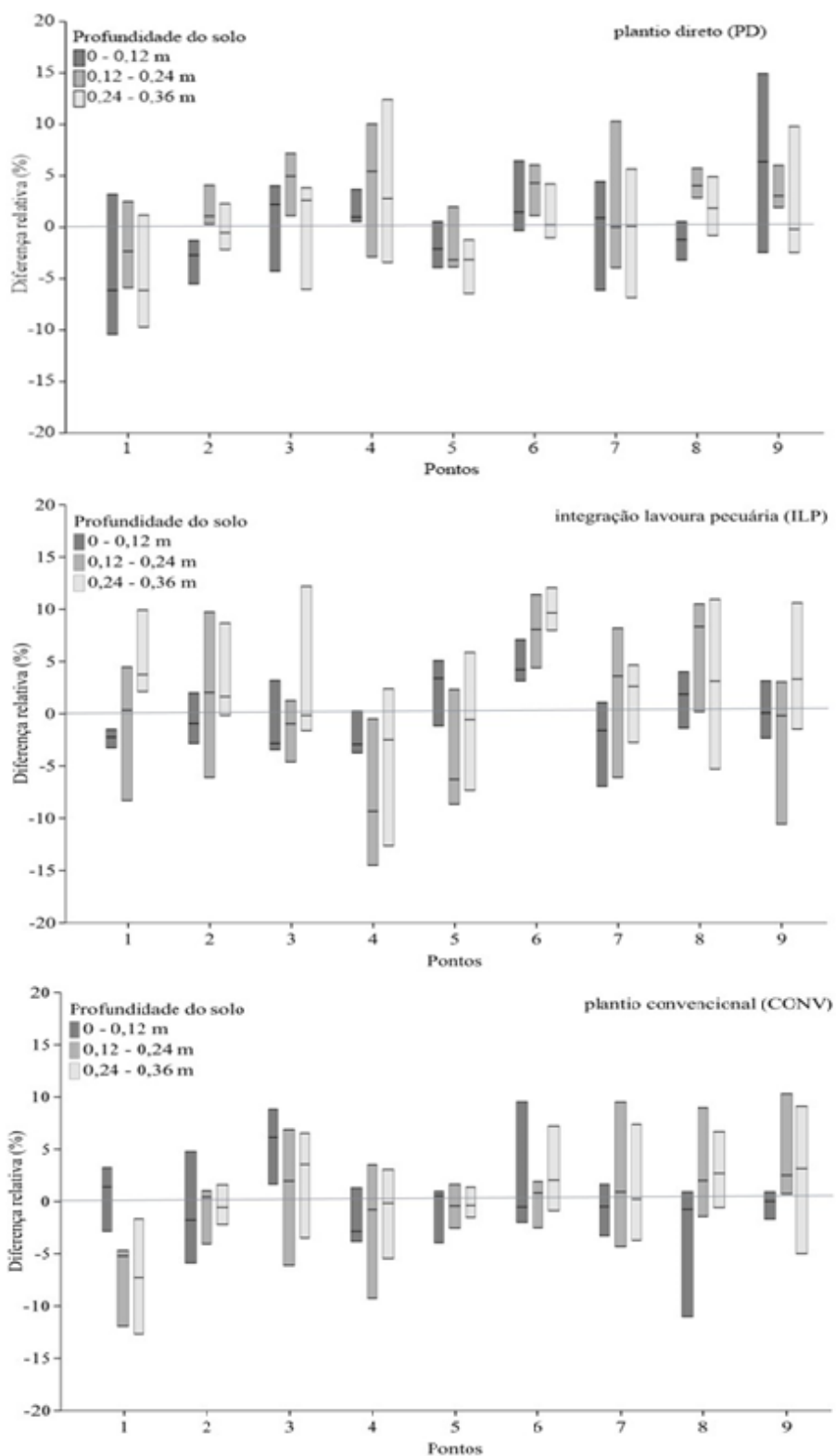
#### 5.3.4 Diferença Relativa

Valores de diferença relativa da umidade do solo ( $\bar{\delta}_i$ ) dos nove pontos de amostragem são comparados, na Figura 3.8, para cada sistema e profundidade, a fim de se obter os pontos com valores de  $\bar{\delta}_i$  que mais se aproximam de zero, e que simultaneamente, possuem menores valores de desvio padrão  $\sigma(\delta_i)$ .

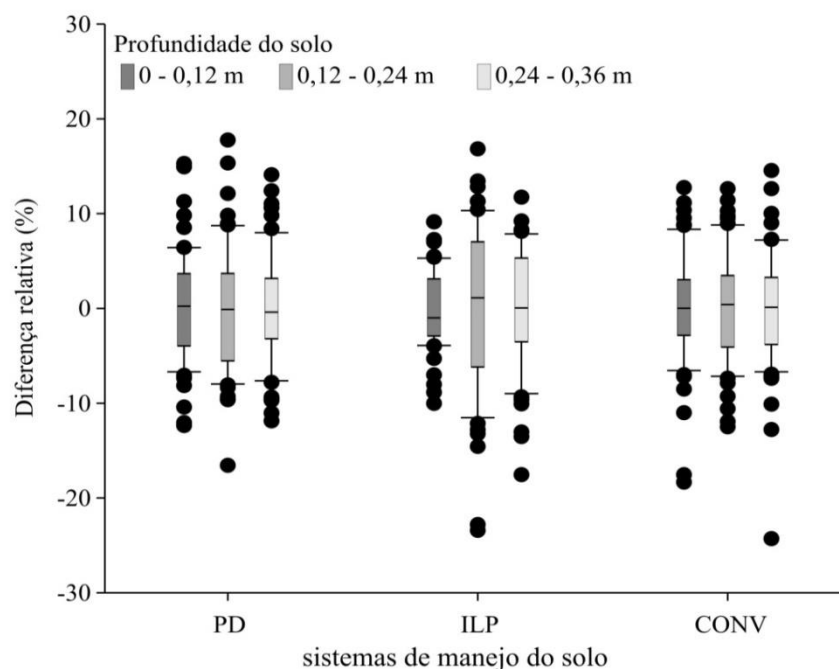
Estudando a Figura 3.8, é possível observar que o ponto 7 do PD (a) se destaca por possuir valores de  $\bar{\delta}_i$  próximos de zero para as três profundidades, porém os valores de  $\sigma(\delta_i)$  são altos em relação aos de outros pontos. Essa característica se repete também nos outros sistemas, como por exemplo, nos pontos 9 do ILP (b) e 7 de CONV (c). Em contrapartida, têm-se pontos com valores de  $\sigma(\delta_i)$  baixos, porém que se encontram distantes do eixo característico de  $\bar{\delta}_i$  igual a zero, como é caso do ponto 6 do ILP (b). Portanto esses perfis não são interessantes do ponto de vista da estabilidade temporal da umidade do solo.

Após uma análise simplesmente visual das variações de  $\bar{\delta}_i$  e  $\sigma(\delta_i)$ , na Figura 3.8, pode-se considerar que os pontos 2, 5 e 8 de PD, também os pontos 2 e 9 de ILP e os pontos 2 e 5 de CONV, são os que mais se aproximam do ponto ideal para monitoramento do conteúdo de água nos respectivos manejos do solo. Porém, uma análise mais precisa para identificação do ponto de monitoramento da umidade com reduzido esforço amostral faz-se necessária e é realizada em etapas posteriores.

Na Figura 3.9, é realizada uma análise da  $\bar{\delta}_i$  considerando uma média entre todos os pontos para cada sistema e profundidade, onde nota-se maior estabilidade temporal da umidade do solo no sistema CONV em relação aos outros sistemas, confirmando a diferenciação e maior homogeneidade dos atributos do solo observados anteriormente para este sistema (ver Tabela 3.1).



**Figura 3.8.** Gráfico Box Plot da diferença relativa média para cada ponto de amostragem dos respectivos sistemas de manejo do solo.

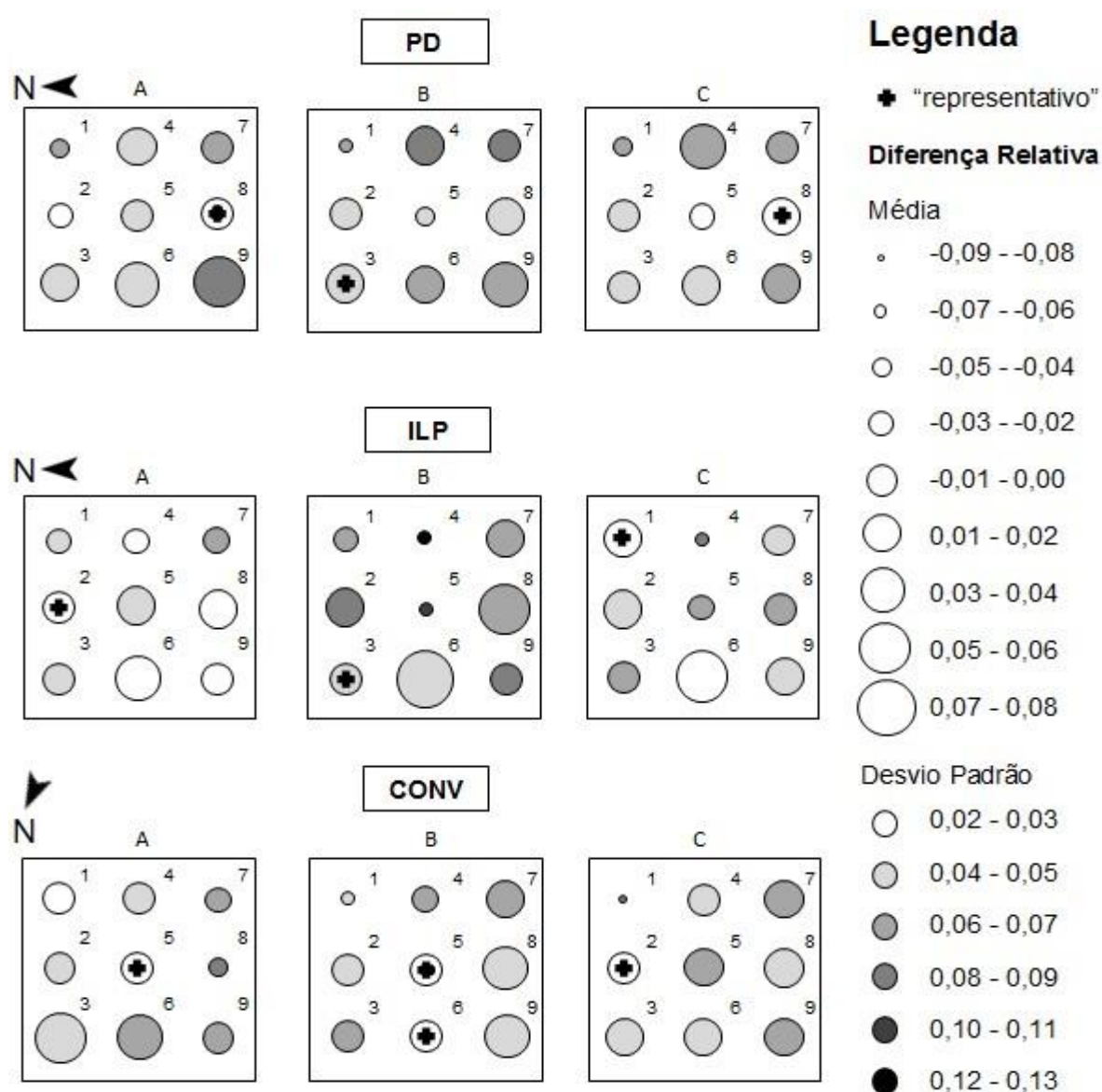


**Figura 3.9.** Gráfico Box Plot da diferença relativa média para sistemas de manejo do solo em três profundidades. PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional.

A Figura 3.10 apresenta o mapa dos valores de diferença relativa média e dos desvios padrão correspondente aos sistemas PD, ILP e CONV, nas profundidades de 0 - 0,12 m (A), 0,12 - 0,24 m (B) e 0,24 - 0,36 m (C), onde os diferentes diâmetros dos círculos representam a variação da diferença relativa média e as cores dos mesmos variam de acordo com os valores dos respectivos desvios padrão.

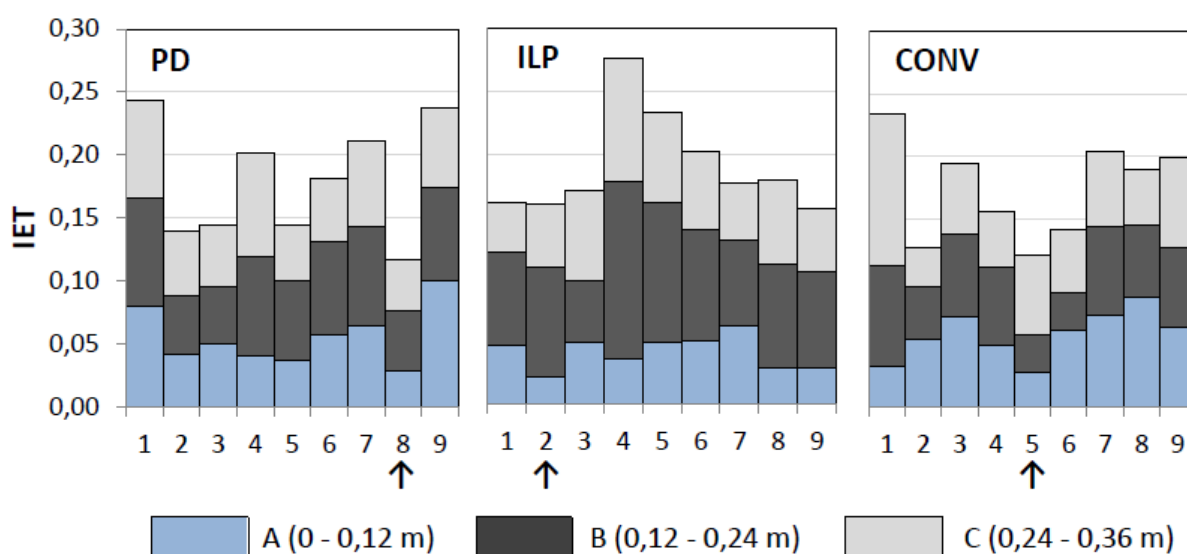
Os valores de  $\bar{\delta}_i$  e  $\sigma(\bar{\delta}_i)$  observados nesse trabalho (Figura 3.10) variaram de - 0,09 a 0,08 e 0,02 a 0,13, respectivamente, e foram considerados baixos em relação aos encontrados por outros autores: semelhantes aos encontrados por Coppola et al. (2011) no sudoeste da Itália, que variaram aproximadamente de - 0,11 (- 11%) a 0,10 (10%), porém com menor variação que os encontrados por Ávila et al. (2010), que obtiveram  $\bar{\delta}_i$  superiores a 60 % (0,6) em ambiente semiárido da serra da Mantiqueira - MG - Brasil, com alta participação da evapotranspiração no comportamento do conteúdo de água no solo, e por Gao e Shao (2012) que também encontraram valores próximos de 60%, em bacia hidrográfica da província de Shaanxi na China. Brocca et al. (2009), ao analisarem a estabilidade temporal da umidade em três diferentes solos da região central da Itália, encontraram valores

muito baixos de  $\bar{\delta}_l$ , variando aproximadamente de -0,003 (0,3%) a 0,004 (0,4%), que foram inferiores aos apresentados nesse trabalho. Esse comportamento indica maior estabilidade temporal da umidade do solo na área do presente estudo, principalmente para CONV, atribuído às propriedades do solo, do relevo (plano) e da cobertura vegetal homogênea (soja), o que, associado à presença do lençol freático próximo à superfície, torna o ambiente mais estável e conserva o conteúdo de água no solo com menores oscilações ao longo do período analisado.



**Figura 3.10.** Mapa de média e desvio padrão da diferença relativa nos três sistemas de manejo (PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional) nas profundidades de 0-0,12 m , 0,12-0,24 m e 0,24-0,36 m (A, B e C, respectivamente).

Os pontos representativos para mensuração da média de umidade do solo foram determinados com base nos valores de  $IET_i$  que variaram entre 0,02 e 0,14 considerando dados gerais de todos os tratamentos (Figura 3.11), apresentando-se menores que os observados por Penna et al. (2013) em experimento no Alpes italianos.

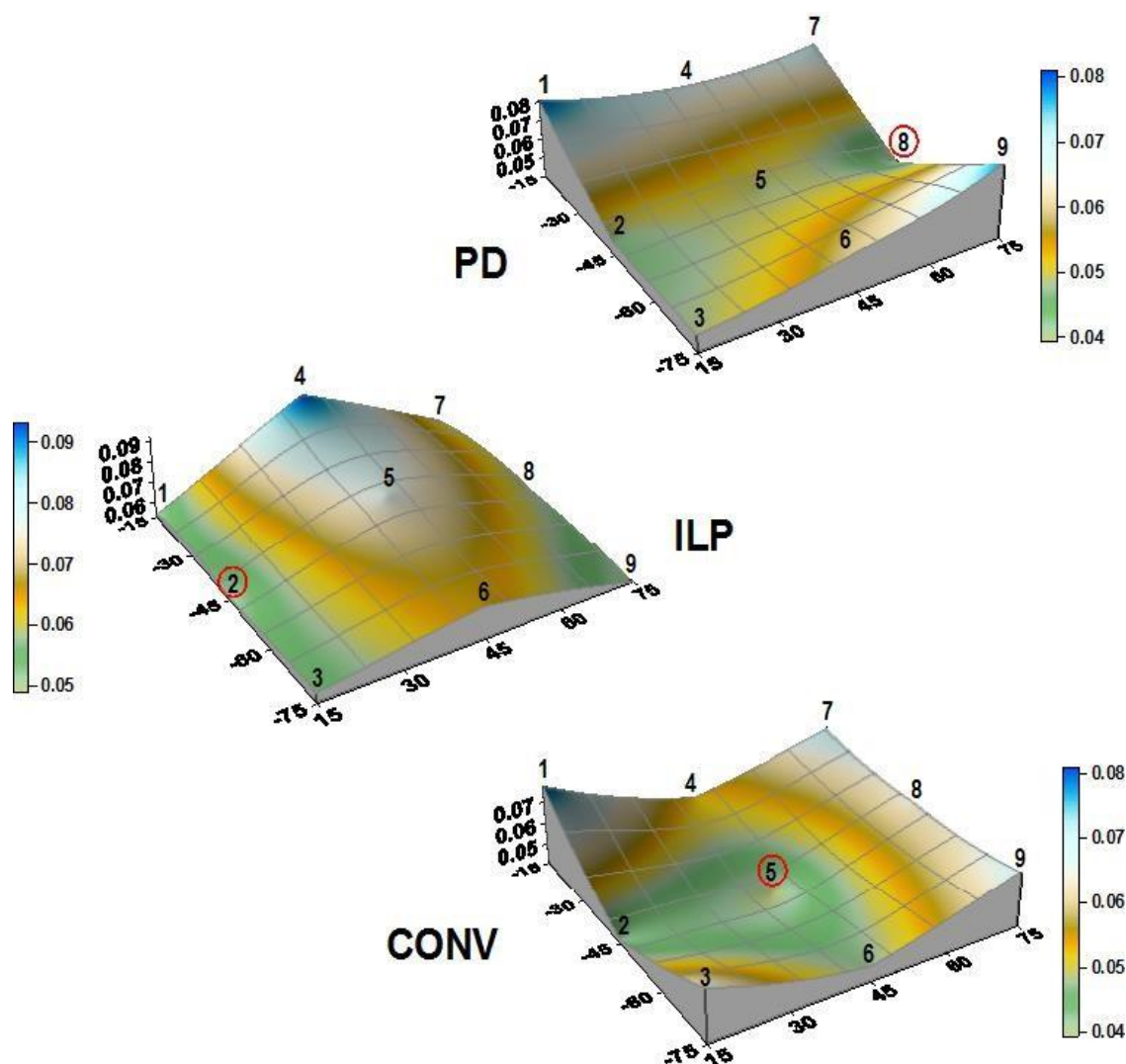


**Figura 3.11.** Histograma do Índice de Estabilidade Temporal (IET) para cada ponto de coleta em três profundidades dos três sistemas de manejo (PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional). As setas indicam os pontos com maior estabilidade temporal.

Analisando as Figuras 3.10 e 3.11, observou-se variação da representatividade dos pontos tanto entre os sistemas de manejo quanto entre as profundidades. Porém, os sistemas PD e CONV, mantiveram um padrão de distribuição da umidade ao longo do perfil do solo, com os pontos representativos da média coincidindo em duas das três camadas estudadas (ponto 8 nas camadas A e C e ponto 5 nas camadas A e B, respectivamente). O sistema ILP apresentou maior variação do padrão espacial entre as três camadas, com ênfase na profundidade B, onde ocorreram os maiores valores tanto de  $\bar{\delta}_i$  (0,08), quanto de  $\sigma(\bar{\delta}_i)$  (0,13). Seguindo esse padrão, os pontos 8, 3 e 8 foram representativos das profundidades de A, B e C, respectivamente para o sistema PD. No sistema ILP, os pontos 2, 3, e 1 se mostraram representativos de A, B e C, respectivamente e para o sistema CONV,

observou-se que os pontos 5, 5 ou 6, e 5 foram os mais indicados para A, B e C, respectivamente. Somente o tratamento CONV - B apresentou dois pontos representativos, porém o ponto 5 é indicado como local ideal, pois coincide com o ponto representativo da camada A.

Com a necessidade de se escolher um mesmo ponto de monitoramento de umidade nas três camadas de solo estudadas, as representações em três dimensões da Figura 3.12 retratam o perfil do Índice de Estabilidade Temporal médio ( $IET_m$ ), ou seja, retrata a média dos valores de IET entre as três profundidades para cada ponto de amostragem.



**Figura 3.12.** Representação em três dimensões do Índice de Estabilidade Temporal médio ( $IET_m$ ) para cada ponto de coleta em três sistemas de manejo (PD: plantio direto; ILP: integração lavoura pecuária; CONV: plantio convencional). Os círculos indicam os pontos com menor  $IET_m$  e, conseqüente, maior estabilidade temporal.

Tem-se ainda, na Figura 3.12, a indicação dos pontos ideais para o monitoramento da umidade do solo (envolvidos por um círculo), associados a locais de menores valores médios de  $IET_m$  representados pelas partes mais baixas do relevo apresentado nos esquemas da figura.

Com base nos resultados, verifica-se que os pontos escolhidos para monitoramento da umidade do solo no período analisado diferiram entre os tratamentos, principalmente entre os sistemas de manejo do solo. Porém, na prática, pode-se adotar apenas um ponto para cada sistema obedecendo a critérios de semelhança dos parâmetros  $IET_i$  e menores valores de  $IET_m$ . Portanto, os pontos 8, 2 e 5 são os mais indicados para mensuração da média da umidade do solo para os sistemas PD, ILP e CONV respectivamente (Figura 3.12), pois apresentam os menores valores de  $IET_m$ . Essas observações práticas auxiliam na estratégia de amostragem do conteúdo de água no solo, sendo subsídio importante na mensuração de dados em campo para tornar o processo mais eficaz a um custo reduzido.

#### **5.4 Conclusões**

A umidade do solo apresentou tendência temporal semelhante à precipitação e evapotranspiração, com padrão análogo para os três sistemas estudados. Porém, o sistema CONV foi o que mais se diferiu, especialmente na camada de 0 – 0,12 m, onde apresentou menores valores de umidade tanto em relação aos outros sistemas quanto às outras profundidades.

Obtiveram-se valores altos de coeficiente de correlação de “Spearman” entre as campanhas em diferentes datas, indicando alta estabilidade temporal da umidade do solo nos três sistemas e três profundidades.



Dados de diferença relativa média e desvios padrão foram considerados baixos, o que indica menor variação do padrão de distribuição da umidade do solo e conseqüentemente, maior estabilidade dos dados ao longo do tempo.

Foi possível a identificação de pontos representativos da média de umidade do solo na área estudada: os pontos indicados para monitoramento da umidade do solo no período analisado diferiram entre os tratamentos, principalmente entre os sistemas de manejo do solo, porém, na prática, os pontos 8, 2 e 5 são os mais indicados para mensuração da média da umidade do solo para os sistemas PD, ILP e CONV respectivamente.

## 5.5 Referência Bibliográfica

- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:717-723, 2001.
- ASSIS, R. L. de; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 515-522, 2005.
- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da. Estabilidade temporal do conteúdo de água em três condições de uso do solo, em uma bacia hidrográfica da região da Serra da Mantiqueira, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34: 2001-2009. 2010.
- BISWAS, A., Si, B.C. Identifying scale specific controls of soil water storage in a hummocky landscape using wavelet coherency. **Geoderma** 165, 50–59. 2011.
- BROCCA, L.; MORBIDELLI, R.; MELONE, F.; MORAMARCO, T. Soil moisture spatial variability in experimental areas of central Italy. **Journal of Hydrology** 333, 356–373, 2007.
- BROCCA, L.; MELONE, F.; MORAMARCO, T.; MORBIDELLI, R. Soil moisture temporal stability over experimental areas in Central Italy. **Geoderma**, v. 148, n. 3-4, p. 364-374, 2009.
- CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica**.4.ed. Piracicaba, ESALQ/FEALQ, 1983. 349p.
- COPPOLA, A.; COMEGNA, A.; DRAGONETTI, G.; LAMADDALENA, N.; KADER, A. M.; COMEGNA, V. Average moisture saturation effects on temporal stability of soil

- water spatial distribution at field scale. **Soil Tillage Research**, v. 114, n. 2, p. 155-164, 2011.
- COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 527-535, 2003.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Embrapa Solos, 412 p., 2009.
- GAO, L.; SHAO, M. Temporal stability of shallow soil water content for three adjacent transects on a hillslope. **Agricultural Water Management** 110, 41-54. 2012.
- GÓMEZ-PLAZA, A.; ALVAREZ-ROGEL, J. & ALBALADEJO, J. Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in a semi-arid environment. **Hydrological Processes**, 14: 1261-1277, 2000.
- GRAYSON, R.B. & WESTERN, A.W. Towards areal estimation of soil water content from point measurements: Time and space persistence of mean response. **Journal of Hydrology**, 207:68-82, 1998.
- JIA, Y. H. & SHAO, M. A. Temporal stability of soil water storage under four types of revegetation on the northern Loess Plateau of China, **Agricultural Water Management**, 117, 33–42, 2013.
- KOETZ, M.; MASCA, M. G. C. C.; CARNEIRO, L. C.; RAGAGNIN, V. A.; SENA JUNIOR, D. G. de; GOMES FILHO, R. R. Caracterização agrônômica e °brix em frutos de tomate Industrial sob irrigação por gotejamento no sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.4, n.1, p.14–22, 2010.
- PENNA, D.; BROCCA, L.; BORGA, M.; DALLA FONTANA, G. Soil moisture temporal stability at different depths on two alpine hillslopes during wet and dry periods. **Journal of Hydrology**, v. 477, p. 55-71, 2013.
- SCHNEIDER, K.; HUISMAN, J.A.; BREUER, L.; ZHAO, Y.; FREDE, H.G. Temporal stability of soil moisture in various semi-arid steppe ecosystems and its application in remote sensing. **Journal of Hydrology** 359:16-29, 2008.
- SOUZA, E. R. de; MONTENEGRO, A. A. D. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; MATOS, J. D. A. de. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. **Agricultural Water Management** 99, 26–32. 2011.
- STARR, G.C. Assessing temporal stability and spatial variability of soil water patterns with implications for precision water management. *Agric. Water Manage.* 72, 223–243. 2005.
- TOPP, G. C.; YANUKA, M.; ZEBCHUK, W. D.; ZEGELIM, S. Determination of electrical conductivity using a time domain reflectometry: soil and water experiments in coaxial lines. **Water Resources Research**, Washington, v. 24, p. 945-952, 1980.
- VACHAUD, G.; PASSERAT DE SILANS, A.; BALABANIS, P. & VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society American Journal**, 49:822-827, 1985.

van WESENBEECK, I.J. & KACHANOSKI, R.G. Spatial and temporal distribution of soil water in the tilled layer under a corn crop. **Soil Science Society American Journal**, 52: 363-368, 1988.

ZHAO, Y.; PETH, S.; WANG, X.Y.; LIN, H.; HORN, R. Controls of surface soil moisture spatial patterns and their temporal stability in a semi-arid steppe. **Hydrological Processes**, v. 24, 18, pg. 2507-2519, 2010.

## **6 CAPÍTULO 4 - IMPLICAÇÕES**

A técnica da estabilidade temporal apresentou-se eficaz na identificação de locais representativos da umidade do solo para o presente estudo, com grau de confiabilidade satisfatório, o que torna o trabalho de campo menos oneroso e com maior rapidez na mensuração de dados.

Os resultados obtidos nesta pesquisa contribuem sobremaneira para análise de sensoriamento remoto com uso de imagens de satélite e resposta espectral para estimativa da umidade do solo. Além de auxiliar em estudos de modelagem da água no solo e resposta da retenção da umidade do solo nos três sistemas avaliados.

Os resultados obtidos neste estudo também representam uma valiosa contribuição para o direcionamento de medições de umidade do solo para aplicações hidrológicas, onde o conhecimento das condições de conteúdo de água no solo é de extrema importância tanto em pequenas quanto em grandes áreas. Com base nessas descobertas, a utilidade de um processo contínuo de monitoramento para modelagem precisa da umidade do solo requer maior investigação e será objeto de futura análise.