

WILKER NUNES MEDEIROS

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
APARENTE DO SOLO OBTIDA POR SENSOR PORTÁTIL
DE CONTATO DIRETO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M488v
2013

Medeiros, Wilker Nunes, 1982-

Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica
aparente do solo obtida por sensor portátil de contato direto /
Wilker Nunes Medeiros. – Viçosa, MG, 2013.
x, 74f. : il. (algumas color.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Domingos Sárvio Magalhães Valente

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Agricultura de precisão. 2. Condutividade elétrica.
3. Produtividade agrícola. 4. Solos - Propriedades elétricas.
5. Solos - Manejo. 6. Química do solo. 7. Física do solo.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.3

WILKER NUNES MEDEIROS

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
APARENTE DO SOLO OBTIDA POR SENSOR PORTÁTIL
DE CONTATO DIRETO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2013.



Prof. Daniel Marçal de Oliveira
(Coorientador)



Prof. Nerilson Terra Santos



Prof. Domingos Sávio Magalhães Valente
(Orientador)

A minha noiva Christiane e
aos meus pais Maxwell e Conceição,
pelo amor, apoio e incentivo.

Dedico

*“Não importa o quão forte você consegue bater,
mas sim quanto aguenta apanhar e seguir em frente.
É assim que se consegue vencer.”*
(Rocky Balboa)

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), pela oportunidade de realizar o mestrado;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa;

Aos professores Daniel Marçal de Queiroz e Domingos Sárvio Magalhães Valente, pela confiança, pelos conselhos, pelo incentivo e pela orientação durante o desenvolvimento deste trabalho;

Aos coorientadores Francisco de Assis de Carvalho Pinto e Igor Rodrigues de Assis, pela atenção e pelas sugestões dadas ao trabalho.

Ao professor Nerílson Terra Santos, pela participação na banca examinadora e pelas contribuições;

A professora Lêda Rita D'Antonino Faroni, coordenadora do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da UFV, pela atenção, pela cordialidade e pelo pronto atendimento sempre que necessário.

Ao secretário da Pós-graduação do DEA, Délio Duarte, pelo suporte nos momentos de dúvida em questões administrativas;

Ao Departamento de Fitotecnia (DFT/UFV), na pessoa do técnico Paulo Afonso Paiva, e ao Centro de Pesquisa e Melhoramento da Cana-de-Açúcar – CECA/UFV, na pessoa do professor Márcio Henrique Pereira Barbosa, pela disponibilização das áreas para realização do trabalho.

Ao técnico em agropecuária Vicente de Freitas Martins de Souza, pela receptividade e atenção dispensada durante as coletas de dados no CECA-UFV.

Aos técnicos e professores do Departamento de Engenharia Agrícola, em especial aos da área de Mecanização Agrícola, pelos ensinamentos transmitidos e auxílio quando necessário.

A todos os colegas do Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA) e do Laboratório de Projeto de Máquinas e Visão Artificial (PROVISAGRO), pela boa convivência, pelas dicas e trocas de idéias, pelo auxílio na utilização de equipamentos e por tornar essa passagem mais agradável.

Enfim, a todos que de alguma forma colaboraram para que eu chegasse até aqui e pudesse concluir esse trabalho. Muito Obrigado!

BIOGRAFIA

WILKER NUNES MEDEIROS, filho de Maxwell da Silva Medeiros e Maria da Conceição Nunes Medeiros, nasceu em Itapeçerica-MG, no dia 1^o de agosto de 1982.

Em março de 2005 ingressou no curso de Agronomia, na Universidade Federal de Viçosa, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo em janeiro de 2010.

Em março de 2011 ingressou no curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se a defesa de dissertação em fevereiro de 2013.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
DISPOSIÇÃO DO TRABALHO	3
LITERATURA CITADA.....	4
CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO	6
1.1. AGRICULTURA DE PRECISÃO	6
1.2. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO	8
1.3. LITERATURA CITADA.....	12
CAPÍTULO 2 – ESTABILIDADE TEMPORAL DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO	16
2.1. INTRODUÇÃO.....	16
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
2.2.1. Caracterização das áreas para estudo da condutividade elétrica aparente do solo	18
2.2.2. Determinação da condutividade elétrica aparente do solo nas unidades amostrais.....	21
2.2.3. Determinação do teor de água do solo	21
2.2.4. Análise da variabilidade e estabilidade temporal da condutividade elétrica aparente do solo.....	22
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
2.3.1. Análise descritiva e exploratória.....	26
2.3.2. Análise da variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica aparente do solo	32

2.3.3. Análise da estabilidade temporal da condutividade elétrica aparente do solo	35
2.4. CONCLUSÕES.....	40
2.5. LITERATURA CITADA.....	41
 CAPÍTULO 3 – RELAÇÕES ENTRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE E ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO	45
3.1. INTRODUÇÃO	45
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3.2.1. Caracterização das áreas para estudo da condutividade elétrica aparente do solo	46
3.2.2. Determinação da condutividade elétrica aparente do solo nas unidades amostrais.....	48
3.2.3. Determinação do teor de água do solo	49
3.2.4. Análise dos atributos físicos e químicos do solo	50
3.2.5. Análise da variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica aparente do solo e sua relação com atributos do solo	50
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
3.4. CONCLUSÕES.....	61
3.5. LITERATURA CITADA.....	62
 CONCLUSÃO GERAL	65
 APÊNDICES	67
APÊNDICE A	67
APÊNDICE B	69

RESUMO

MEDEIROS, Wilker Nunes, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2013. **Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica aparente do solo obtida por sensor portátil de contato direto.** Orientador: Domingos Sárvio Magalhães Valente. Coorientadores: Daniel Marçal de Queiroz, Francisco de Assis de Carvalho Pinto e Igor Rodrigues de Assis.

A agricultura de precisão (AP) é uma forma de manejo dos sistemas de produção agrícola que busca explorar a variabilidade espacial dos mesmos, no intuito de elevar a eficiência do processo produtivo e minimizar os impactos causados ao meio ambiente. Dentre as ferramentas com potencial para auxiliar no gerenciamento da atividade agrícola quando adotada a AP tem-se a condutividade elétrica aparente do solo (CE_a), que permite avaliar a variabilidade espacial de características do solo com rapidez, elevada resolução e baixo custo, identificando áreas com características semelhantes. Porém, a CE_a é afetada por um conjunto de fatores que atuam simultaneamente no solo e que se alteram tanto no espaço quanto no tempo, como, por exemplo, a textura, a densidade, o teor de água do solo, a concentração iônica da solução do solo, a matéria orgânica; o que dificulta a interpretação dos resultados. Buscando-se compreender se a estrutura espacial desse atributo é mantida com o decorrer do tempo e sob diferentes condições edáficas, objetivou-se com o trabalho analisar a variabilidade espacial e temporal da CE_a , obtida por sensor portátil de contato direto, em dois locais com solos de texturas diferentes. Após uma análise preliminar que identificou a variabilidade espacial da CE_a em cada área, foram demarcadas 50 unidades amostrais onde a CE_a foi determinada em 20 datas diferentes nas camadas de solo de 0 – 20cm, 0 – 40cm e 0 – 60cm de profundidade. O teor de água do solo foi determinado na camada de 0 – 20 cm de profundidade, nas mesmas datas de determinação da CE_a . Também foram coletadas amostras de solo na camada de 0 – 20cm de profundidade, relativas a cada unidade amostral, para caracterização química e física do mesmo. Foi analisada a variabilidade espacial e a estabilidade temporal da CE_a ao longo do período de estudo, além de suas relações com os atributos químicos e físicos do solo. Em ambos os campos a CE_a apresentou elevada estabilidade temporal, sendo que o seu padrão de distribuição espacial se manteve praticamente inalterado por

todo o período, independente da condição do teor de água do solo, que foi diferente em cada avaliação. Além disso, a CE_a teve correlações significativas com diversos atributos químicos do solo de interesse agrônomo, e também com as frações granulométricas, mostrando-se uma ferramenta de elevado potencial na identificação de regiões com diferentes características dentro de uma mesma área.

ABSTRACT

MEDEIROS, Wilker Nunes, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2013. **Spatio-temporal variability of apparent soil electrical conductivity obtained by a portable direct contact sensor.** Adviser: Domingos Sárvio Magalhães Valente. Co-advisers: Daniel Marçal de Queiroz, Francisco de Assis de Carvalho Pinto and Igor Rodrigues de Assis.

Precision agriculture (PA) is a management of agricultural production systems technique that seeks to explore the spatial variability in order to raise the efficiency of the production process and minimize impacts to the environment. Among the tools with the potential to aid in the management of agricultural activity when the PA is adopted, there is the apparent soil electrical conductivity (EC_a), designed to measure the spatial variability of soil characteristics with fast, high resolution and low cost, identifying areas with similar characteristics. However, EC_a is affected by a group of factors that act simultaneously on the soil and that change in space and time, for example the texture, density, soil moisture content, ionic concentration in the soil solution and organic matter, which complicates the interpretation of results. Seeking to understand whether the spatial structure of this attribute is maintained over time and under different soil conditions, this work aimed to analyze the spatial and temporal variability of the EC_a , which was obtained by a portable direct contact sensor in two areas with soils of different textures. After a preliminary analysis that identified the spatial variability of EC_a in each area, 50 sampling units were demarcated where the EC_a was determined in 20 different dates in the soil layers of 0-20 cm, 0-40 cm, and 0-60 cm deep. The water content of the soil was determined in the 0-20 cm on the same dates that the EC_a was determined. Soil samples were also collected in each sampling unit for chemical and physical characterization. The spatial variability and temporal stability of the EC_a was analyzed during the study period, in addition to its relations with the physical and chemical attributes of the soil. In both fields, the EC_a showed high temporal stability, and its spatial distribution pattern has remained largely unchanged throughout the period, regardless of the soil moisture condition, which was different in each evaluation. Moreover, the EC_a had significant correlations with various soil chemical attributes of agronomic interest and also with granulometric fractions, thereby demonstrating its high potential as a tool for

identifying regions with different characteristics within the same area. Thus, there exists the possibility of using the EC_a in the generation of management zones to be operated by means of precision agriculture.

INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento da demanda mundial por alimentos gera um grande desafio para a agricultura moderna, que deve buscar o aumento dos índices produtivos aliado à redução ou manutenção do custo de produção, atentando para que os impactos ambientais oriundos da atividade sejam os menores possíveis. Para que se consiga tal feito, novas tecnologias devem ser desenvolvidas, aprimoradas e implementadas de maneira adequada. Assim, na busca pelo maior equilíbrio entre os fatores produtividade, custo de produção e meio ambiente, muitos produtores rurais vem adotando a agricultura de precisão em suas propriedades.

A agricultura de precisão (AP) é uma forma de manejo dos sistemas de produção agrícola que busca explorar a variabilidade espacial dos mesmos, no intuito de elevar a eficiência do processo produtivo e minimizar os impactos causados ao meio ambiente. Uma grande parte dessa variabilidade espacial dos campos agrícolas está relacionada ao solo, que é o material mineral e/ou orgânico que serve como um meio natural para o crescimento e desenvolvimento de plantas terrestres. Logo, como os campos não são homogêneos, ao se identificar a distribuição espacial de características químicas e físicas do solo, pode-se adotar um manejo diferenciado para cada região e conseqüentemente aumentar a eficiência do processo.

A prática da AP teve acelerado desenvolvimento nos últimos anos, principalmente com o grande avanço observado na área de tecnologia da informação e geoprocessamento. Porém, para obter um conjunto bem detalhado de informações espaciais de áreas agrícolas, a partir da coleta e análise de solo por exemplo, seria necessária uma grande quantidade de amostras, o que resultaria em um custo muito elevado, comprometendo a atividade. Para contornar esta dificuldade, novas tecnologias de sensoriamento direto e remoto vêm sendo desenvolvidas para que a aquisição de informações espaciais relevantes dos campos de produção seja menos onerosa.

Dentre as novas tecnologias de sensoriamento empregadas na agricultura, pode-se citar a condutividade elétrica aparente do solo (CE_a), que vem sendo utilizada como uma ferramenta auxiliar no gerenciamento dos sistemas de produção agrícola. Vários trabalhos relatam sua relação com

diversas características do solo, como textura, teor de água, salinidade, pH, capacidade de troca catiônica, entre outras (Terrón et al., 2011; Heil; Schmidhalter 2012; Islam et al., 2012; Serrano et al., 2013; Valente et al., 2012a) e também com a produtividade das culturas (Mann et al., 2011; Alcântara et al., 2012). Portanto, o mapeamento da CE_a pode ser uma maneira rápida e eficaz de identificar áreas com características semelhantes a um menor custo e assim elaborar zonas para manejo diferenciado do solo e da cultura (Farooque et al., 2012; Valente et al., 2012b).

A CE_a geralmente é determinada utilizando-se sistemas fundamentados em resistividade elétrica (RE) ou em indução eletromagnética (IEM) (Rhoades; Corwin, 1984). Os equipamentos que utilizam o princípio da IEM têm custo de aquisição elevado no Brasil, o que pode inviabilizar a sua adoção, por outro lado, permitem o mapeamento da área mesmo após a implantação da cultura, seja acoplado a um trator ou em modo portátil. Já os sensores por contato direto tem basicamente dois modelos comerciais, os que são tracionados por trator ou caminhonete, os quais tem uso restrito a áreas planas ou levemente onduladas, e os portáteis, que apresentam menor custo de aquisição e podem ser utilizados em regiões de elevada declividade.

A amostragem densa da área utilizando sensores portáteis para determinação da CE_a é mais lenta quando comparada àquelas em que se utiliza sistemas tracionados por trator, mas há casos onde somente é viável e possível se adotar modelos portáteis, como por exemplo, em pequenas propriedades e em regiões com relevo montanhoso. Logo, analisar a consistência das determinações de CE_a obtidas com esse tipo de sensor é importante para que se tenha maior confiabilidade na ferramenta.

O potencial de uso da CE_a no meio agrícola é grande, porém, ainda existem muitas dúvidas com relação a sua adoção de forma confiável, pois o valor numérico expressado é reflexo de um conjunto de fatores atuando simultaneamente no solo, tais como, textura, teor de água, matéria orgânica, salinidade (Johnson et al., 2003; Friedman, 2005; Ekwue; Bartholomew, 2010; Moral et al., 2010), o que dificulta a interpretação dos resultados. Além de muitos desses fatores apresentarem distribuição espacial diferenciada dentro de uma mesma área, eles ainda podem se alterar com o passar do tempo (Hartsock et al., 2000; Eigenberg et al., 2002; Farahani; Buchleiter 2004; Serrano et al., 2013; Molin; Faulin 2013). Assim, existe a necessidade de

estudos que abordem também a variabilidade temporal da CE_a , para então indicar se a estrutura espacial desse atributo é mantida com o decorrer do tempo e sob diferentes condições edáficas.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho analisar a variabilidade espacial e temporal da condutividade elétrica aparente do solo (CE_a), obtida por sensor portátil de contato direto, em dois locais com solos de texturas diferentes.

Os objetivos específicos foram:

- Determinar a CE_a em diferentes profundidades do solo;
- Verificar se a estrutura espacial da CE_a é mantida com o decorrer do tempo nas diferentes profundidades do solo;
- Verificar as relações existentes entre a CE_a e atributos físicos e químicos do solo.

DISPOSIÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho é constituído por introdução geral, três capítulos, conclusão geral e apêndice. Na introdução geral é feita a contextualização do tema abordando concomitantemente os motivos e justificativas que levaram a realizá-lo, assim como os objetivos propostos, sendo estes itens já apresentados. Ademais é apresentado este tópico informando como o trabalho foi organizado.

O primeiro capítulo é o referencial teórico que serviu como base para desenvolvimento de todo o trabalho. Nele são abordados os tópicos “Agricultura de precisão” e “Condutividade elétrica aparente do solo”, os quais trazem informações mais detalhadas sobre esses temas e exemplos de trabalhos realizados nestas áreas, proporcionando assim uma melhor compreensão dos próximos capítulos.

No capítulo 2 é realizado um estudo sobre a estabilidade temporal da condutividade elétrica aparente do solo, procurando identificar se os padrões de distribuição espacial dessa variável pelos campos agrícolas se repetem ao longo do tempo. Já o terceiro capítulo refere-se ao estudo das relações entre a CE_a e atributos do solo, onde procurou-se avaliar também se o teor de água do solo está relacionado a essa variável.

Posteriormente, é apresentada uma conclusão geral reunindo as conclusões obtidas no segundo e terceiro capítulos juntamente com algumas considerações finais. E por último o ítem apêndice, sendo que o Apêndice A traz informações das análises geoestatísticas elaboradas preliminarmente em cada área de estudo e o Apêndice B traz as análises de correlação entre todas as determinações de CE_a e atributos do solo.

LITERATURA CITADA

ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M. Produtividade de culturas correlacionada com condutividade elétrica aparente de um solo sob plantio direto. **Revista Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 62-72, 2012.

EIGENBERG, R. A.; DORAN, J. W.; NIENABER, J. A.; FERGUSON, R. B.; WOODBURY, B. L. Electrical conductivity monitoring of soil condition and available N with animal manure and a cover crop. **Agriculture, Ecosystems, and Environment**, v.88, n. 2, p. 183-193, 2002.

EKWUE, E. I.; BARTHOLOMEW, J. Electrical conductivity of some soils in Trinidad as affected by density, water and peat content. **Biosystems Engineering**, v. 108, n. 2, p. 95-103, 2010.

FARAHANI, H. J.; BUCHLEITER, G. W. Temporal stability of soil electrical conductivity in irrigated sandy fields in Colorado. **ASAE**. v. 47, n. 1, p. 79-90, 2004.

FAROOQUE, A. A.; ZAMAN, Q. U.; SCHUMANN, A. W.; MADANI, A.; PERCIVAL, D. C. Delineating management zones for site specific fertilization in wild blueberry fields. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 28, n. 1, p. 57-70, 2012.

FRIEDMAN S. P. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 45-70, 2005.

HARTSOCK, N. J.; MUELLER, T. G.; THOMAS, G. W.; BARNHISEL, R. I.; WELLS, K. L.; SHEARER, S. A. Soil electrical conductivity variability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5. 2000. **Proceedings...** CD-ROM. P. C. ROBERT et al., eds. Madison, Wisc.: ASA-CSSA-SSSA. 2000.

HEIL, K.; SCHMIDHALTER, U. Characterization of soil texture variability using the apparent soil electrical conductivity at a highly variable site. **Computer & Geosciences**, v. 39, p. 98-110, 2012.

ISLAM, M. M.; MEERSCHMAN, E.; SAEY, T.; DE SMEDT, P.; DE VIJVER, E. V. Comparing apparent electrical conductivity measurements on a paddy field under flooded and drained conditions. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 384-392, 2012.

JOHNSON C.K.; MORTENSEN D.A.; WIENHOLD B.J.; SHANAHAN J.F.; DORAN J.W. Site-specific management zones based upon soil electrical conductivity in a semiarid cropping system. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 2, p. 303-315, 2003.

MANN, K. K.; SCHUMANN, A. W.; OBREZA, T. A. Delineating productivity zones in a citrus grove using citrus production, tree growth and temporally stable soil data. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 4, p. 457-472, 2011.

MOLIN, J. P.; FAULIN, G. D. C. Spatial and temporal variability of soil electrical conductivity related to soil moisture. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 1, p. 1-5, 2013.

MORAL, F. J.; TERRÓN, J. M.; SILVA, J. R. M. D. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 2, p. 335-343, 2010.

RHOADES, J. D.; CORWIN, D. L. Measurement of inverted electrical conductivity profiles using electromagnetic induction. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 2, p. 288-291, 1984.

SERRANO, J. M.; SHAHIDIAN, S.; SILVA, J. R. M. Apparent electrical conductivity in dry versus wet soil conditions in a shallow soil. **Precision Agriculture**, v. 14, n. 1, p. 99-114, 2013.

TERRÓN, J. M.; MARQUES DA SILVA, J. R.; MORAL, F. J.; GARCÍA-FERRER, A. Soil apparent electrical conductivity and geographically weighted regression for mapping soil. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 5, p. 750-761, 2011.

VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SANTOS, N. T.; SANTOS, F. L. The relationship between apparent soil electrical conductivity and soil properties. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.4, p. 683-690, 2012a.

VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SANTOS, N. T.; SANTOS, F. L. Definition of management zones in coffee production fields based on apparent soil electrical conductivity. **Scientia Agricola**, v.69, n.3, p.173-179, 2012b.

CAPÍTULO 1

REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão (AP), segundo Pierce e Nowak (1999), pode ser definida como a “aplicação de princípios e tecnologias para manejar a variabilidade espacial e temporal, associada com todos os aspectos da produção agrícola, com o objetivo de aumentar a produtividade na agricultura e a qualidade ambiental”. Assim, utilizando-se um gerenciamento preciso da atividade rural, englobando características relacionadas ao solo, clima, culturas e insumos, aplica-se tratamentos que variam de local para local dentro de uma mesma área, e por conseguinte eleva-se a produtividade das lavouras ao mesmo tempo em que se reduz a aplicação de insumos, reduzindo, portanto, os impactos causados ao ambiente (Mantovani et al., 1998; Coelho, 2005).

Embora o conceito de agricultura de precisão não seja novo, não há dúvidas de que importantes avanços tecnológicos possibilitaram sua aplicação por maior número de produtores. Hoje, vários recursos avançados da eletrônica e computação estão mais acessíveis, como o Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), os sistemas de controle e aquisição de dados, sensores e atuadores, entre outros. Portanto, como o conhecimento da distribuição espacial de variáveis de solo e planta tornou-se indispensável para o planejamento e otimização de adubações, tratos culturais e colheita (Silva et al., 2003), o desenvolvimento e adoção da AP foi intensificado.

Castrignanò et al. (2012) usaram uma combinação entre sensores de raio gama, de indução eletromagnética e um sistema de navegação global por satélite aliados a uma abordagem geoestatística para mapear o solo de uma área agrícola e definir zonas de manejo. Os resultados encontrados demonstraram que a integração entre diferentes técnicas hoje disponíveis é muito efetiva para avaliar a variabilidade espacial dos solos agrícolas.

Machado et al. (2003) avaliaram a variabilidade espacial de alguns atributos químicos do solo visando estimar a necessidade de calagem e a

aplicação a taxa variável de fertilizante fosfatado e potássico para a cultura da soja. Os resultados obtidos possibilitaram estabelecer zonas de manejo para aplicação a taxa variável de calcário para correção da acidez do solo e também para adução de P e K.

El Nahry et al. (2011) desenvolveram um trabalho com o objetivo de fazer o uso eficiente da terra e da água, determinando a viabilidade econômica e ambiental da adoção da agricultura de precisão em áreas plantadas com a cultura do milho sob pivôs de irrigação. Aliando diferentes técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica definiram zonas de manejo para aplicação a taxa variável de fertilizantes e também de água de irrigação. Esta prática possibilitou a redução no uso de fertilizantes e água, incrementou a produção da cultura e apesar dos custos para adoção da AP terem sido maiores do que quando adotado o manejo tradicional, o retorno econômico final aumentou 29,89%. Assim, concluíram que a adoção da AP é economicamente viável e essencial do ponto de vista ambiental.

Cao et al. (2012), em um estudo sobre a variabilidade espacial do teores de nitrogênio na planta para adoção de práticas de manejo localizado em pequenas propriedades, utilizaram sensores para detecção do teor de N nas plantas em tempo real que se mostraram eficazes na quantificação da variabilidade espacial desse nutriente na lavoura. Os resultados demonstraram que a aplicação à taxa variável de N poderia reduzir significativamente a quantidade a ser aplicada desse fertilizante se comparado às práticas convencionais de manejo.

Bottega et al. (2013), em um estudo sobre a variabilidade espacial de atributos químicos e da textura do solo, utilizaram técnicas geoestatísticas que possibilitaram a construção de mapas temáticos da distribuição espacial dos valores dos atributos do solo estudado. Tal procedimento abre oportunidades para se realizar o manejo diferenciado da área e assim otimizar a aplicação de insumos.

Portanto, o conjunto de ferramentas disponíveis para os que pretendem adotar a AP proporciona meios para controlar a cadeia de produção alimentar e gerenciar a quantidade e qualidade dos produtos agrícolas (Gebbers e Adamchuck, 2010). A partir dessa gestão de conhecimento pode-se otimizar a produção e diminuir a variabilidade e a incerteza inerente a atividade agrícola. Ademais, segundo Reetz (2010), a adoção de ferramentas de AP permitem o

monitoramento da cadeia de produção e a rastreabilidade de campo para a produção de alimentos seguros, que tem se tornado uma exigência dos consumidores.

1.2. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO

As relações entre material de origem, topografia, drenagem, atividade biológica e o tempo determinam a variabilidade dos solos, sendo a intensidade de variação espacial dependente do balanço entre todos esses itens (Beckett; Webster, 1971; Burrough, 1993). Essa variabilidade espaço-temporal dos processos e propriedades relacionados ao desempenho das culturas pode ser identificada e manejada através da AP (Mulla; Schepers, 1997).

Para caracterizar e entender a variabilidade espacial de atributos do solo e das culturas, diferentes ferramentas e métodos podem ser utilizados, como: monitor e mapa de produtividade, amostragem sistematizada de solos, mapa de solos, fotografia aérea, sensores eletrônicos, georeferenciamento das informações e análises geoestatísticas. Como o solo é um dos principais componentes que influenciam a produtividade das culturas, identificar a variabilidade de seus atributos físicos e químicos é fundamental para que o manejo das áreas agrícolas seja realizado de forma adequada. Nesse sentido, a determinação da condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) tem sido adotada na AP como uma ferramenta que alia rapidez, elevada densidade amostral e custos reduzidos na determinação da condição geral de fertilidade e de atributos físicos do solo (Friedman, 2005; Sudduth et al., 2005; Terrón et al., 2011; Heil; Schmidhalter 2012; Gholizadeh et al., 2011; Islam et al., 2012).

A condutividade elétrica é a propriedade que um material tem em conduzir corrente elétrica, sendo intrínseca ao mesmo. No meio agrícola ela tem sido empregada pelo fato de que as interações entre diferentes componentes físicos e químicos do solo refletem diferentes níveis em seus valores quando determinada (Lund et al., 1998).

Terrón et al. (2011) mapearam a CE_a em uma região na Espanha e verificaram que CTC, teor de cálcio, porcentagem de argila e pH tem uma forte correlação espacial com a CE_a , e sugerem que o uso de sensores elétricos na agricultura pode auxiliar no manejo nutricional das culturas.

Heil e Schmidhalter (2012) desenvolveram funções que permitiram estimar o conteúdo de argila, silte e areia a partir de dados de CE_a , elevação do terreno e outras variáveis, para solos de uma região montanhosa do sul da Alemanha.

Segundo Farooque et al. (2012), a variação na produtividade de mirtilo em uma região da Nova Escócia, Canadá, está relacionada com a CE_a , o conteúdo de matéria orgânica e o nitrogênio do solo, e a CE_a pode ser utilizada na determinação de regiões para manejo diferenciado do solo e da cultura.

Alcântara et al. (2012) estudaram as relações entre condutividade elétrica aparente do solo e a produtividade das culturas de milho e soja, e verificaram que esta correlacionou-se de maneira significativa com a produtividade da soja e que a mesma pode ser utilizada para definição de zonas de manejo.

Valente et al. (2012) definiram zonas de manejo para a produção de café de montanha na região de Araponga-MG com base na variabilidade espacial da CE_a e altitude, e sugerem que o uso desta variável pode ser útil para definir zonas de manejo que levem a uma melhor qualidade do café.

O fato da CE_a sofrer influência simultânea por diferentes fatores do solo faz com que a interpretação dos resultados obtidos seja dificultada, levando a necessidade de se identificar em cada campo de produção aqueles atributos que mais a influenciam. Como o fator tempo também está diretamente relacionado as diferenças espaciais observadas nos campos, diferentes autores procuraram elucidar os efeitos que essa dinâmica temporal pode causar na CE_a .

Eigenberg et al. (2002) documentaram mudança sazonal significativa nos valores semanais de CE_a em um campo de milho, com as medidas sequenciais de CE_a identificando as mudanças dinâmicas de N disponível no solo devido a manejos com esterco animal e fertilizante nitrogenado. Na mesma linha, Hartsock et al. (2000) relataram que as magnitudes da CE_a variam no tempo, sendo mais acentuadas perto da superfície da camada de solo.

Por outro lado, comparações visuais em mapas de CE_a indicaram semelhança nos padrões espaciais da área estudada ao longo do tempo (Lund et al., 1999), mesmo com mudanças consideráveis no teor de água do solo e na temperatura (Dabas et al., 2001; King et al., 2001). No mesmo sentido,

Islam et al. (2012), ao estudar o comportamento da CE_a em uma lavoura de arroz inundado, concluíram que as variações dos valores de CE_a podem ser atribuídas as variações de textura do solo, pois a variação do teor de água nessas condições pode ser desconsiderada.

Farahani e Buchleiter (2004) elaboraram mapas de CE_a de um campo arenoso, não salino, na região do Colorado nos Estados Unidos da América, e verificaram que os padrões de CE_a , delineados em baixo, médio e alto, mantiveram-se praticamente inalterados entre os anos de 1998 e 2002, embora os valores absolutos de CE_a tenham variado.

Serrano et al. (2012) obtiveram em suas análises estatísticas uma correlação significativa entre determinações de CE_a realizadas em condições de solo úmido e seco, e relataram que, de maneira geral, os resultados confirmaram a estabilidade temporal do padrão de CE_a ao longo de três anos de estudo e em diferentes condições de teor de água de um solo raso, normalmente usado para pastagem na região sul de Portugal.

Para determinação da CE_a são empregados basicamente dois princípios na construção dos aparelhos, a indução eletromagnética (IEM) e a resistividade elétrica (RE). O primeiro método utiliza um sensor por indução eletromagnética, não penetrante, que mede a condutividade elétrica do solo geralmente até uma profundidade de 1,20m na configuração vertical e a uma profundidade de até 0,30m na configuração horizontal. O segundo utiliza eletrodos que tocam o solo medindo a sua condutividade elétrica a profundidades que são função do espaçamento entre eles (Fritz et al., 1998). Para Corwin e Lesch (2003) a utilização de aparelhos com o princípio da RE é mais vantajosa, pois nestes o ajuste da profundidade de determinação é mais fácil, bastando apenas alterar o espaçamento entre os eletrodos, enquanto nos aparelhos de IEM esse ajuste é complexo e limitado.

Na determinação da CE_a por aparelhos que usam o princípio da RE, geralmente os eletrodos são dispostos em linha e igualmente espaçados. É aplicada uma corrente elétrica nos eletrodos externos e a diferença de potencial é medida pelos eletrodos internos (Figura 1.1). Tal configuração é denominada *Matriz de Wenner* (Corwin; Hendrickx, 2002; Corwin; Lesch, 2003).

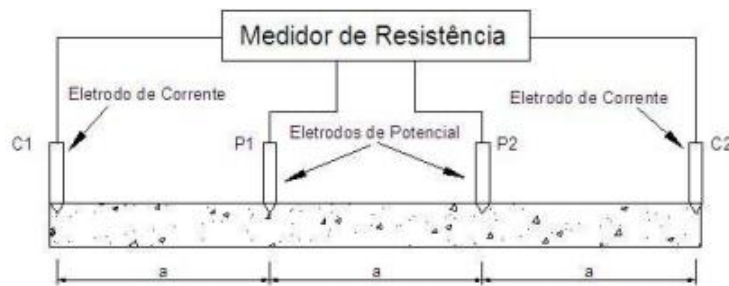


Figura 1.1. Diagrama esquemático do método da resistividade elétrica com quatro eletrodos: dois eletrodos de corrente (C1 e C2) e dois eletrodos potenciais (P1 e P2) (CORWIN e LESCH, 2003).

Vários equipamentos estão disponíveis comercialmente para o mapeamento da CE_a , como MuCEP (Dabas et al., 2001), Veris® 3100 (Veris Technologies, Salina, KS, EUA), EM 38® (Geonics Limited, Mississauga, Ontario, Canadá), GEM 300 (Lück e Eisenreich, 2001), LandMapper ERM-02 (Landviser Inc. Astro group, Russia), dentre outros.

Fulton et al. (2011) utilizaram os produtos comerciais EM 38® e Veris® 3100 para avaliar a aptidão agrícola das terras para desenvolvimento de pomares e videiras, e observaram que apesar de ambos os equipamentos identificarem a variabilidade espacial dos atributos do solo, a força de correlação entre CE_a e os atributos físicos do solo, como cascalho, silte, areia e argila foram variáveis.

Rodríguez-Pérez et al. (2011) caracterizaram um solo com alto teor de argila cultivado com videira, determinando a CE_a com o produto comercial EM 38® e afirmaram que o mapeamento preliminar da área usando a CE_a pode economizar tempo e recursos na avaliação dos atributos do solo.

Serrano et al. (2010) utilizaram uma sonda de IEM para medir a CE_a e avaliar a variabilidade do solo e da pastagem em um projeto de agricultura de precisão em Portugal e obtiveram resultados que conduziram a valores significativos dos coeficientes de correlação entre CE_a e altimetria, pH e produtividade da pastagem.

Ekweue e Bartholomew (2010) utilizaram um sensor portátil para medição da CE_a , em amostras de solos, em campo e em laboratório, de onze regiões de Trinidad, e concluíram que a CE_a é afetada pela densidade, teor de água e matéria orgânica dos solos.

Portanto, conforme afirmado por Lück et al. (2009) e também verificado por Fulton et al. (2011), Gholizadeh et al. (2011) e Sun et al. (2012), o mapeamento da condutividade elétrica é um modo eficiente de investigação do comportamento e da variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo. Ela permite identificar áreas com características semelhantes e delimitar unidades para o manejo diferenciado. Quando se adota esse tipo de manejo há uma racionalização no uso dos insumos, pois eles são aplicados na quantidade necessária para cada região, o que gera uma redução dos custos envolvidos no processo produtivo e também minimiza os impactos causados ao meio ambiente.

1.3. LITERATURA CITADA

ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M. Produtividade de culturas correlacionada com condutividade elétrica aparente de um solo sob plantio direto. **Revista Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 62-72, 2012.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.

BECKETT, P. H. T.; WEBSTER, R. Soil variability: a review. **Soils and Fertilizers**, v. 34, p. 1-15, 1971.

BURROUGH, P. A. Soil variability: a late 20th century view. **Soils and Fertilizers**, v. 56, p. 529-562, 1993.

CASTRIGNANÒ, A.; WONG, M.T.F.; STELLUTI, M.; De BENEDETTO, D.; SOLLITTO, D. Use of EMI, gamma-ray emission and GPS height as multi-sensor data for soil characterization. **Geoderma**, v. 175-176, p. 78-89, 2012.

CAO, Q.; CUI, Z.; CHEN, X.; KHOSLA, R.; DAO, T. H.; MIAO, Y. Quantifying spatial variability of indigenous nitrogen supply for precision nitrogen management in small scale farming. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 1, p. 45-61, 2012.

COELHO, A. M. **Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 60p. (Documentos n. 46).

CORWIN, D. L.; HENDRICKX, J. M. H. Electrical Resistivity: Wenner Array. In: SILVA, J.S. **Methods of Soil Analysis** Part 4 Physical Methods, Madison, Wisconsin, USA : SSSA Book Series, n. 5, 2002. p. 1282-1287.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: Theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 3, p. 455-471, 2003.

DABAS, M.; TABBAGH J.; BOISGONTIER D. Multi-depth continuous electrical profiling (MuCEP) for characterization of in-field variability. In: THIRD EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2001. **Proceedings...** Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, v. 2, p. 361-366, 2001.

EIGENBERG, R. A.; DORAN, J. W.; NIENABER, J. A.; FERGUSON, R. B.; WOODBURY, B. L. Electrical conductivity monitoring of soil condition and available N with animal manure and a cover crop. **Agriculture, Ecosystems, and Environment**, v.88, n. 2, p. 183-193, 2002.

EL NAHRY, A. H.; ALI, R. R.; EL BAROUDY, A. A. An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 4, p. 517–531, 2011.

EKWUE, E. I.; BARTHOLOMEW, J. Electrical conductivity of some soils in Trinidad as affected by density, water and peat content. **Biosystems Engineering**, v. 108, n. 2, p. 95-103, 2010.

FARAHANI, H. J.; BUCHLEITER, G. W. Temporal stability of soil electrical conductivity in irrigated sandy fields in Colorado. **ASAE**, v. 47, n. 1, p. 79-90, 2004.

FAROOQUE, A. A.; ZAMAN, Q. U.; SCHUMANN, A. W.; MADANI, A.; PERCIVAL, D. C. Delineating management zones for site specific fertilization in wild blueberry fields. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 28, n. 1, p. 57-70, 2012.

FRIEDMAN S. P. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 45-70, 2005.

FRITZ, R.M.; MAIO, D.D.; SCHUMACHER, T.E.; CLAY, D.E.; CARLSON, C.G.; ELLSBURY, M.M.; DALSTED, K.J. Field comparison of two soil electrical conductivity measurement systems (compact disc). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4. 1998. **Proceedings...** St. Paul: ASA; CSSA; SSSA, p. 1211-1217, 1998.

FULTON, A.; SCHWANKL, L.; LYNN, K.; LAMPINEN, B.; EDSTROM, J.; PRICHARD, T. Using EM and VERIS technology to assess land suitability for orchard and vineyard development. **Irrigation Science**, v. 29, p. 497-512, 2011.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. Precision agriculture and food security. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 828-831, 2010.

GHOLIZADEH, A.; AMIN, M. S. M.; ANUAR, A. R.; AIMRUN, W. Apparent electrical conductivity in correspondence to soil chemical properties and plant nutrients in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 42, n. 12, p. 1447-1461, 2011.

HARTSOCK, N. J.; MUELLER, T. G.; THOMAS, G. W.; BARNHISEL, R. I.; WELLS, K. L.; SHEARER, S. A. Soil electrical conductivity variability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5. 2000. **Proceedings...** CD-ROM. P. C. Robert et al., eds. Madison, Wisc.: ASA-CSSA-SSSA, 2000.

HEIL, K.; SCHMIDHALTER, U. Characterization of soil texture variability using the apparent soil electrical conductivity at a highly variable site. **Computer & Geosciences**, v. 39, p. 98-110, 2012.

ISLAM, M. M.; MEERSCHMAN, E.; SAEY, T.; DE SMEDT, P.; DE VIJVER, E. V. Comparing apparent electrical conductivity measurements on a paddy field under flooded and drained conditions. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 384-392, 2012.

KING, J. A.; DAMPNEY, P. M. R.; LARK, M.; MAYR, T. R.; BRADLEY, R. I. Sensing soil spatial variability by electro-magnetic induction (EMI): Its potential in precision agriculture. In: THIRD EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2001. **Proceedings...** Montpellier, France: Agro Montpellier, v.1, p. 419-424, 2001.

LÜCK, E.; EISENREICH, M. Electrical conductivity mapping for precision agriculture. In: THIRD EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2001. **Proceedings...** Montpellier, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 2001.

LUND, E. D.; COLIN, P. E.; CHRISTY, D.; DRUMMOND, P. E. Applying soil electrical conductivity technology to precision agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4th, 1998. **Proceedings...** St. Paul, p. 1089-1100, 1998.

LUND, E. D.; CHRISTY, C. D.; DRUMMOND, P. E. Practical applications of soil electrical conductivity mapping. In: 2nd EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., 1999. **Proceedings...** J. V. Stafford, ed. Oxford, U.K.: BIOS Scientific Publishers, p. 771-779, 1999.

MACHADO, P. L. O. de A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. de C.; CARMO, C. A. F. de S. do; VALENCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S.; MOLIN, J. P.; PAULETTI, V.; GIMENEZ, L. M. **Técnicas de agricultura de precisão no diagnóstico de uma cultura de soja sob plantio direto em Carambeí, PR.** Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, v.18, 2003.

MANTOVANI, E. C.; QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. da.(Coord.). **Mecanização e agricultura de precisão.** Poços de Caldas : UFLA/SBEA, 1998. p.109-157.

MULLA, D. J.; SCHEPERS, J. S. Key process and properties for site-specific soil and crop management. In: PIERCE, F. J.; SADLER, E. J. (Ed.) **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1997. p. 1-18.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 67, p. 1-85, 1999.

REETZ, H. 20/20 Vision on precision – what the last 20 years has shown us / what the next 20 promises to give us. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRECISION AGRICULTURE, 10., 2010. **Proceedings**...Denver, 2010.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. R.; PLANT, R. E.; LAMBERT, J. J.; SMART, D. R. Using apparent soil electrical conductivity (EC_a) to characterize vineyard soils of high clay content. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 6, p. 775-794, 2011.

SERRANO, J. M.; PEÇA, J. O.; SILVA, J. R.; SHAHIDIAN, S. Medição e mapeamento da condutividade eléctrica aparente do solo em pastagens. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 5-14, 2010.

SERRANO, J. M.; SHAHIDIAN, S.; SILVA, J. R. M. Apparent electrical conductivity in dry versus wet soil conditions in a shallow soil. **Precision Agriculture**, v. 14, n. 1, p. 99-114, 2013.

SILVA, V. R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; WIEBOLD, W. J.; BATCHELOR, W. D.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; CLAY, D. E.; PALM, H. L.; PIERCE, F. J.; SCHULER, R. T.; THELEN, K. D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 263-283, 2005.

SUN, W.; WHELAN, B. M.; MINASNY, B.; McBRATNEY, A. B. Evaluation of a local regression kriging approach for mapping apparent electrical conductivity of soil (EC_a) at high resolution. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, n. 2, p. 212-220, 2012.

TERRÓN, J. M.; MARQUES DA SILVA, J. R.; MORAL, F. J.; GARCÍA-FERRER, A. Soil apparent electrical conductivity and geographically weighted regression for mapping soil. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 5, p. 750-761, 2011.

VALENTE, D.S.M.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SANTOS, N.T.; SANTOS, F.L. Definition of management zones in coffee production fields based on apparent soil electrical conductivity. **Scientia Agricola**, v. 69, n. 3, p. 173-179, 2012.

CAPÍTULO 2

ESTABILIDADE TEMPORAL DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO

2.1. INTRODUÇÃO

Com o avanço das tecnologias ligadas ao agronegócio muitos sensores são utilizados para auxiliar o gerenciamento da atividade agrícola. Dentre eles, os medidores de condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) são os que fornecem de forma mais simples, ágil e menos onerosa uma medição da variabilidade espacial dos atributos do solo. Para Robert (1999), mapear esta variabilidade é a chave para o sucesso da aplicação da agricultura de precisão.

A interpretação dos dados de CE_a para algumas regiões, no entanto, permanece indefinida, por causa de sua complexa interação com atributos físicos e químicos do solo. Porém, há um interesse significativo em utilizar a variabilidade espacial da CE_a para guiar a amostragem de solo, ao contrário da amostragem sistemática em grade, e para o desenvolvimento de zonas de manejo para aplicação de insumos agrícolas a taxas variadas.

Devido a sua correlação com a concentração iônica do solo (sais e íons trocáveis), a CE_a tem sido amplamente utilizada em pesquisas de salinidade diretamente nos campos de produção (Halvorson; Rhoades, 1974; Rhoades et al., 1990). Quando o solo não apresenta problemas de elevada salinidade, a CE_a se correlaciona com a textura do solo (Schmidhalter et al., 2001; Sudduth et al., 2005; Terrón et al., 2011; Gholizadeh et al., 2011), e com diversos outros atributos como teor de água, densidade, matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (CTC). Além disso, a CE_a pode ser empregada em estudos de lixiviação, partição de doses de herbicidas, definição de bordas em classificação de solos, classes de drenagem, recarga de lençol freático, entre outros (Corwin; Lesch, 2005). Portanto, o fato das pesquisas indicarem que a CE_a se correlaciona com diferentes atributos do solo em diferentes locais, implica que ambas caracterizações devam ser realizadas em cada campo de produção.

Embora a variabilidade espacial da CE_a e seus fatores determinantes sejam de significativa importância, a compreensão de sua variabilidade temporal e dos seus padrões no campo sob diferentes condições edáficas são igualmente importantes. Para que os mapas de CE_a tenham utilidade para o manejo diferenciado da área, múltiplos mapeamentos devem apresentar padrões semelhantes em uma mesma escala, independentemente de fatores externos (Hartsock et al., 2000; King et al., 2001; Nehmdahl; Greve, 2001; Islam et al., 2012).

Percebe-se que tal condição é particularmente importante de ser atendida se zonas de manejo desenvolvidas com base nos padrões de CE_a forem usadas para aplicações a taxas variadas de insumos por vários anos. Falta de estabilidade temporal em mapas de CE_a iria gerar a necessidade de mapeamentos repetidos que aumentariam o custo e dificultariam a gestão da propriedade. Ademais, quando observada a rotina de trabalho em regiões produtoras de grãos, por exemplo, nota-se que a janela de tempo entre a colheita de uma safra e o plantio de outra geralmente é muito curta, logo, o mapeamento da CE_a deve ser realizado nesse intervalo, independente da condição do solo.

Várias pesquisas realizadas em solos com baixo teor de sal indicaram que os padrões de CE_a são mais influenciados por atributos estáveis do solo, como textura, matéria orgânica e estrutura do subsolo, do que por atributos dinâmicos como teor de água e temperatura (Hartsock et al., 2000; Eigenberg et al., 2002; Farahani; Buchleiter 2004; Islam et al., 2012; Serrano et al., 2013). Portanto, a contínua mudança nos atributos dinâmicos do solo alteram as magnitudes dos valores absolutos de CE_a , no entanto, espera-se que os padrões espaciais da CE_a sejam menos propensos a alterações ao longo do tempo, assim como os atributos estáveis do solo.

Nesse sentido, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a estabilidade temporal do padrão espacial da CE_a em diferentes profundidades do solo, utilizando-se um sensor portátil de resistividade elétrica.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Caracterização das áreas para estudo da condutividade elétrica aparente do solo

O trabalho foi realizado em dois campos que pertencem à Universidade Federal de Viçosa. O primeiro campo (Campo 1), com 10.703,72 m², situa-se na área experimental Diogo Alves de Mello, no Campus da UFV no município de Viçosa-MG, onde o solo apresenta textura franco argilo arenosa. O segundo campo (Campo 2), com 14.078,68 m² situa-se no Centro de Pesquisa e Melhoramento da Cana-de-Açúcar – CECA, na Rodovia Ponte Nova – Oratórios, km 12, município de Ponte Nova - MG, com solo de textura franco arenosa.

Em uma análise preliminar, para caracterizar o padrão de distribuição espacial da CE_a , foram determinados 203 e 163 pontos de CE_a no Campo 1 (Figura 2.1 A) e Campo 2 (Figura 2.1 B), respectivamente. Para ambos os campos foi observado o número mínimo de 150 pontos de amostragem visando o bom ajuste dos dados para análises geoestatísticas (Webster; Oliver, 1992). As determinações da CE_a foram obtidas usando um aparelho portátil marca Landviser®, modelo LandMapper® ERM-02 que utiliza o princípio da resistividade elétrica (RE), medida por meio do contato de quatro eletrodos com o solo. Os eletrodos foram configurados baseados na Matriz de Wenner, conforme descrito por Corwin e Hedrickx (2002) e Corwin e Lesch (2003), onde o espaçamento entre eles representa a camada de solo que se deseja determinar a CE_a , sendo neste caso de 20 cm.

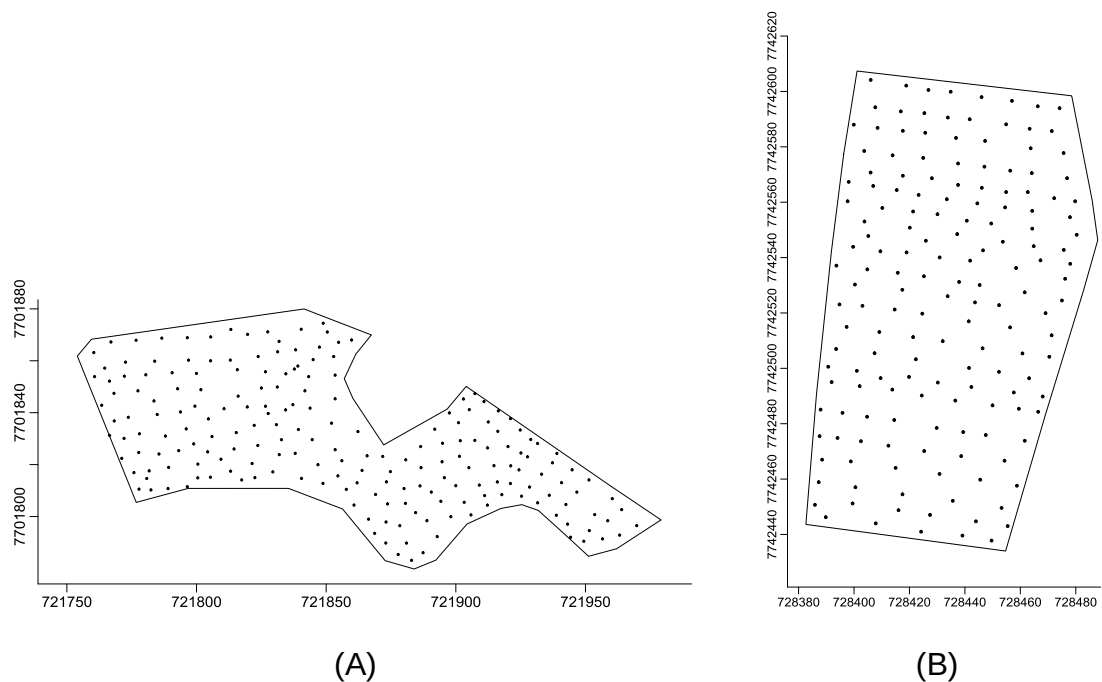


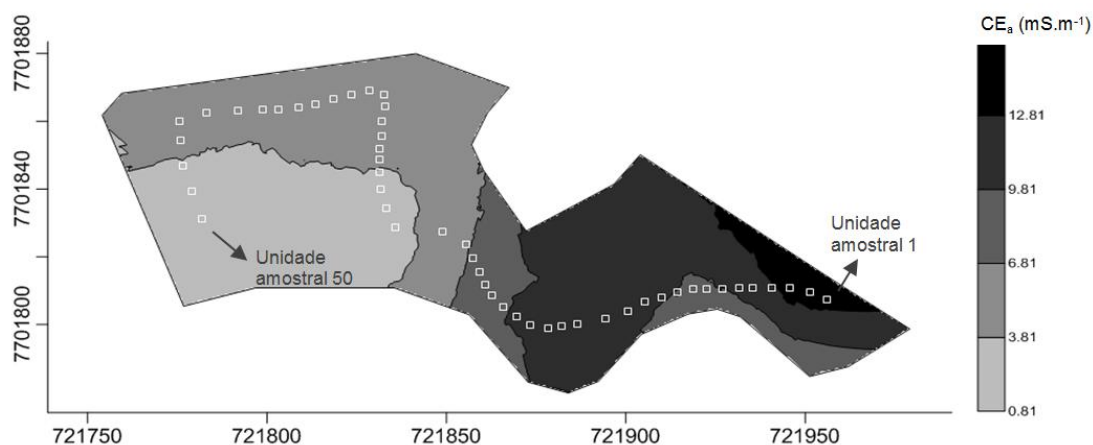
Figura 2.1. Áreas de estudo e pontos de amostragem de CE_a (0-20cm) no Campo 1 (A) e Campo 2 (B).

Os valores de CE_a foram analisados com o intuito de estudar a distribuição dos mesmos a partir de estatísticas descritivas (média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose). Posteriormente, a dependência espacial foi analisada por meio da geoestatística com o auxílio do programa de computador GS+® versão 7.0. Nesta análise, inicialmente foi selecionado um modelo de semivariograma, o qual foi utilizado na realização da krigagem ordinária para a obtenção de um mapa temático dos valores de CE_a para cada um dos campos (Figura 2.2). Os dados referentes às análises geoestatísticas são apresentados no Apêndice A.

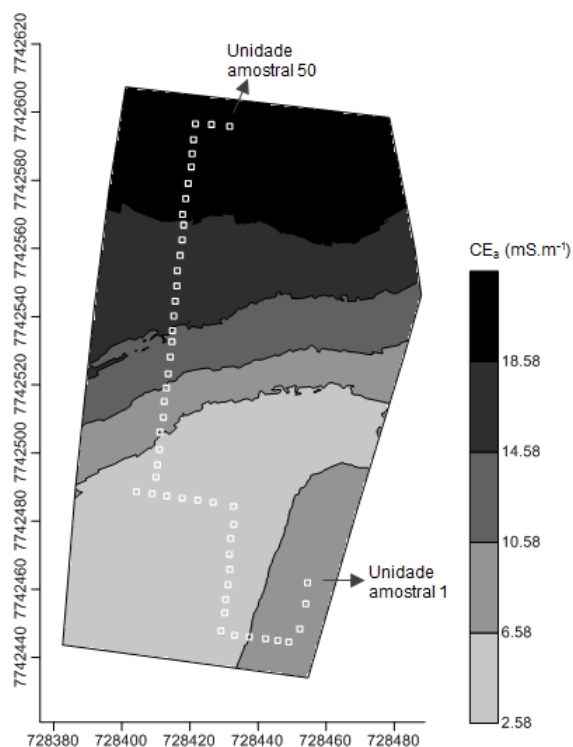
Obtidos os mapas temáticos de distribuição espacial da CE_a de cada área, foi selecionada uma linha de caminhamento contemplando uma maior variação de valores para locação de 50 pontos, demarcados por estacas, que foram as unidades amostrais do estudo (Figura 2.2). Cada unidade representou uma área de 2 x 2 m onde foram então realizadas as determinações da CE_a em diferentes datas.

A delimitação das áreas experimentais e a localização dos pontos de amostragem no campo foi realizada com o auxílio de um GPS Topográfico (L1), marca Magellan®, modelo Promark3. A correção diferencial pós-processada foi

feita utilizando a base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), localizada no município de Viçosa-MG. O *datum* utilizado foi o SIRGAS 2000, e a correção realizada no programa computacional GNSS Solutions® fornecido pelo fabricante do aparelho GPS.



(A)



(B)

Figura 2.2. Mapas temáticos de distribuição espacial da CE_a , determinada na camada de 0-20cm de profundidade do solo, com respectivas unidades amostrais, em branco, no Campo 1 (A) e Campo 2 (B).

2.2.2. Determinação da condutividade elétrica aparente do solo nas unidades amostrais

Para o estudo da variabilidade e estabilidade temporal da CE_a nas unidades amostrais determinadas, foram confeccionadas três hastes, sendo a estrutura de suporte dos eletrodos construída com tubos de PVC, parafusos de aço como eletrodos e fios flexíveis em cores diferentes para os eletrodos de corrente e aqueles usados na determinação da diferença de potencial. Cada haste foi configurada com diferentes espaçamentos entre os eletrodos para determinar a CE_a nas camadas de 0 a 20 cm (CE_{a20}), 0 a 40 cm (CE_{a40}) e 0 a 60 cm (CE_{a60}) de profundidade do solo (Figura 2.3), no intuito de verificar similaridades entre os dados obtidos em diferentes profundidades.

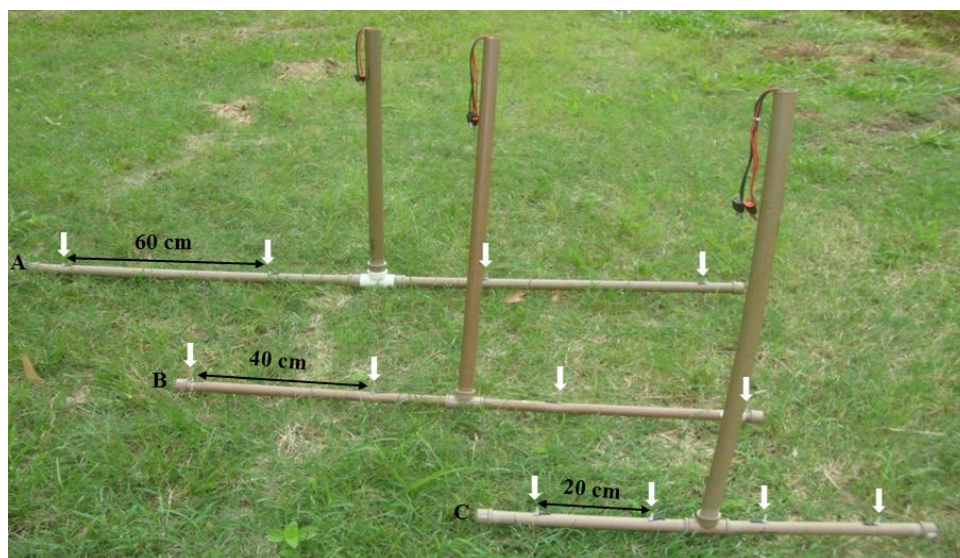


Figura 2.3. Hastes utilizadas na determinação da CE_a nas camadas de solo de 0 a 60 cm (CE_{a60}) (A), 0 a 40 cm (CE_{a40}) (B) e 0 a 20 cm (CE_{a20}) (C) de profundidade. Setas brancas indicam a posição dos eletrodos em contato com o solo.

2.2.3. Determinação do teor de água do solo

O teor de água do solo foi determinado pelo método termogravimétrico. A cada determinação de CE_a foram coletadas 25 amostras simples de solo, de estrutura deformada, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, nas unidades amostrais de número par ao longo da linha de caminhada. As amostras

foram acondicionadas de forma a evitar a perda de água até serem encaminhadas ao laboratório onde foram pesadas e levadas a estufa a 105° C por vinte e quatro horas para determinação da massa do solo seco.

2.2.4. Análise da variabilidade e estabilidade temporal da condutividade elétrica aparente do solo

Foram realizadas determinações da CE_a em 20 datas diferentes, compreendidas entre o período de 19/10/2012 a 19/12/2012 (Tabela 2.1), com cada uma das três hastes nas 50 unidades amostrais demarcadas, ou seja, em cada campo foram obtidos 1000 valores de CE_a com cada haste, perfazendo um total de 6000 determinações de CE_a . Tal procedimento possibilitou a obtenção de leituras de CE_a em diferentes condições de teor de água do solo ao longo do período.

Tabela 2.1. Identificação e datas de determinação da CE_a .

Identificação das datas	Datas de determinação da CE_a	
	Campo 1	Campo 2
1	19/10/2012	06/11/2012
2	20/10/2012	08/11/2012
3	21/10/2012	09/11/2012
4	23/10/2012	12/11/2012
5	24/10/2012	13/11/2012
6	25/10/2012	20/11/2012
7	28/10/2012	21/11/2012
8	29/10/2012	22/11/2012
9	30/10/2012	23/11/2012
10	07/11/2012	24/11/2012
11	12/11/2012	29/11/2012
12	19/11/2012	30/11/2012
13	20/11/2012	02/12/2012
14	22/11/2012	03/12/2012
15	23/11/2012	06/12/2012
16	30/11/2012	07/12/2012
17	01/12/2012	09/12/2012
18	02/12/2012	13/12/2012
19	04/12/2012	18/12/2012
20	08/12/2012	19/12/2012

As 50 determinações de CE_a realizadas em cada data (Tabela 2.1), com cada haste, foram realizadas dentro de um período máximo de 40 minutos,

buscando-se com isso minimizar os efeitos da variação da temperatura e teor de água do solo nos valores de CE_a em cada etapa de levantamento de dados.

As análises descritiva e exploratória foram feitas com o objetivo de estudar a distribuição dos valores de CE_a e auxiliar no planejamento de outras análises estatísticas. Considerando que os parâmetros que definem as principais características de um conjunto de dados também estão sujeitas a perturbações por valores atípicos, Libardi et al. (1996) sugerem o uso de técnicas complementares para a verificação da adequação das medidas por meio da identificação de valores candidatos a “outliers”. Para a identificação de tais valores adotou-se o critério sugerido por Hoaglin et al. (1992), para o cálculo dos limites inferior e superior, conforme Equações 2.1 e 2.2, sendo o valor em análise considerado como possível dado discrepante quando exceder algum dos limites.

$$LS = Qs + 1,5 \times Ai \quad (2.1)$$

$$LI = Qi - 1,5 \times Ai \quad (2.2)$$

Em que,

- LS - Limite superior;
- LI - Limite inferior;
- Qs - Quartil superior;
- Qi - Quartil inferior;
- Ai - Amplitude interquantílica.

A decisão final sobre excluir ou não qualquer observação foi tomada após observar se a mesma assumia um comportamento diferente do apresentado pelas demais observações, realizando comparações com as observações vizinhas e verificando se ocorria alguma evidente descontinuidade no espaço entre essas (Hoaglin et al. 1992; Libardi et al., 1996). Após a eliminação dos valores discrepantes, as seguintes medidas foram feitas: média, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação.

Para análise da variabilidade e estabilidade temporal foram utilizadas três metodologias distintas. Primeiramente, para quantificar a variabilidade temporal dos padrões espaciais de CE_a em cada campo, foi realizada a

normalização dos valores de CE_a , conforme apresentado por Farahani e Buchleiter (2004), utilizando a Equação 2.3:

$$CE_{a(norm)} = 100 \frac{CE_{a(atual)} - CE_{a(min)}}{CE_{a(max)} - CE_{a(min)}} \quad (2.3)$$

Em que,

- $CE_{a(norm)}$ - Valor normalizado de CE_a em escala de 0 a 100 para uma determinada data e unidade amostral;
- $CE_{a(atual)}$ - Valor de CE_a para uma determinada unidade amostral a ser normalizado;
- $CE_{a(max)}$ - Valor máximo de CE_a para uma determinada data e unidade amostral;
- $CE_{a(min)}$ - Valor mínimo de CE_a para uma determinada data e unidade amostral.

Segundo Farahani e Buchleiter (2004), a Equação 2.3 é particularmente útil quando o intervalo dos valores de CE_a determinados em cada etapa mudam ao longo do tempo. É importante ressaltar que a normalização, usando a Equação 2.3 ou outras abordagens semelhantes, é simplesmente uma conversão dos dados originais de CE_a , não afetando o padrão de distribuição espacial da mesma.

Com os dados de CE_a normalizados ($CE_{a(norm)}$) para todas as datas de determinação, foi confeccionado um mapa, onde cada unidade amostral ao longo da linha de caminhamento selecionada foi representada por uma célula, totalizando 50 células para cada data de avaliação. A cor de cada célula representou uma faixa de valores, sendo a CE_a considerada como baixa se $0 \leq CE_{a(norm)} < 33$, média se $34 < CE_{a(norm)} < 66$, e alta se $67 < CE_{a(norm)} \leq 100$ (Farahani; Buchleiter, 2004). Esse procedimento permitiu uma análise visual da distribuição espacial da CE_a e de seu comportamento em cada data de determinação.

Posteriormente, para avaliar a estabilidade temporal da CE_a , realizou-se uma análise de correlação linear entre os valores originais de CE_a determinados em diferentes datas, como sugerido por Vachaud et al. (1985) e Kachanoski e De Jong (1988), através do coeficiente de correlação de Pearson, sendo a significância testada pelo Teste t a 5% de probabilidade. Estes autores propuseram o conceito de estabilidade temporal, mostrando que a correlação entre valores medidos em instantes consecutivos é uma análise adequada para verificar a estabilidade temporal. Moreti et al. (2007) relatam que esta metodologia analisa a correlação de medidas entre datas sucessivas descrevendo a persistência temporal de um padrão espacial.

Por fim, para complementar a análise da variabilidade temporal, elaborou-se um gráfico de estabilidade temporal a partir de coeficientes de variação (CV), determinados ao longo do tempo para todas unidades amostrais, usando os valores de CE_a de cada data de avaliação, conforme metodologia descrita por Li et al. (2007), também utilizada por Blackmore (2000), Shi et al. (2002), Xu et al. (2006) e Serrano et al. (2011), a partir da Equação 2.4:

$$CV_i = \frac{\frac{n \sum_{t=1}^n y_{it}^2 - \left(\sum_{t=1}^n y_{it} \right)^2}{n(n-1)}}{y_i}^{0,5} \times 100 \quad (2.4)$$

Em que,

- CV_i - Coeficiente de variação ao longo do tempo para a i-ésima unidade amostral;
- y_{it} - Valor de CE_a determinado para a i-ésima unidade amostral na t-ésima data;
- n - Número de determinações de CE_a .

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Análise descritiva e exploratória

A análise preliminar dos dados de CE_a obtidos com cada uma das três hastes nas duas áreas de estudo permitiu identificar a presença de valores discrepantes (Tabela 2.2). Considerando o total de determinações de CE_a em cada área, no Campo 1, 2,23% dos dados foram considerados discrepantes, enquanto no Campo 2, essa porcentagem foi de 2,5%. Parâmetros estatísticos como a média, a amplitude, o desvio-padrão e a assimetria da distribuição dos dados, podem ser influenciados por valores discrepantes (Hoaglin et al., 1992). Retirando-se estas observações do conjunto de dados obtém-se um resumo estatístico que melhor representa a distribuição do mesmo, principalmente no que diz respeito às medidas de tendência central (Libardi et al., 1996).

Tabela 2.2. Total de valores obtidos nas determinações de CE_a com cada uma das três hastes e o número de valores discrepantes para os Campos 1 e 2.

Variáveis	Número total de valores	Número de valores discrepantes	
	Campos 1 e 2	Campo 1	Campo 2
(CE_{a20})	1000	18	27
(CE_{a40})	1000	34	27
(CE_{a60})	1000	15	21

Não foram observados valores discrepantes para o teor de água do solo obtidos em cada campo. A oscilação do teor de água do solo nas diferentes datas de determinação da CE_a pode ser visualizado na Figura 2.4.

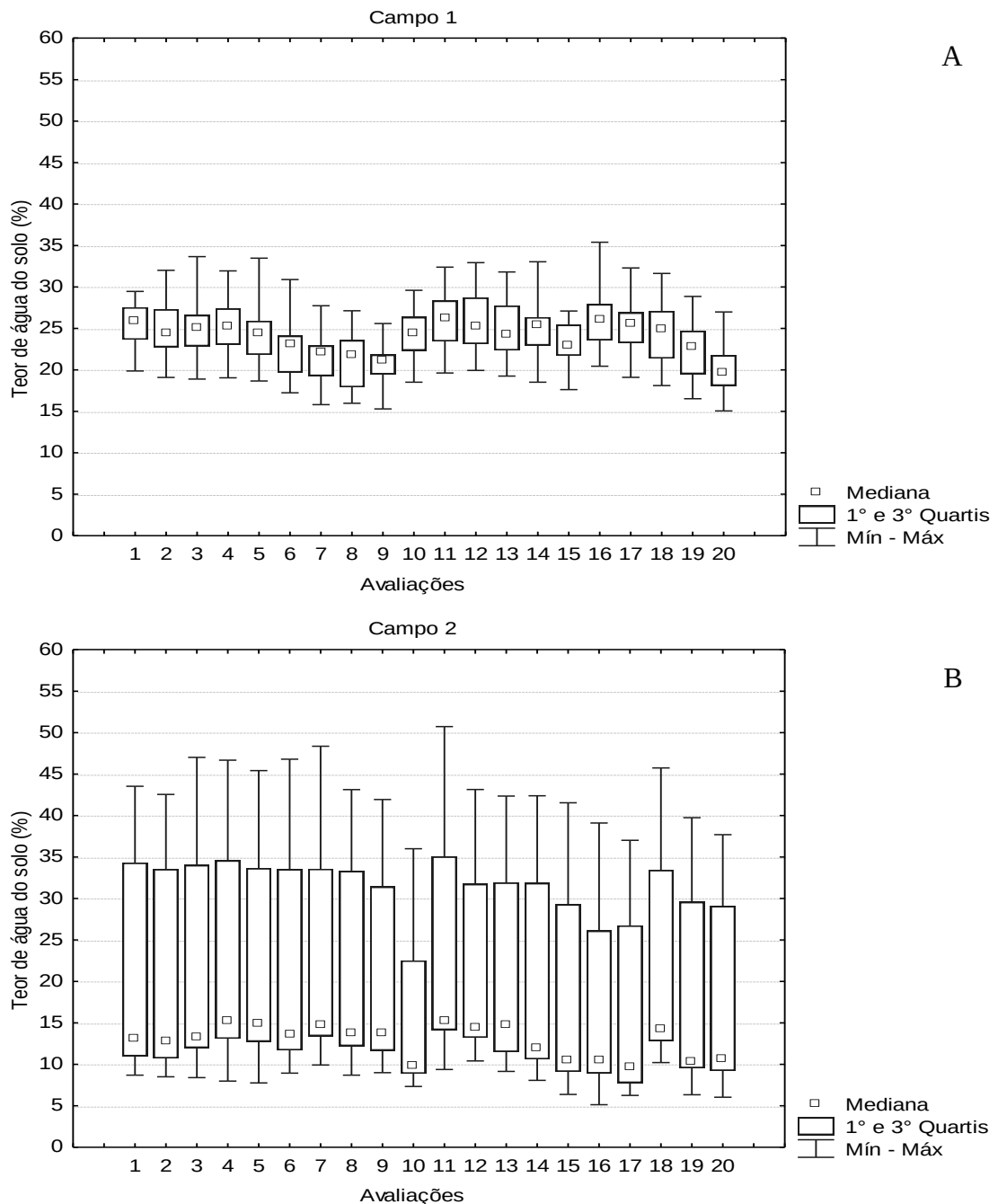


Figura 2.4. Teor de água do solo para as 20 avaliações, no Campo 1 (A) e Campo 2 (B). Mín = Mínimo; Máx = Máximo.

Para o Campo 1 o teor de água do solo oscilou entre 15 e 35%, aproximadamente. A diferença entre valores máximos e mínimos de cerca de 12 pontos percentuais e a mediana próxima ao valor médio do teor de água do solo indicam que esta variável teve um comportamento semelhante entre as unidades amostrais dentro do período avaliado (Figura 2.4 A).

No Campo 2 o teor de água do solo apresentou maior oscilação se comparado ao Campo 1, com valor mínimo de aproximadamente 5% na 16ª avaliação e um máximo de 51% na 11ª avaliação (Figura 2.4 B). Observando-

se a Figura 2.4 nota-se claramente a diferença entre os tamanhos dos 'boxplots' do Campo 1 e Campo 2, indicando maior oscilação do teor de água do solo entre as unidades amostrais no Campo 2, devido provavelmente a maiores diferenças texturais no solo dentro dessa área.

Analisando-se o resumo da estatística descritiva dos dados de CE_a obtidos com cada haste no Campo 1 (Tabela 2.3), observou-se que a CE_{a20} apresentou valores médios variando de 1,64 a 19,19 $mS\ m^{-1}$, com mínimo de 0,86 e máximo de 28,60 $mS\ m^{-1}$, enquanto o CV encontrou-se no intervalo $10,97\% < CV < 40,57\%$. A CE_{a40} média variou de 1,38 a 17,95 $mS\ m^{-1}$, sendo os valores mínimo e máximo iguais a 0,84 e 21,90 $mS\ m^{-1}$, e CV variando de 7,97 a 41,03%. Já para a CE_{a60} a média ficou entre 1,20 e 15,33 $mS\ m^{-1}$, com mínimo de 0,88 $mS\ m^{-1}$, máximo de 18,95 $mS\ m^{-1}$ e o CV entre 7,82 e 33,81% (Tabela 2.3). Os valores de CE_a obtidos neste trabalho são semelhantes aos relatados por outros autores para regiões com solo não salino. Machado et al. (2006) encontraram valores mínimo e máximo para CE_a de 1,90 $mS\ m^{-1}$ e 13,70 $mS\ m^{-1}$, respectivamente. Molin e Faulin (2013) obtiveram valores de CE_a que variaram entre 0,60 a 16,60 $mS\ m^{-1}$ considerando dois anos distintos de avaliação.

Tabela 2.3. Resumo da estatística descritiva para a CE_a20, CE_a40 e CE_a60 determinadas nas 50 unidades amostrais do Campo 1.

	Campo 1														
	CE _a 20 ¹ (mS m ⁻¹)					CE _a 40 ² (mS m ⁻¹)					CE _a 60 ³ (mS m ⁻¹)				
	Média	Mín.	Máx.	s ⁴	CV ⁵	Média	Mín.	Máx.	s	CV	Média	Mín.	Máx.	s	CV
1	19,19	13,21	28,60	4,17	21,71	17,95	12,11	21,90	2,53	14,07	15,33	12,12	18,95	1,95	12,71
2	14,81	9,80	19,08	2,82	19,06	13,72	11,05	17,89	1,80	13,08	12,05	9,09	15,88	1,87	15,50
3	13,07	8,85	17,98	2,50	19,11	13,63	10,39	17,59	1,85	13,56	12,87	7,37	16,81	2,54	19,73
4	11,43	7,83	17,57	2,45	21,48	11,57	9,65	13,78	1,02	8,81	10,81	7,70	13,59	1,77	16,41
5	11,41	8,72	13,28	1,25	10,97	11,77	7,10	17,90	3,26	27,66	9,29	5,27	13,60	2,28	24,56
6	9,41	6,26	12,11	1,53	16,29	9,84	7,14	13,62	1,99	20,20	9,35	3,06	15,23	3,16	33,81
7	7,40	5,79	10,26	1,30	17,62	7,70	1,39	11,16	2,46	31,98	6,65	4,54	10,07	1,73	26,00
8	10,39	8,22	13,22	1,19	11,47	9,97	7,28	13,22	1,81	18,18	8,64	7,06	11,92	1,36	15,75
9	9,95	6,43	12,75	1,75	17,58	9,66	6,29	13,81	2,29	23,69	7,87	5,67	10,66	1,71	21,68
10	8,19	5,65	12,75	1,79	21,85	7,57	3,83	12,66	2,08	27,46	7,08	3,60	11,90	2,05	28,93
11	11,16	7,60	15,31	2,03	18,18	8,81	6,81	10,53	0,92	10,41	7,06	4,78	8,43	0,91	12,84
12	9,28	5,71	14,68	2,23	24,07	9,70	7,19	12,72	1,29	13,30	8,59	5,65	11,04	1,34	15,56
13	10,03	7,20	13,51	1,76	17,60	10,45	7,54	13,22	1,32	12,66	10,85	8,70	14,05	1,83	16,84
14	9,74	6,54	13,42	1,97	20,22	9,05	7,53	10,11	0,72	7,97	7,80	6,33	8,91	0,63	8,07
15	11,66	5,46	17,25	3,72	31,89	9,83	5,39	13,35	2,30	23,39	8,45	5,31	13,22	2,21	26,12
16	9,50	6,07	13,78	2,06	21,71	9,48	6,36	13,00	1,99	21,02	7,54	5,03	10,12	1,45	19,18
17	7,66	4,53	11,02	1,88	24,59	7,22	4,81	11,37	1,61	22,23	6,29	4,66	8,53	1,00	15,84
18	9,53	4,88	12,04	1,83	19,20	9,57	6,51	12,10	1,68	17,60	8,42	5,08	12,86	2,09	24,83
19	9,02	6,06	11,45	1,54	17,10	8,67	5,41	11,42	1,68	19,40	7,58	4,99	11,45	2,00	26,37
20	9,12	4,47	14,84	2,67	29,22	7,93	5,54	12,70	2,23	28,12	7,41	4,98	11,65	2,02	27,25
21	6,86	4,72	10,36	1,64	23,89	6,42	4,28	9,12	1,24	19,26	6,41	4,16	9,25	1,73	26,89
22	7,57	5,30	9,94	1,18	15,52	7,72	5,89	9,23	1,01	13,12	6,00	2,85	8,45	1,49	24,87
23	8,72	6,60	11,95	1,46	16,69	8,06	6,46	10,25	0,99	12,26	7,85	5,68	11,28	1,62	20,61
24	6,40	3,84	10,38	1,98	30,94	5,72	3,72	8,34	1,26	22,01	4,47	3,27	5,10	0,53	11,76
25	7,82	4,20	11,24	2,10	26,88	5,19	0,84	8,05	1,84	35,42	4,70	3,28	6,04	0,88	18,74
26	6,05	3,63	7,95	1,22	20,23	4,08	1,17	6,58	1,28	31,33	3,63	2,51	4,42	0,51	14,10
27	2,35	1,43	3,12	0,46	19,47	1,61	1,04	2,16	0,35	21,54	1,29	0,88	1,71	0,22	17,11
28	2,15	0,86	2,72	0,60	28,05	1,84	1,27	3,77	0,54	29,24	1,37	1,00	1,64	0,19	13,84
29	1,64	0,97	2,04	0,32	19,67	1,38	1,03	2,04	0,24	17,65	1,20	0,95	1,60	0,17	13,83
30	3,10	2,10	3,90	0,51	16,56	2,63	1,73	3,19	0,38	14,29	1,96	1,56	2,26	0,20	9,97
31	3,58	2,34	5,06	0,73	20,29	2,64	1,63	3,35	0,41	15,60	2,60	1,54	3,90	0,58	22,20
32	4,57	2,14	6,10	1,08	23,74	3,89	2,75	4,80	0,52	13,50	3,64	2,87	4,31	0,42	11,45
33	4,70	1,66	7,49	1,84	39,11	3,86	1,65	5,44	0,97	25,14	4,18	3,31	4,69	0,39	9,42
34	5,65	4,16	7,98	1,11	19,58	5,04	3,70	6,28	0,69	13,79	4,70	3,54	6,11	0,69	14,72
35	5,20	3,21	7,80	1,25	24,13	5,42	4,52	6,76	0,65	11,98	4,51	3,47	5,44	0,56	12,33
36	4,99	3,92	6,41	0,76	15,23	5,24	2,91	6,45	0,78	14,94	3,64	2,21	4,57	0,59	16,17
37	4,35	3,20	6,20	0,79	18,24	3,70	2,79	4,67	0,48	12,87	3,47	2,87	4,91	0,58	16,58
38	4,69	3,16	6,80	1,01	21,42	3,72	1,83	5,19	0,93	25,05	4,08	3,18	5,02	0,48	11,76
39	4,08	2,83	5,11	0,65	15,98	3,54	2,45	5,23	0,76	21,48	2,96	2,14	3,90	0,41	13,94
40	5,18	3,12	8,24	1,60	30,94	4,49	3,14	5,97	0,84	18,73	3,86	3,18	4,54	0,39	10,04
41	5,47	4,12	6,93	0,80	14,68	5,32	4,04	7,01	0,79	14,78	4,23	3,14	5,15	0,56	13,31
42	3,72	2,15	5,78	1,00	26,75	4,14	2,53	5,67	0,81	19,45	3,92	2,78	5,40	0,64	16,25
43	3,66	1,81	6,30	1,30	35,58	2,95	0,95	5,02	1,04	35,19	2,52	1,53	3,87	0,64	25,55
44	3,25	1,36	4,89	0,93	28,63	2,97	2,12	4,31	0,63	21,24	2,28	1,46	3,05	0,43	18,73
45	2,95	1,47	5,51	1,15	38,80	2,42	1,19	4,75	0,99	41,03	1,98	1,17	2,76	0,45	22,56
46	2,30	1,26	3,48	0,55	23,81	2,34	1,91	2,97	0,29	12,57	1,89	1,41	2,35	0,23	12,16
47	1,92	0,91	3,76	0,78	40,57	1,89	1,05	3,21	0,58	30,83	1,81	1,52	1,99	0,14	7,82
48	4,10	2,25	6,12	1,15	28,09	3,15	1,30	4,53	0,85	27,02	2,42	1,49	3,12	0,45	18,57
49	4,47	1,84	6,01	1,23	27,46	2,81	1,49	4,32	0,81	28,80	2,33	1,56	3,26	0,54	23,14
50	2,41	1,29	3,64	0,70	28,94	1,87	0,90	2,41	0,39	20,89	1,45	1,23	1,75	0,14	9,34

¹CE_a20, ²CE_a40, ³CE_a60 = Condutividade elétrica aparente do solo na camada de 0 a 20, 0 a 40 e 0 a 60 cm de profundidade, respectivamente; ⁴s = desvio padrão; ⁵CV = coeficiente de variação (%)

Valores máximos de CE_a para o Campo 1 foram observados próximo a região da unidade amostral 1 e valores mínimos nas regiões das unidades amostrais 27 a 29 e também de 43 a 50, independente da profundidade na qual a CE_a foi avaliada (Tabela 2.3). Observou-se também que a CE_a reduziu à medida que se aumentou a distância entre os eletrodos para sua determinação. Tal comportamento é coerente, pois ao se avaliar uma camada mais espessa de solo, maior será a resistividade elétrica do mesmo e consequentemente menores serão os valores de CE_a . No geral, comportamento semelhante para o CV foi observado, provavelmente devido ao fato de que os impactos causados pelos fatores que influenciam a CE_a , como o teor de água do solo, por exemplo, são minimizados ao se avaliar uma camada mais espessa de solo.

No Campo 2 a CE_{a20} variou entre 0,66 e 37,30 $mS\ m^{-1}$, a CE_{a40} entre 0,14 e 32,79 $mS\ m^{-1}$ e a CE_{a60} entre 0,20 e 29,99 $mS\ m^{-1}$ (Tabela 2.4). Foram observados maiores CV se comparados ao Campo 1, principalmente na faixa entre as unidades amostrais de número 1 a 27, chegando a 71,56% para a CE_{a40} na posição 9. Empiricamente foi verificado durante o período de avaliações que essa região no Campo 2 tinha um solo mais arenoso, que tem como característica menor capacidade de armazenamento e maior velocidade na perda de água. Este fato pode ter levado a esta maior variabilidade nos dados de CE_a determinados no período e por isso maiores foram os CV (Tabela 2.4).

Tabela 2.4. Resumo da estatística descritiva para a CE_a20, CE_a40 e CE_a60 determinadas nas 50 unidades amostrais do Campo 2.

	Campo 2														
	CE _a 20 ¹ (mS m ⁻¹)					CE _a 40 ² (mS m ⁻¹)					CE _a 60 ³ (mS m ⁻¹)				
	Média	Min	Máx	s ⁴	CV ⁵	Média	Min	Máx	S	CV	Média	Min	Máx	s	CV
1	6,18	1,76	8,27	1,90	30,74	6,45	0,39	12,62	3,41	52,87	7,44	0,90	12,73	3,55	47,71
2	5,50	1,46	8,25	1,76	32,08	7,02	0,32	14,72	4,32	61,50	8,21	0,33	17,19	4,57	55,64
3	4,06	1,79	7,03	1,47	36,10	5,81	0,28	12,63	3,45	59,39	6,38	0,37	15,21	3,60	56,46
4	5,24	1,76	8,97	1,90	36,29	6,52	0,45	13,38	4,38	67,29	6,65	0,36	12,56	3,57	53,68
5	3,84	1,05	6,12	1,51	39,30	4,51	0,23	8,58	2,78	61,64	6,47	0,31	16,54	4,09	63,24
6	3,84	2,44	5,76	1,11	28,75	4,70	0,14	8,98	2,52	53,51	5,04	0,47	10,26	2,72	54,11
7	3,35	1,71	5,07	0,97	29,08	4,16	0,20	8,02	2,22	53,21	5,01	0,26	10,41	3,02	60,32
8	2,93	1,79	4,63	0,72	24,56	4,29	0,33	8,40	2,18	50,78	6,27	0,30	13,61	3,86	61,59
9	2,86	0,94	5,55	1,42	49,78	4,74	0,27	9,96	3,39	71,56	3,17	0,22	5,02	1,66	52,29
10	3,24	2,12	4,26	0,61	18,86	4,57	0,47	8,56	2,54	55,57	4,85	0,23	10,68	2,76	56,96
11	3,78	1,15	6,34	1,27	33,63	5,23	2,29	9,28	1,86	35,63	6,04	0,34	13,10	3,43	56,71
12	4,56	2,47	6,11	0,84	18,50	5,12	1,55	7,88	2,12	41,42	4,98	0,23	10,22	2,68	53,69
13	3,49	1,28	6,02	1,30	37,12	5,37	0,99	9,46	2,70	50,21	5,10	0,20	8,91	2,49	48,76
14	4,07	0,87	6,57	1,83	44,88	5,38	0,89	10,18	2,78	51,62	5,43	0,32	11,32	3,12	57,52
15	3,86	0,88	6,33	1,31	33,96	5,78	1,25	9,16	2,45	42,47	4,42	0,73	10,35	2,49	56,30
16	3,40	1,33	5,87	1,18	34,77	4,38	0,54	9,04	2,26	51,56	3,63	0,33	6,86	1,76	48,32
17	3,33	1,93	4,66	0,73	22,02	4,45	1,37	8,12	1,90	42,63	3,78	0,28	7,51	1,96	51,72
18	6,52	4,50	9,29	1,25	19,24	5,74	0,49	9,67	2,30	40,11	4,27	0,29	7,01	1,86	43,55
19	5,26	2,74	7,19	1,33	25,39	6,22	0,76	10,60	2,80	44,96	4,12	0,86	8,18	1,80	43,66
20	4,29	2,59	6,34	0,84	19,54	5,94	1,52	13,23	2,93	49,41	5,71	1,35	8,83	2,44	42,75
21	3,49	1,03	4,91	1,12	31,98	3,93	1,01	7,77	1,59	40,57	3,79	0,40	9,28	2,23	58,81
22	4,70	3,35	8,97	1,32	28,15	4,12	2,78	6,87	0,85	20,68	3,01	1,33	5,29	0,87	29,02
23	3,96	1,53	6,69	1,27	32,14	3,23	1,53	9,88	1,96	60,87	2,55	0,89	4,94	0,88	34,42
24	3,22	2,02	5,57	0,95	29,61	3,53	1,99	5,16	0,81	23,06	2,52	0,65	4,96	0,90	35,74
25	2,51	0,71	4,28	0,93	37,23	3,09	0,76	6,83	1,56	50,54	2,47	0,26	7,41	1,64	66,56
26	2,96	0,66	6,14	1,43	48,47	3,43	0,66	5,35	1,28	37,32	2,12	0,20	3,87	0,97	45,61
27	3,94	1,75	6,65	1,36	34,44	5,10	1,83	12,44	2,27	44,52	2,91	0,61	6,67	1,31	45,05
28	7,78	1,02	11,71	2,34	30,12	7,52	2,67	9,83	2,10	27,88	8,51	4,72	11,26	1,67	19,61
29	11,52	6,85	15,80	2,28	19,79	10,95	7,06	16,06	2,53	23,11	8,22	4,09	12,47	2,18	26,54
30	13,06	7,76	20,23	3,54	27,14	11,20	7,82	15,34	2,40	21,39	10,26	4,88	15,77	2,70	26,28
31	14,22	7,33	23,17	4,08	28,72	12,92	9,08	17,04	2,48	19,19	10,30	7,14	14,00	1,70	16,50
32	15,68	10,23	23,60	3,82	24,34	13,77	9,49	23,48	2,87	20,86	13,09	8,20	16,96	2,49	19,05
33	17,81	7,35	24,74	4,43	24,91	15,98	6,94	21,45	3,74	23,38	13,26	9,57	17,12	2,02	15,23
34	19,64	11,92	28,18	4,11	20,93	15,65	8,85	21,39	2,99	19,12	13,46	10,32	14,98	1,29	9,57
35	18,14	12,32	29,20	4,57	25,21	16,56	10,73	20,72	3,00	18,09	13,60	5,94	18,14	2,79	20,50
36	15,51	10,41	21,05	3,38	21,81	15,97	12,15	21,07	2,78	17,39	13,67	10,32	16,89	1,77	12,93
37	18,97	9,68	24,42	4,37	23,05	17,85	10,55	22,87	2,79	15,64	15,64	9,99	19,38	2,36	15,08
38	15,32	10,15	19,83	2,65	17,31	18,16	12,44	25,30	3,78	20,80	14,62	10,20	20,12	2,72	18,61
39	16,76	8,72	24,97	4,51	26,89	16,73	10,77	21,56	2,42	14,49	14,16	8,72	23,49	3,77	26,60
40	17,39	7,90	22,98	4,70	27,00	17,24	8,35	25,62	4,49	26,02	13,96	8,56	18,70	2,79	19,97
41	21,17	12,05	28,31	4,19	19,77	19,47	7,54	26,65	4,28	22,00	14,13	9,89	17,80	1,97	13,96
42	20,29	13,76	26,12	3,35	16,53	21,77	13,66	28,14	3,81	17,50	17,21	13,21	21,68	2,52	14,61
43	16,46	12,34	20,58	2,47	14,98	17,02	11,82	23,07	2,85	16,72	14,52	11,99	23,39	2,58	17,77
44	20,33	16,24	31,58	4,43	21,77	20,75	14,55	32,21	5,34	25,71	17,52	13,63	21,94	2,49	14,22
45	20,89	13,55	28,03	4,16	19,91	21,19	15,91	28,14	3,58	16,91	18,07	12,39	23,68	3,31	18,30
46	23,20	12,40	37,30	6,80	29,30	21,62	14,51	32,79	5,75	26,60	17,73	12,82	23,58	3,51	19,81
47	19,15	11,57	25,54	3,95	20,64	20,41	16,50	29,23	3,26	15,96	18,97	12,34	24,79	3,78	19,91
48	19,19	12,57	22,55	2,95	15,39	19,36	11,48	30,11	5,21	26,90	16,72	10,68	25,44	3,96	23,69
49	20,42	10,62	28,41	3,47	17,01	21,25	13,67	28,93	3,92	18,43	18,56	14,02	29,99	3,75	20,19
50	18,61	10,00	24,69	3,62	19,45	19,17	12,19	24,99	3,26	17,02	16,59	11,31	22,06	2,80	16,87

¹CE_a20, ²CE_a40, ³CE_a60 = Condutividade elétrica aparente do solo na camada de 0 a 20, 0 a 40 e 0 a 60 cm de profundidade, respectivamente; ⁴s = desvio padrão; ⁵CV = coeficiente de variação (%)

2.3.2. Análise da variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica aparente do solo

Uma análise visual dos padrões de distribuição espacial da CE_a ao longo do período analisado pode ser feita observando-se a Figura 2.5 para o Campo 1 e a Figura 2.6, referente ao Campo 2. Esses mapas, gerados a partir dos dados de CE_a normalizados, apresentam todas as unidades amostrais em cada data avaliada, com valores arbitrariamente classificados como baixo (valores de $CE_{a(norm)}$ entre zero e 33), médio (valores de $CE_{a(norm)}$ entre 34 e 66) e alto (valores de $CE_{a(norm)}$ entre 67 e 100), em cores diferentes, apenas no sentido de padronizar a distribuição (Farahani; Buchleiter, 2004). Nos mapas também existem células em branco que correspondem a valores que foram removidos das análises (outliers).

De maneira geral, a avaliação visual dos mapas revelou um padrão similar para as diferentes datas e camadas de solo em que a CE_a foi determinada, tanto no Campo 1 (Figura 2.5), quanto no Campo 2 (Figura 2.6). Embora existam diferenças entre as linhas em cada mapa, as quais se referem as 50 unidades amostrais em cada data de avaliação, os três padrões delineados são preservados ao longo do tempo em sua grande maioria. Caso uníssemos os delineamentos médio e alto em uma mesma classe, ficaria evidente a diferenciação de duas regiões que mantêm praticamente o mesmo padrão espacial durante todo o período avaliado.

Os resultados encontrados foram semelhantes aos reportados por Farahani e Buchleiter (2004), que a partir da análise visual de mapas de CE_a elaborados em diferentes épocas, verificaram que os padrões de CE_a , também delineados em baixo, médio e alto, mantiveram-se praticamente inalterados, embora os valores absolutos de CE_a tenham variado.

Trabalhos anteriores realizando comparações visuais em mapas de CE_a também indicaram semelhança ao longo do tempo (Lund et al., 1999), mesmo com mudanças significativas no teor de água do solo e na temperatura (Dabas et al., 2001; King et al., 2001).

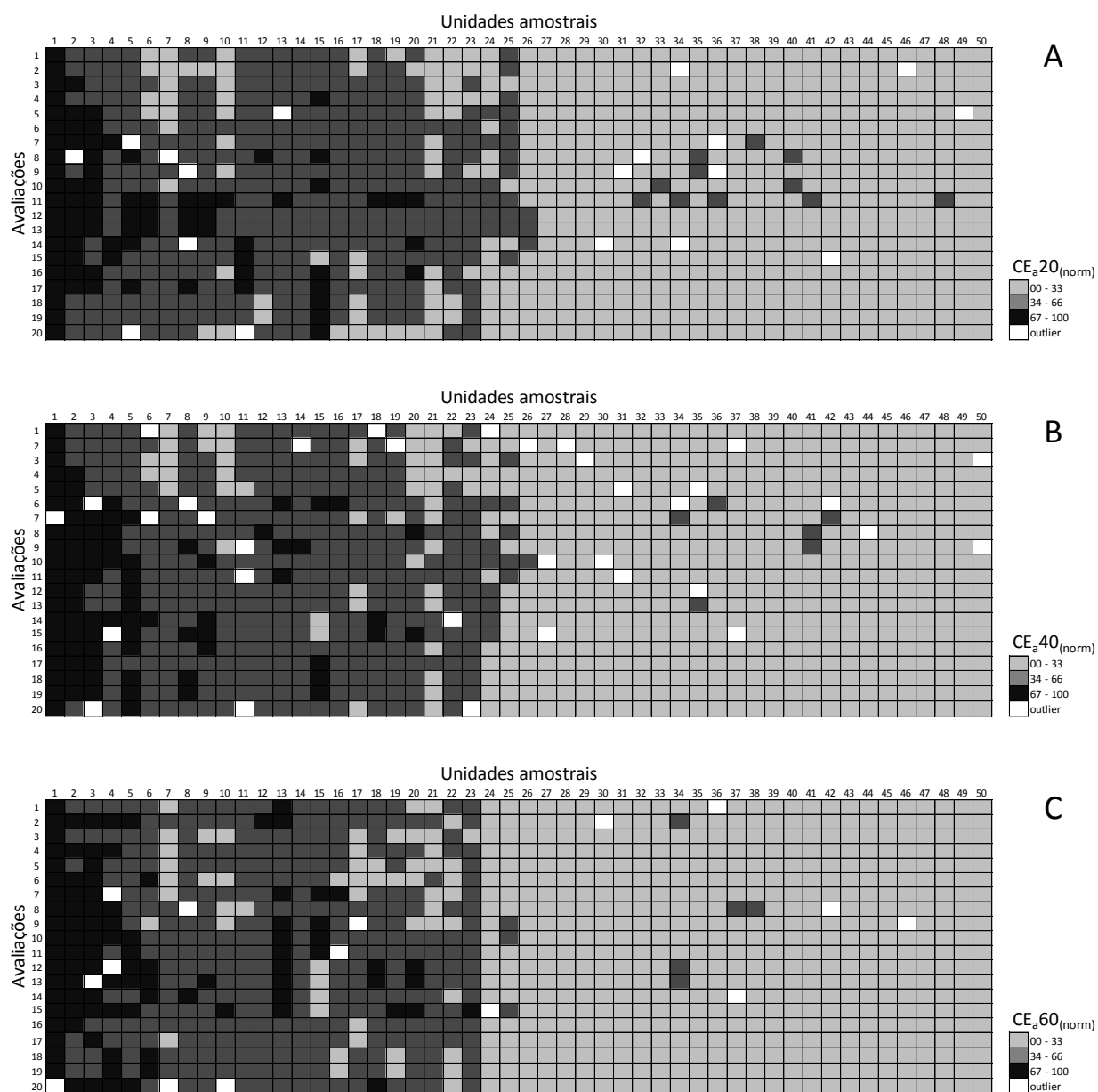


Figura 2.5. Representação do padrão espacial da CE_a ao longo do tempo nas unidades amostrais avaliadas no Campo 1, nas profundidades de 0 – 20cm (A), 0 – 40cm (B) e 0 – 60cm (C).

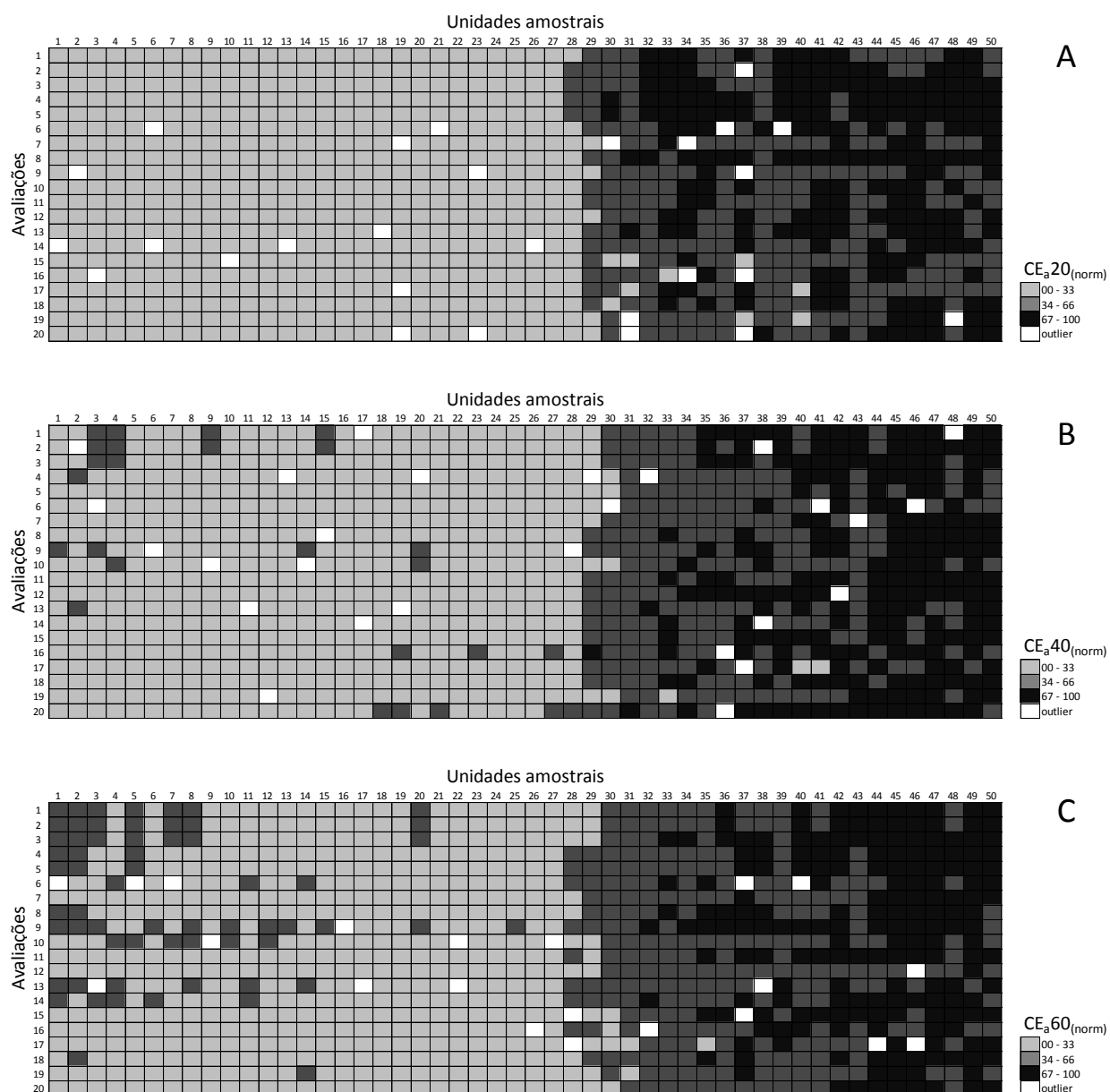


Figura 2.6. Representação do padrão espacial da CE_a ao longo do tempo nas unidades amostrais avaliadas no Campo 2, nas profundidades de 0 – 20cm (A), 0 – 40cm (B) e 0 – 60cm (C).

2.3.3. Análise da estabilidade temporal da condutividade elétrica aparente do solo

As Tabelas 2.5 e 2.6 apresentam as matrizes de correlação de Pearson entre os valores de CE_a determinados em cada data nas diferentes camadas de solo para cada campo. Quanto mais próximo de um for o valor obtido para o coeficiente de correlação, maior a estabilidade entre as datas avaliadas (Vachaud et al., 1985; Moreti et al., 2007).

Os valores dos coeficientes de correlação foram significativos e elevados para a CE_a , independente da camada de solo avaliada, tanto no Campo 1 (Tabela 2.5) quanto no Campo 2 (Tabela 2.6). Esse comportamento indica existir uma alta estabilidade temporal da CE_a nessas áreas dentro do período de estudo. Moreti et al. (2007) utilizaram a mesma metodologia para avaliar o comportamento espaço-temporal das armazenagens gravimétrica e volumétrica da água num latossolo cultivado com citros, e verificaram altos coeficientes de correlação, correspondendo a uma perfeita estabilidade entre os tempos de estudo. Cambouris et al. (2006) avaliaram a estabilidade temporal da CE_a , determinada na superfície e na camada de 0 – 20cm de profundidade do solo, em dois anos diferentes e obtiveram valores de coeficiente de correlação significativos iguais a 0,78 e 0,90, respectivamente. Estes autores ressaltaram que as fortes correlações entre as diferentes determinações de CE_a indicaram baixa variabilidade temporal para a variável, sugerindo que ela é uma boa ferramenta para identificar zonas de manejo estáveis ao longo do tempo.

Tabela 2.5. Matrizes de correlação de Pearson entre as datas de determinação de CE_{a20}, CE_{a40} e CE_{a60} no Campo 1.

CE _{a20}																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1,00																			
2	0,98	1,00																		
3	0,98	0,99	1,00																	
4	0,96	0,97	0,97	1,00																
5	0,97	0,98	0,98	0,97	1,00															
6	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	1,00														
7	0,85	0,88	0,88	0,85	0,88	0,85	1,00													
8	0,89	0,87	0,88	0,91	0,90	0,91	0,77	1,00												
9	0,90	0,90	0,91	0,90	0,92	0,89	0,87	0,85	1,00											
10	0,90	0,91	0,94	0,94	0,94	0,94	0,83	0,87	0,87	1,00										
11	0,82	0,81	0,85	0,81	0,84	0,88	0,78	0,81	0,85	0,91	1,00									
12	0,84	0,85	0,88	0,82	0,86	0,87	0,85	0,82	0,90	0,85	0,92	1,00								
13	0,84	0,85	0,88	0,82	0,86	0,87	0,85	0,82	0,90	0,85	0,92	0,98	1,00							
14	0,83	0,85	0,87	0,83	0,86	0,87	0,85	0,83	0,90	0,89	0,93	0,94	0,94	1,00						
15	0,82	0,85	0,86	0,83	0,86	0,88	0,85	0,83	0,87	0,86	0,90	0,93	0,93	0,96	1,00					
16	0,89	0,90	0,92	0,91	0,91	0,92	0,80	0,81	0,86	0,93	0,86	0,81	0,81	0,88	0,84	1,00				
17	0,89	0,90	0,92	0,92	0,91	0,94	0,79	0,87	0,85	0,93	0,88	0,84	0,84	0,87	0,86	0,95	1,00			
18	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,95	0,80	0,86	0,88	0,91	0,85	0,87	0,87	0,87	0,86	0,94	0,97	1,00		
19	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,95	0,80	0,86	0,88	0,91	0,85	0,87	0,87	0,87	0,86	0,94	0,97	0,98	1,00	
20	0,87	0,88	0,88	0,91	0,88	0,88	0,69	0,84	0,79	0,84	0,72	0,74	0,74	0,76	0,75	0,87	0,92	0,94	0,94	1,00

CE _{a40}																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1,00																			
2	0,94	1,00																		
3	0,78	0,82	1,00																	
4	0,88	0,89	0,93	1,00																
5	0,93	0,88	0,81	0,90	1,00															
6	0,89	0,83	0,90	0,94	0,85	1,00														
7	0,78	0,74	0,87	0,84	0,77	0,89	1,00													
8	0,81	0,77	0,83	0,83	0,80	0,86	0,82	1,00												
9	0,87	0,85	0,86	0,92	0,88	0,90	0,81	0,81	1,00											
10	0,79	0,74	0,83	0,88	0,83	0,83	0,83	0,79	0,82	1,00										
11	0,82	0,78	0,88	0,88	0,83	0,88	0,94	0,89	0,84	0,91	1,00									
12	0,77	0,71	0,84	0,82	0,80	0,83	0,93	0,84	0,80	0,89	0,97	1,00								
13	0,77	0,71	0,84	0,82	0,80	0,83	0,93	0,84	0,80	0,89	0,97	0,98	1,00							
14	0,68	0,61	0,76	0,75	0,73	0,74	0,88	0,77	0,74	0,90	0,94	0,97	0,97	1,00						
15	0,71	0,65	0,77	0,78	0,75	0,75	0,82	0,87	0,75	0,88	0,93	0,93	0,93	0,94	1,00					
16	0,81	0,76	0,82	0,83	0,82	0,83	0,89	0,81	0,81	0,89	0,95	0,92	0,92	0,92	0,89	1,00				
17	0,85	0,77	0,86	0,86	0,84	0,91	0,90	0,87	0,84	0,86	0,95	0,90	0,90	0,86	0,87	0,96	1,00			
18	0,80	0,74	0,81	0,80	0,81	0,82	0,90	0,80	0,79	0,87	0,94	0,90	0,90	0,90	0,86	0,98	0,96	1,00		
19	0,80	0,74	0,81	0,80	0,81	0,82	0,90	0,80	0,79	0,87	0,94	0,90	0,90	0,90	0,86	0,98	0,96	0,98	1,00	
20	0,78	0,71	0,72	0,73	0,73	0,79	0,83	0,79	0,72	0,79	0,90	0,87	0,87	0,84	0,84	0,92	0,94	0,91	0,91	1,00

CE _{a60}																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1,00																			
2	0,98	1,00																		
3	0,98	0,99	1,00																	
4	0,96	0,97	0,97	1,00																
5	0,97	0,98	0,98	0,97	1,00															
6	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	1,00														
7	0,85	0,88	0,88	0,85	0,88	0,85	1,00													
8	0,89	0,87	0,88	0,91	0,90	0,91	0,77	1,00												
9	0,90	0,90	0,91	0,90	0,92	0,89	0,87	0,85	1,00											
10	0,90	0,91	0,94	0,94	0,94	0,94	0,83	0,87	0,87	1,00										
11	0,82	0,81	0,85	0,81	0,84	0,88	0,78	0,81	0,85	0,91	1,00									
12	0,84	0,85	0,88	0,82	0,86	0,87	0,85	0,82	0,90	0,85	0,92	1,00								
13	0,84	0,85	0,88	0,82	0,86	0,87	0,85	0,82	0,90	0,85	0,92	0,98	1,00							
14	0,83	0,85	0,87	0,83	0,86	0,87	0,85	0,83	0,90	0,89	0,93	0,94	0,94	1,00						
15	0,82	0,85	0,86	0,83	0,86	0,88	0,85	0,83	0,87	0,86	0,90	0,93	0,93	0,96	1,00					
16	0,89	0,90	0,92	0,91	0,91	0,92	0,80	0,81	0,86	0,93	0,86	0,81	0,81	0,88	0,84	1,00				
17	0,89	0,90	0,92	0,92	0,91	0,94	0,79	0,87	0,85	0,93	0,88	0,84	0,84	0,87	0,86	0,95	1,00			
18	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,95	0,80	0,86	0,88	0,91	0,85	0,87	0,87	0,87	0,86	0,94	0,97	1,00		
19	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,95	0,80	0,86	0,88	0,91	0,85	0,87	0,87	0,87	0,86	0,94	0,97	0,98	1,00	
20	0,87	0,88	0,88	0,91	0,88	0,88	0,69	0,84	0,79	0,84	0,72	0,74	0,74	0,76	0,75	0,87	0,92	0,94	0,94	1,00

Todos os valores significativos ($p \leq 0,05$).

Tabela 2.6. Matrizes de correlação de Pearson entre as datas de determinação de CE_a20, CE_a40 e CE_a60 no Campo 2.

CE _a 20																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	1,00																			
2	0,99	1,00																		
3	0,98	0,98	1,00																	
4	0,89	0,90	0,96	1,00																
5	0,89	0,90	0,96	0,98	1,00															
6	0,86	0,86	0,90	0,90	0,90	1,00														
7	0,85	0,85	0,90	0,92	0,92	0,95	1,00													
8	0,89	0,90	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	1,00												
9	0,82	0,83	0,88	0,92	0,92	0,95	0,98	0,96	1,00											
10	0,81	0,81	0,87	0,91	0,91	0,95	0,96	0,95	0,95	1,00										
11	0,86	0,86	0,92	0,94	0,95	0,96	0,99	0,98	0,98	0,97	1,00									
12	0,89	0,89	0,94	0,94	0,94	0,95	0,97	0,98	0,96	0,96	0,98	1,00								
13	0,86	0,86	0,91	0,93	0,93	0,92	0,96	0,97	0,95	0,94	0,96	0,97	1,00							
14	0,87	0,88	0,92	0,93	0,93	0,91	0,90	0,94	0,91	0,91	0,93	0,94	0,92	1,00						
15	0,77	0,78	0,84	0,89	0,89	0,83	0,87	0,87	0,86	0,89	0,87	0,89	0,86	0,85	1,00					
16	0,84	0,82	0,86	0,85	0,85	0,86	0,85	0,90	0,81	0,89	0,87	0,87	0,87	0,89	0,79	1,00				
17	0,84	0,83	0,87	0,87	0,87	0,90	0,91	0,90	0,88	0,89	0,91	0,91	0,90	0,86	0,79	0,90	1,00			
18	0,88	0,88	0,93	0,94	0,94	0,96	0,99	0,99	0,98	0,96	0,99	0,98	0,97	0,92	0,88	0,88	0,91	1,00		
19	0,76	0,77	0,83	0,88	0,88	0,86	0,93	0,94	0,94	0,90	0,94	0,93	0,93	0,86	0,86	0,81	0,83	0,94	1,00	
20	0,83	0,83	0,89	0,93	0,93	0,89	0,94	0,94	0,93	0,92	0,94	0,93	0,91	0,90	0,91	0,85	0,84	0,95	0,95	1,00
CE _a 40																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	1,00																			
2	0,98	1,00																		
3	0,99	0,98	1,00																	
4	0,92	0,91	0,96	1,00																
5	0,93	0,92	0,96	0,99	1,00															
6	0,84	0,83	0,88	0,90	0,91	1,00														
7	0,93	0,92	0,94	0,94	0,95	0,83	1,00													
8	0,92	0,91	0,93	0,93	0,94	0,91	0,94	1,00												
9	0,92	0,92	0,93	0,91	0,91	0,87	0,94	0,92	1,00											
10	0,88	0,87	0,90	0,89	0,91	0,93	0,88	0,90	0,88	1,00										
11	0,93	0,92	0,95	0,96	0,97	0,91	0,96	0,98	0,94	0,90	1,00									
12	0,95	0,94	0,96	0,95	0,97	0,93	0,95	0,95	0,93	0,92	0,97	1,00								
13	0,90	0,89	0,93	0,93	0,94	0,93	0,88	0,89	0,90	0,93	0,91	0,94	1,00							
14	0,84	0,83	0,88	0,92	0,92	0,90	0,87	0,90	0,85	0,87	0,93	0,93	0,90	1,00						
15	0,88	0,87	0,92	0,95	0,96	0,88	0,94	0,91	0,86	0,85	0,95	0,94	0,91	0,92	1,00					
16	0,76	0,76	0,80	0,83	0,83	0,79	0,81	0,81	0,77	0,79	0,86	0,83	0,81	0,92	0,87	1,00				
17	0,82	0,83	0,85	0,86	0,86	0,82	0,82	0,86	0,82	0,81	0,88	0,89	0,82	0,88	0,84	0,83	1,00			
18	0,94	0,93	0,95	0,95	0,96	0,88	0,99	0,98	0,94	0,90	0,99	0,96	0,90	0,90	0,94	0,83	0,85	1,00		
19	0,81	0,79	0,85	0,89	0,89	0,87	0,87	0,85	0,84	0,89	0,87	0,90	0,87	0,89	0,83	0,76	0,82	0,87	1,00	
20	0,76	0,75	0,82	0,91	0,90	0,84	0,83	0,83	0,77	0,79	0,88	0,87	0,85	0,91	0,91	0,87	0,84	0,84	0,80	1,00
CE _a 60																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	1,00																			
2	0,98	1,00																		
3	0,98	0,98	1,00																	
4	0,87	0,87	0,95	1,00																
5	0,87	0,87	0,95	0,98	1,00															
6	0,83	0,83	0,89	0,90	0,91	1,00														
7	0,87	0,87	0,94	0,96	0,96	0,93	1,00													
8	0,91	0,91	0,95	0,94	0,94	0,91	0,96	1,00												
9	0,84	0,84	0,89	0,88	0,88	0,78	0,86	0,88	1,00											
10	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85	0,83	0,83	0,85	0,83	1,00										
11	0,92	0,92	0,95	0,93	0,93	0,91	0,94	0,95	0,85	0,82	1,00									
12	0,86	0,86	0,91	0,92	0,92	0,89	0,93	0,94	0,85	0,77	0,94	1,00								
13	0,80	0,80	0,86	0,89	0,89	0,80	0,86	0,83	0,78	0,85	0,81	0,76	1,00							
14	0,82	0,82	0,87	0,87	0,87	0,84	0,89	0,89	0,80	0,77	0,87	0,85	0,85	1,00						
15	0,87	0,87	0,92	0,93	0,93	0,90	0,96	0,96	0,86	0,82	0,94	0,92	0,80	0,85	1,00					
16	0,78	0,78	0,83	0,86	0,86	0,75	0,87	0,84	0,78	0,71	0,84	0,79	0,76	0,78	0,88	1,00				
17	0,81	0,81	0,86	0,87	0,87	0,82	0,91	0,84	0,80	0,75	0,88	0,81	0,78	0,78	0,88	0,88	1,00			
18	0,90	0,90	0,95	0,96	0,96	0,93	0,99	0,99	0,88	0,85	0,95	0,94	0,85	0,90	0,97	0,86	0,88	1,00		
19	0,88	0,88	0,93	0,92	0,92	0,92	0,95	0,94	0,83	0,80	0,94	0,92	0,80	0,84	0,93	0,84	0,85	0,95	1,00	
20	0,91	0,91	0,94	0,92	0,92	0,88	0,94	0,93	0,84	0,77	0,95	0,91	0,79	0,86	0,96	0,89	0,89	0,94	0,93	1,00

Todos os valores significativos ($p \leq 0,05$).

Observou-se, por exemplo, para a CE_{a20} no Campo 1, que durante as seis primeiras avaliações, correspondente a um intervalo de sete dias entre a primeira e sexta avaliação, que os coeficientes de correlação se mantiveram acima de 0,95. Na avaliação seguinte esse comportamento foi alterado, verificando-se uma pequena diminuição nos coeficientes de correlação, ficando agora entre 0,85 e 0,88 (Tabela 2.5). A média do teor de água do solo nesta data foi menor se comparada às das seis primeiras determinações (Figura 2.4 A), logo, os valores absolutos de CE_a se alteraram, o que pode ter levado à diminuição na estabilidade entre os padrões espaciais da CE_a nesse período, porém, sem afetar a significância das correlações, pois o padrão espacial foi mantido. Resultados similares foram relatados por Serrano et al. (2012), que encontraram uma relação linear significativa entre valores de CE_a obtidos em condições de solo úmido e seco, com coeficiente de correlação de 0,88.

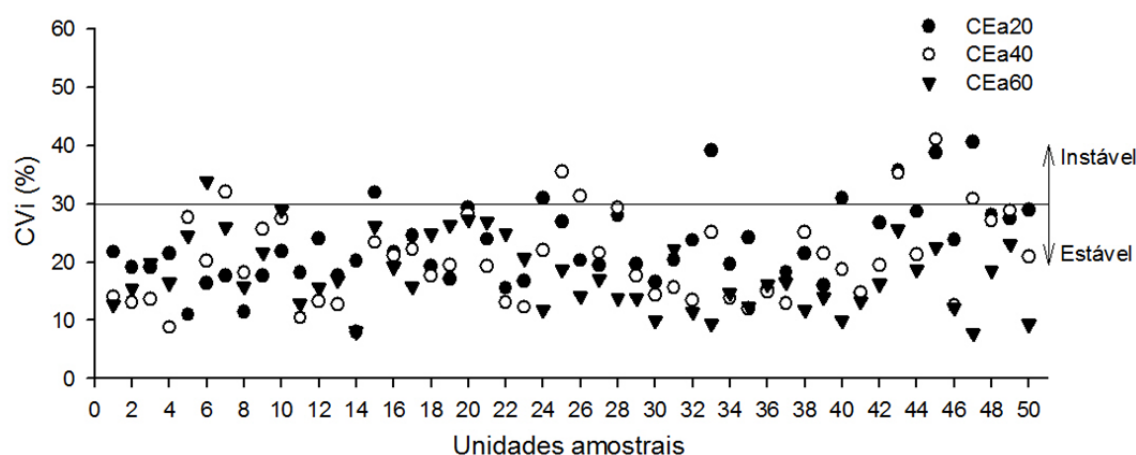
Com o decorrer das avaliações verificou-se que os coeficientes de correlação voltaram a ficar mais elevados em determinadas datas de coletas de dados e nem tanto em outras, mas sempre significativos (Tabela 2.5).

Comportamento semelhante foi observado para o Campo 2. Neste 92,81% das correlações ficaram acima de 0,80, também indicando elevada estabilidade temporal da CE_a no período, sendo que a menor das correlações, ocorreu para a CE_{a60} entre as avaliações de número 10 e 16, com um coeficiente de 0,71 (Tabela 2.6).

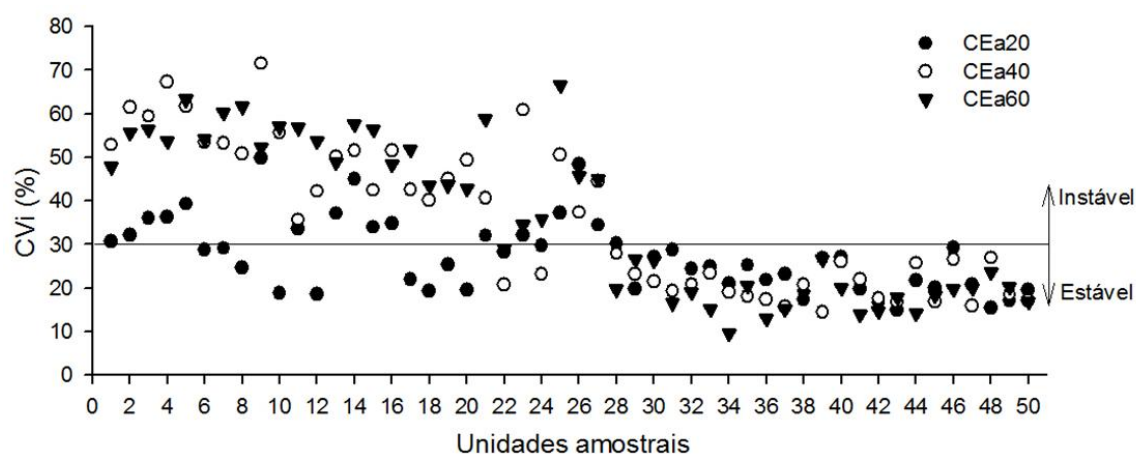
Para complementar a análise de estabilidade temporal da CE_a , elaborou-se gráficos de estabilidade temporal (Figura 2.7) feitos a partir de coeficientes de variação (CV), calculados para todas unidades amostrais usando os valores de CE_a determinados ao longo do tempo, conforme realizado por Li et al. (2007). Esses autores, assim como Blackmore (2000), utilizaram um método de avaliação para os valores de CVi (coeficiente de variação ao longo do tempo para a i-ésima unidade amostral) onde valores abaixo de 30% indicam estabilidade, enquanto valores acima de 30% indicam instabilidade temporal da variável analisada.

Observou-se para o Campo 1 que 90,67% dos dados, considerando as avaliações de CE_a nas três camadas de solo, tiveram CVi abaixo de 30%, indicando elevada estabilidade temporal da CE_a nas unidades amostrais para o período avaliado (Figura 2.7 A). Analisando-se o comportamento da CE_{a60}

individualmente, verificou-se que apenas em uma dentre as 50 unidades amostrais da área o CVi foi acima de 30%.



(A)



(B)

Figura 2.7. Gráficos de estabilidade temporal da CE_a elaborados a partir do CVi (coeficiente de variação ao longo do tempo para a i -ésima unidade amostral), para o Campo 1 (A) e Campo 2 (B).

No Campo 2, verificou-se instabilidade temporal ($CV_i > 30\%$) da CE_a nas unidades amostrais de 1 a 27, mais pronunciadamente para a CE_{a40} e CE_{a60} (Figura 2.7 B). Como relatado anteriormente, essa faixa apresentava solo mais arenoso se comparada ao restante da área, fato que levou às maiores oscilações no teor de água do solo entre avaliações, e consequentemente na amplitude entre valores de CE_a determinados, logo maiores foram os valores para o CVi. Porém, mesmo com tal variabilidade, essas unidades amostrais sempre apresentaram valores menores de CE_a que as demais (Tabela 2.4), não afetando portanto a estabilidade do padrão de distribuição espacial da CE_a .

quando analisadas todas as unidades amostrais conjuntamente, como observado na Figura 2.6. A partir da unidade amostral 28 o CVi permaneceu abaixo de 30% para a CE_a das três camadas de solo (Figura 2.7 B).

Li et al. (2007), estudando os padrões de CE_a em uma região costeira com solo salino de uma província na China, verificaram que regiões mais salinas exibiram estabilidade temporal ($0 < CVi < 30\%$), enquanto que regiões com baixa salinidade apresentaram padrões de CE_a instáveis temporalmente ($CVi > 30\%$). Esta metodologia tem sido amplamente utilizada para avaliação da estabilidade temporal não apenas de CE_a , mas também da produtividade de culturas (Blackmore, 2000), de atributos do solo como pH, P, K e Mg (Shi et al., 2002), de rendimentos de matéria seca e nitrogênio de gramíneas forrageiras (Xu et al., 2006) e da produtividade e concentração de fósforo em pastagens (Serrano et. al., 2011).

2.4. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados no presente trabalho mostraram que a condutividade elétrica aparente do solo foi predominantemente menor à medida que se aumentou a espessura da camada de solo avaliada, porém os padrões espaço-temporais da CE_a dessas camadas foram semelhantes.

A CE_a apresentou estabilidade temporal em seu padrão de distribuição espacial durante o período avaliado em ambos os campos, mesmo observando-se diferenças no teor de água do solo entre as datas de determinação da CE_a .

Portanto, a determinação da CE_a com o medidor portátil utilizado, apresentou uma repetibilidade dos padrões espaciais dessa variável ao longo do tempo, indicando ser esta uma alternativa interessante para mapeamento de campos agrícolas, a qual permite identificar regiões que apresentam características semelhantes.

2.5. LITERATURA CITADA

BLACKMORE, S. The interpretation of trends from multiple yield maps. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 26, n. 1, p. 37-51, 2000.

BUCHLEITER, G. W.; FARAHANI, H. J. Comparison of electrical conductivity measurements from two different sensing technologies. **ASAE**. n. 021056. St. Joseph, Mich.: ASAE, 2002.

CAMBOURIS, A. N.; NOLIN, M. C.; ZEBARTH, B. J.; LAVERDIÈRE, M. R. Soil management zones delineated by electrical conductivity to characterize spatial and temporal variations in potato yield and in soil properties. **American Journal of Potato Research**, v. 83, n. 5, p.381-395, 2006.

CORWIN, D. L.; HENDRICKX, J. M. H. Electrical Resistivity: Wenner Array. In: SILVA, J.S. **Methods of Soil Analysis** Part 4 Physical Methods, Madison, Wisconsin, USA : SSSA Book Series, n. 5, 2002. p. 1282-1287.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture, Amsterdam**, v. 46, p. 11-43, 2005.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: Theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 3, p. 455-471, 2003.

DABAS, M.; TABBAGH, J.; BOISGONTIER, D. Multi-depth continuous electrical profiling (MuCEP) for characterization of in-field variability. In: 3rd EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2001. **Proceedings...** Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, v. 2, p. 361-366, 2001.

DOOLITTLE, J. A.; INDORANTE, S. J.; POTTER, D. K.; HEFNER, S. G.; MCCAULEY, W. M. Comparing three geophysical tools for locating sand blows in alluvial soils of southeast Missouri. **J. Soil and Water Conservation**, v. 57, n. 3, p. 175-182, 2002

EIGENBERG, R. A., DORAN, J. W.; NIENABER, J. A.; FERGUSON, R. B.; WOODBURY, B. L. Electrical conductivity monitoring of soil condition and available N with animal manure and a cover crop. **Agriculture, Ecosystems, and Environment**, v.88, n. 2, p. 183-193, 2002.

FARAHANI, H. J.; BUCHLEITER, G. W. Temporal stability of soil electrical conductivity in irrigated sandy fields in Colorado. **ASAE**, v. 47, n. 1, p. 79-90, 2004.

FOLEGATTI, M. V. **Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso**. Piracicaba, 1996. 84p. Tese (Livro Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

FULTON, A.; SCHWANKL, L.; LYNN, K.; LAMPINEN, B.; EDSTROM, J.; PRICHARD, T. Using EM and VERIS technology to assess land suitability for orchard and vineyard development. **Irrigation Science**, v. 29, p. 497-512, 2011.

GHOLIZADEH, A.; AMIN, M. S. M.; ANUAR, A. R.; AIMRUN, W. Apparent electrical conductivity in correspondence to soil chemical properties and plant nutrients in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 42, n. 12, p. 1447-1461, 2011.

HALVORSON, A. D.; RHOADES, J. D. Assessing soil salinity and identifying potential saline-seep areas with field soil resistance measurements. **Soil Science Society of America Journal**, v. 38, n.4, p. 576-581, 1974.

HARTSOCK, N. J.; MUELLER, T. G.; THOMAS, G. W.; BARNHISEL, R. I.; WELLS, K. L.; SHEARER, S. A. Soil electrical conductivity variability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5. 2000. **Proceedings...** CD-ROM. P. C. Robert et al., eds. Madison, Wisc.: ASA-CSSA-SSSA, 2000.

HOAGLIN, D.C.; MOSTELLER, F.; TUKEY, J.W. **Análise exploratória de dados**: Técnicas robustas: um guia. Lisboa: Edições Salamandra, 1992. 446p.

ISLAM, M. M.; MEERSCHMAN, E.; SAEY, T.; DE SMEDT, P.; DE VIJVER, E. V. Comparing apparent electrical conductivity measurements on a paddy field under flooded and drained conditions. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 384-392, 2012.

KACHANOSKI, R. G.; DE JONG, E. Scale dependence and the temporal persistence of spatial patterns of soil water storage. **Water Resources Research**, v.24, n. 1, p.85-91, 1988.

KING, J. A.; DAMPNEY, P. M. R.; LARK, M.; MAYR, T. R.; BRADLEY, R. I. Sensing soil spatial variability by electro-magnetic induction (EMI): Its potential in precision agriculture. In: THIRD EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2001. **Proceedings...** Montpellier, France: Agro Montpellier, v.1, p. 419-424, 2001.

LI, Y.; SHI, Z.; LI, F. Delineation of site-specific management zones based on temporal and spatial variability of soil electrical conductivity. **Pedosphere**, v. 17, n. 2, p. 156-164, 2007.

LIBARDI, P. L.; MANFRON, P. A.; MORAES, S. O. TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n.1, p. 1-12, 1996.

LUND, E. D.; CHRISTY, C. D.; DRUMMOND, P. E. Practical applications of soil electrical conductivity mapping. In: 2nd EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., 1999. **Proceedings...** J. V. Stafford, ed. Oxford, U.K.: BIOS Scientific Publishers, p. 771-779, 1999.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G. A.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. M. Electrical conductivity mapping in relation to clay of a Ferralsol under no tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n. 6, p. 1023–1031, 2006.

MOLIN, J. P.; FAULIN, G. D. C. Spatial and temporal variability of soil electrical conductivity related to soil moisture. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 1, p. 1-5, 2013.

MORETI, D.; LIBARDI, P. L.; ROCHA, G. C.; LOVATTI, M. J.; AGUIAR, L. I. G. Avaliação espaço-temporal das armazenagens gravimétricas e volumétricas da água num Latossolo com citros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.31, n. 6, p.1281-1290, 2007.

NEHMDAHL, H.; GREVE, M. H. Using soil electrical conductivity measurements for delineating management zones on highly variable soils in Denmark. In: THIRD EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2001. **Proceedings...** Montpellier, France: Agro Montpellier, v.1, p. 461-464, 2001.

RHOADES, J. D., SHOUSE, P. J.; ALVES, W. J.; MANTEGHI N. A.; LESCH, S. M. Determining soil salinity from electrical conductivity using different models and methods. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, n. 1, p. 46-54, 1990.

ROBERT, P. C. Status and research needs. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2nd, 1999. **Proceedings...** J. V. Stafford, ed. Oxford, U.K.: BIOS Scientific Publishers, p.12-15, 1999.

SCHMIDHALTER, U.; ZINTEL, A.; NEUDECKER, E. Calibration of electromagnetic induction measurements to survey the spatial variability of soils. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3th. 2001. **Proceedings...** Montpellier, France: Agro Montpellier, v. 1, 479-484, 2001.

SERRANO, J. M.; PEÇA, J. O.; MARQUES DA SILVA, J. R.; SHAHIDIAN, S. Spatial and temporal stability of soil phosphate concentration and pasture dry matter yield. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 2, p. 214-232, 2011.

SERRANO, J. M.; SHAHIDIAN, S.; SILVA, J. R. M. Apparent electrical conductivity in dry versus wet soil conditions in a shallow soil. **Precision Agriculture**, v. 14, n. 1, p. 99-114, 2013.

SHI. Z. WANG, K.; BAILEY, J. S.; JORDAN, C.; HIGGINS, A. H. Temporal changes in the spatial distributions of some soil properties on a temperate grassland site. **Soil Use and Management**, v. 18, n. 4, p. 353-362, 2002.

SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; WIEBOLD, W. J.; BATCHELOR, W. D.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; CLAY, D. E.; PALM, H. L.; PIERCE, F. J.; SCHULER, R. T.; THELEN, K. D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 263-283, 2005.

SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R. S.; DRUMMOND, T. Soil conductivity sensing on claypan soils: Comparison of electromagnetic induction and direct methods. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1999. **Proceedings**.... P. C. Robert, R. H. Rust, and W. E. Larson, eds. Madison, Wisc.: ASA-CSSA-SSSA, p. 979-990, 1999.

TERRÓN, J. M.; MARQUES DA SILVA, J. R.; MORAL, F. J.; GARCÍA-FERRER, A. Soil apparent electrical conductivity and geographically weighted regression for mapping soil. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 5, p. 750-761, 2011.

VACHAUD, G., PASSERAT DE SILANS, A., BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, n. 4, p.822-827, 1985.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. **Journal of Soil Science**, v. 43, n. 1, p. 117-192, 1992.

XU, H.-W., WANG, K., BAILEY, J., JORDAN, C.; WITHERS, A. Temporal stability of sward dry matter and nitrogen yield patterns in a temperate grassland. **Pedosphere**, v. 16, p. 735–744, 2006.

CAPÍTULO 3

RELAÇÕES ENTRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE E ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO

3.1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição de destaque no agronegócio mundial. Esta posição foi conquistada com o auxílio de programas de pesquisa e desenvolvimento, melhoramento genético de plantas, mecanização, incorporação de novos métodos e técnicas de cultivo, como por exemplo, o sistema de plantio direto e mais recentemente, a agricultura de precisão (AP).

A AP vem de encontro à crescente necessidade de se produzir alimentos para suprir as demandas da população mundial, aliando rendimentos econômicos superiores e preservação do ambiente. Ela pode ser considerada como um conjunto de ferramentas aplicadas à agricultura que possibilita uma gestão diferenciada da atividade, contemplando a variabilidade espacial e temporal dos campos de cultivo, para incrementar a produção, melhorar o retorno econômico e reduzir os impactos ambientais.

Dentre as ferramentas com potencial de uso na AP, a condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) tem sido alvo de muitos pesquisadores por apresentar correlação com diferentes atributos químicos e físicos do solo, e também com a produtividade das culturas (Sudduth et al., 2005; Morari et al., 2009; Terrón et al., 2011; Alcântara et al., 2012; Farooque et al., 2012; Gholizadeh et al., 2012; Valente et al., 2012; Molin; Faulin, 2013). Este fato permite que regiões com características semelhantes sejam identificadas de forma mais rápida e a um menor custo, abrindo a oportunidade para manejá-las de maneira diferenciada.

Entretanto, a CE_a sofre influência simultânea de um grande número de elementos, o que dificulta a interpretação dos resultados. Ela pode ser influenciada por fatores do solo, estáticos ou dinâmicos, como a salinidade, a textura, a mineralogia, o teor de água, a densidade, a matéria orgânica e a temperatura (Johnson et al., 2003; Friedman, 2005; Ekwue; Bartholomew,

2010; Moral et al., 2010). Corwin e Lesch (2003) relatam que os atributos de maior influência devem ser identificados em cada campo de produção.

Portanto, estudar as relações entre a variabilidade espaço-temporal da CE_a e os atributos físicos e químicos do solo, permite constatar se tal ferramenta fornece informações relevantes para o manejo dos campos de produção, para então ser incorporada ao conjunto de metodologias utilizadas pela agricultura de precisão, auxiliando no gerenciamento da atividade agrícola.

Nesse sentido, objetivou-se com o trabalho averiguar as relações existentes entre a condutividade elétrica aparente do solo obtida em diferentes datas e atributos físicos e químicos do solo.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Caracterização das áreas para estudo da condutividade elétrica aparente do solo

O trabalho foi realizado em dois campos que pertencem a Universidade Federal de Viçosa. O primeiro campo (Campo 1), com 10.703,72 m², situa-se na área experimental Diogo Alves de Mello, no Campus da UFV no município de Viçosa-MG, onde o solo apresenta textura franco argilo arenosa. O segundo campo (Campo 2), com 14.078,68 m², situa-se no Centro de Pesquisa e Melhoramento da Cana-de-Açúcar – CECA, na Rodovia Ponte Nova – Oratórios, km 12, município de Ponte Nova - MG, com solo de textura franco arenosa.

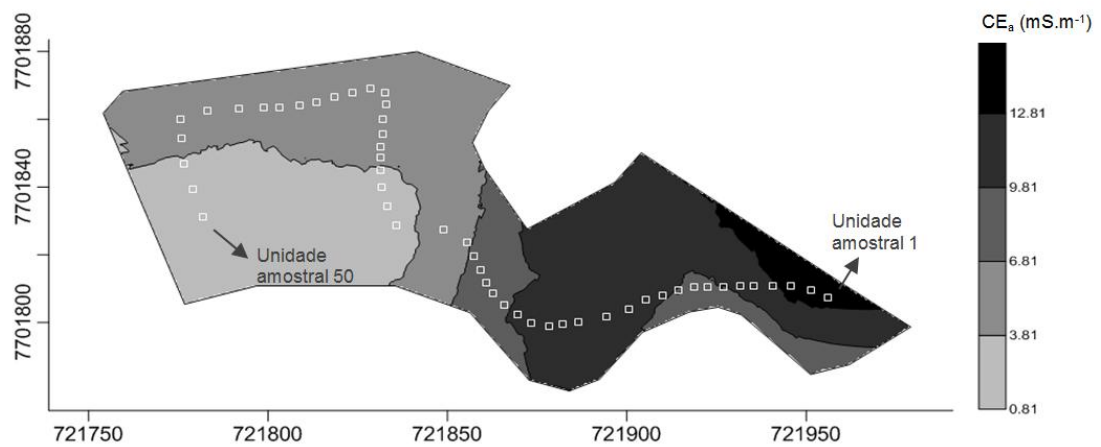
Em uma análise preliminar, para se realizar a caracterização do padrão de distribuição espacial da CE_a , foram determinados 203 e 163 pontos de CE_a no Campo 1 e Campo 2, respectivamente. Para ambos os campos foi observado o número mínimo de 150 pontos de amostragem visando o bom ajuste dos dados para análises geoestatísticas (Webster; Oliver, 1992). As determinações da CE_a foram obtidas usando um aparelho portátil marca Landviser®, modelo LandMapper® ERM-02 que utiliza o princípio da resistividade elétrica (RE), medida por meio do contato de quatro eletrodos com o solo. Os eletrodos foram configurados baseados na Matriz de Wenner, conforme descrito por Corwin e Hedrickx (2002) e Corwin e Lesch (2003), onde

o espaçamento entre eles representa a camada de solo que se deseja determinar a CE_a , sendo neste caso de 20 cm.

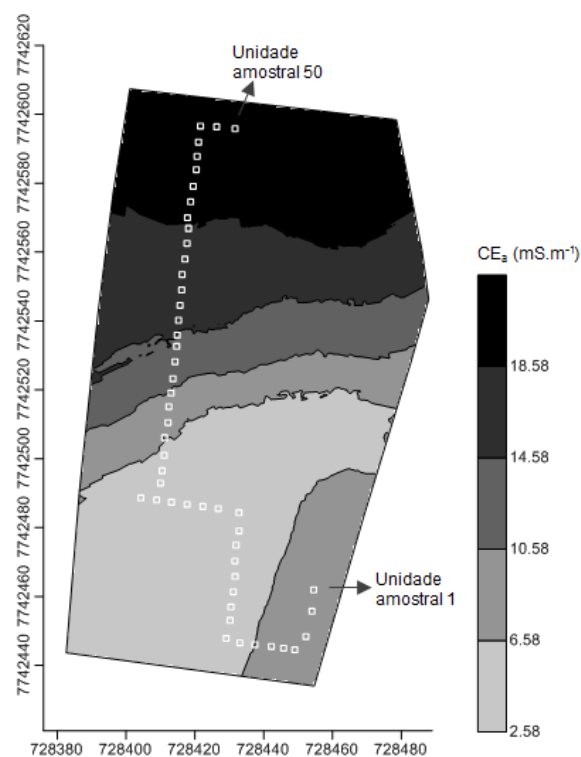
Os valores de CE_a foram analisados com o intuito de estudar a distribuição dos mesmos, a partir das estatísticas descritivas (média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose). Posteriormente, a dependência espacial foi analisada por meio da geoestatística com o auxílio do programa de computador GS+® versão 7.0. Nesta análise, inicialmente foi selecionado um modelo de semivariograma, o qual foi utilizado na realização da krigagem ordinária para a obtenção de um mapa temático dos valores de CE_a para cada um dos campos (Figura 3.1). Os dados referentes às análises geoestatísticas são apresentados no Apêndice A.

Obtidos os mapas temáticos de distribuição espacial da CE_a de cada área, foi selecionada uma linha de caminamento contemplando uma maior variação de valores para locação de 50 pontos, demarcados por estacas, que foram as unidades amostrais do estudo (Figura 3.1). Cada unidade representou uma área de 2 x 2 m onde foram então realizadas as determinações da CE_a em diferentes datas.

A delimitação das áreas experimentais e a localização das unidades amostrais no campo foi realizada com o auxílio de um GPS Topográfico (L1), marca Magellan, modelo Promark3. A correção diferencial pós-processada foi feita utilizando a base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), localizada no município de Viçosa-MG. O *datum* utilizado foi o SIRGAS 2000, e a correção realizada no programa computacional GNSS Solutions® fornecido pelo fabricante do aparelho GPS.



(A)



(B)

Figura 3.1. Mapas temáticos de distribuição espacial da CE_a , determinada na camada de 0-20cm de profundidade do solo, com respectivas unidades amostrais, em branco, no Campo 1 (A) e Campo 2 (B).

3.2.2. Determinação da condutividade elétrica aparente do solo nas unidades amostrais

Para o estudo das relações entre CE_a e atributos do solo nas unidades amostrais foram confeccionadas três hastes, sendo a estrutura de suporte dos

eletrodos construída com tubos de PVC, parafusos de aço como eletrodos e fios flexíveis em cores diferentes para os eletrodos de corrente e aqueles usados na determinação da diferença de potencial. Cada haste foi configurada com diferentes espaçamentos entre os eletrodos para determinar a CE_a nas camadas de 0 a 20 cm (CE_{a20}), 0 a 40 cm (CE_{a40}) e 0 a 60 cm (CE_{a60}) de profundidade do solo (Figura 3.2), no intuito de verificar similaridades entre os dados obtidos em diferentes profundidades.

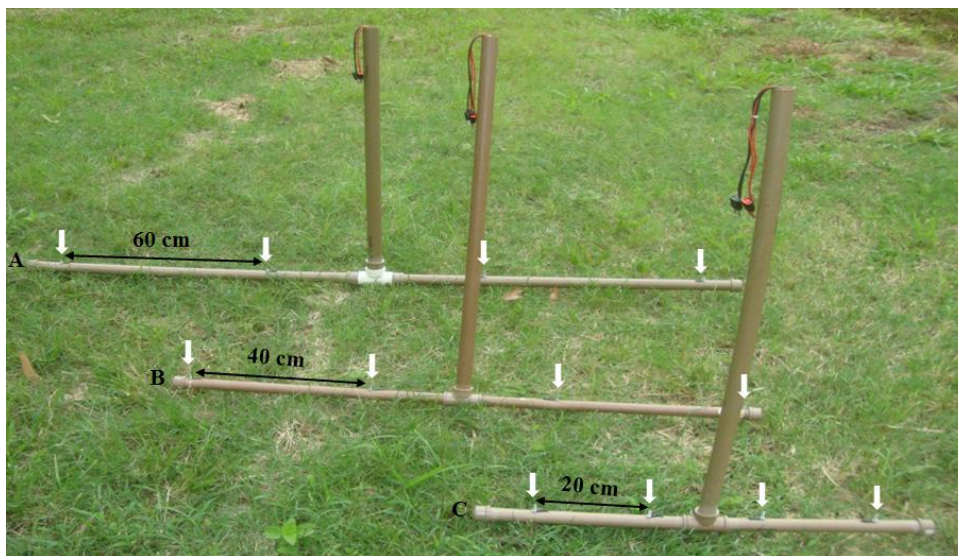


Figura 3.2. Hastes utilizadas na determinação da CE_a nas camadas de solo de 0 a 60 cm (CE_{a60}) (A), 0 a 40 cm (CE_{a40}) (B) e 0 a 20 cm (CE_{a20}) (C) de profundidade. Setas brancas indicam a posição dos eletrodos em contato com o solo.

3.2.3. Determinação do teor de água do solo

O teor de água do solo foi determinado pelo método termogravimétrico. A cada determinação de CE_a foram coletadas 25 amostras simples de solo, de estrutura deformada, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, nas unidades amostrais de número par ao longo da linha de caminhada. As amostras foram acondicionadas de forma a evitar a perda de água até serem encaminhadas ao laboratório onde foram pesadas e levadas a estufa a 105° C por vinte e quatro horas para determinação da massa do solo seco.

3.2.4. Análise dos atributos físicos e químicos do solo

Em cada uma das 50 unidades amostrais georeferenciadas nas diferentes áreas, foi obtida uma amostra de solo composta por quatro amostras simples, representativas da camada de 0,00 - 0,20 m de profundidade. As amostras simples foram coletadas com trado holandês em um raio de até 2,0 m da unidade amostral georeferenciada e, após homogeneização, retirou-se aproximadamente 300 g de solo que foram colocados em embalagem plástica identificada para análises posteriores.

O atributo físico avaliado foi a textura, sendo determinadas na análise granulométrica as frações areia, silte e argila através do método da pipeta (Embrapa, 1997).

Para caracterização química do solo, foram determinados os valores de acidez ativa em água (pH), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), alumínio (Al^{3+}), fósforo (P), fósforo remanescente (P-rem), matéria orgânica (MO), soma de bases (SB), capacidade efetiva de troca de cátions (t) capacidade de troca de cátions a pH 7 (T), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V). Para determinação do pH utilizou-se água na relação solo/solução 1:2,5. Os atributos químicos P e K^+ foram determinados utilizando extrator Mehlich1 e os valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} obtidos por meio do extrator KCl (1 mol L^{-1}). Na determinação da MO utilizou-se o método de Walkley-Black ($\text{C orgânico} \times 1,724$). Utilizando uma solução de CaCl_2 (10 mmol L^{-1}), contendo 60 mg L^{-1} de P, foi determinado o P-rem. A acidez potencial foi determinada utilizando extrator Acetato de Cálcio ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pH 7) e os valores de T, SB, m e V calculados utilizando equações clássicas segundo Embrapa (1997).

3.2.5. Análise da variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica aparente do solo e sua relação com atributos do solo

Foram realizadas determinações da CE_a em 20 datas diferentes, compreendidas entre o período de 19/10/2012 a 19/12/2012 (Tabela 3.1), com cada uma das três hastes nas 50 unidades amostrais demarcadas, ou seja, em cada área foram obtidos 1000 valores de CE_a para cada haste, perfazendo um total de 6000 determinações de CE_a . Tal procedimento possibilitou a obtenção

de leituras de CE_a em diferentes condições de teor de água do solo ao longo do período.

Tabela 3.1. Identificação e datas de determinação da CE_a.

Identificação das datas	Datas de determinação da CE _a	
	Campo 1	Campo 2
1	19/10/2012	06/11/2012
2	20/10/2012	08/11/2012
3	21/10/2012	09/11/2012
4	23/10/2012	12/11/2012
5	24/10/2012	13/11/2012
6	25/10/2012	20/11/2012
7	28/10/2012	21/11/2012
8	29/10/2012	22/11/2012
9	30/10/2012	23/11/2012
10	07/11/2012	24/11/2012
11	12/11/2012	29/11/2012
12	19/11/2012	30/11/2012
13	20/11/2012	02/12/2012
14	22/11/2012	03/12/2012
15	23/11/2012	06/12/2012
16	30/11/2012	07/12/2012
17	01/12/2012	09/12/2012
18	02/12/2012	13/12/2012
19	04/12/2012	18/12/2012
20	08/12/2012	19/12/2012

As 50 determinações de CE_a com cada haste, em cada uma das datas de coleta de dados, foram realizadas dentro de um período máximo de 40 minutos, buscando-se assim minimizar os efeitos da variação da temperatura e do teor de água do solo nos valores de CE_a em cada etapa de levantamento de dados.

As análises descritiva e exploratória foram feitas com o objetivo de observar o comportamento geral dos dados obtidos e auxiliar no planejamento de outras análises estatísticas. Considerando que os parâmetros que definem as principais características de um conjunto de dados também estão sujeitas a perturbações por valores atípicos, Libardi et al. (1996) sugerem o uso de técnicas complementares para a verificação da adequação das medidas por meio da identificação de valores candidatos a “outliers”. Para a identificação de tais valores adotou-se o critério sugerido por Hoaglin et al. (1992), para o cálculo dos limites inferior e superior, conforme Equações 3.1 e 3.2, sendo o

valor em análise considerado como possível dado discrepante quando exceder alguns dos limites.

$$LS = Qs + 1,5 \times Ai \quad (3.1)$$

$$LI = Qi - 1,5 \times Ai \quad (3.2)$$

Em que,

- LS* - Limite superior;
- LI* - Limite inferior;
- Qs* - Quartil superior;
- Qi* - Quartil inferior;
- Ai* - Amplitude interquantílica.

A decisão final sobre excluir ou não qualquer observação foi tomada após observar se a mesma assumia um comportamento diferente do apresentado pela maioria dos dados, realizando comparações com os valores vizinhos e verificando se ocorria alguma evidente descontinuidade no espaço entre esses (Hoaglin et al. 1992; Libardi et al., 1996). Após a eliminação dos valores discrepantes, as seguintes medidas foram obtidas: média, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação.

As relações entre a CE_a e os atributos do solo foram determinadas através do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson, que mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas, sendo a significância testada pelo Teste t a 5% de probabilidade.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas 50 unidades amostrais em cada área foram realizadas coletas de solo para determinação de atributos físicos e químicos. O solo foi coletado logo após o início das coletas de informações de CE_a em cada campo. O resumo dos resultados da estatística descritiva para atributos do solo pode ser visualizado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Resumo estatístico para atributos do solo do Campo 1 e 2.

Variável	Unidade	Campo 1					Campo 2				
		Média	Mín	Máx	s ¹	CV ²	Média	Mín	Máx	s	CV
pH	-	5,67	4,80	6,20	0,34	5,98	5,68	4,80	6,30	0,41	7,28
P	mg dm ⁻³	3,71	1,20	14,80	2,76	74,52	15,40	5,50	39,70	9,10	59,09
K	mg dm ⁻³	73,62	17,00	189,00	40,46	54,96	52,46	22,00	100,00	21,93	41,81
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	2,08	0,60	3,50	0,69	33,10	1,71	0,70	3,00	0,58	33,92
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,56	0,10	1,00	0,23	40,65	0,59	0,10	1,20	0,38	63,30
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,07	0,00	0,60	0,15	211,92	0,04	0,00	0,30	0,07	182,11
H + Al	cmol _c dm ⁻³	3,68	2,64	5,61	0,82	22,20	2,65	0,17	4,46	0,96	36,39
SB	cmol _c dm ⁻³	2,83	0,86	4,86	0,95	33,57	2,44	0,87	4,15	0,97	39,70
t	cmol _c dm ⁻³	2,90	1,46	4,86	0,85	29,38	2,48	0,97	4,15	0,96	38,83
T	cmol _c dm ⁻³	6,51	5,54	8,00	0,54	8,27	5,09	2,09	8,28	1,76	34,59
V	%	43,14	13,00	64,00	12,83	29,74	47,88	29,00	93,00	10,73	22,40
m	%	3,98	0,00	41,00	9,41	236,44	2,02	0,00	15,00	3,69	182,92
MO	dag kg ⁻¹	3,30	2,40	4,50	0,45	13,66	1,99	1,10	3,00	0,48	24,00
P-rem	mg L ⁻¹	31,40	22,00	36,70	3,57	11,35	38,30	27,30	48,10	5,64	14,73
Areia	%	53,84	49,00	66,00	3,72	6,90	65,76	38,00	82,00	15,93	24,22
Silte	%	14,44	6,00	22,00	4,03	27,92	13,08	3,00	30,00	8,95	68,41
Argila	%	31,72	16,00	41,00	5,05	15,93	21,16	11,00	34,00	7,68	36,29
Teor Água	%	23,84	18,52	29,43	2,87	12,03	21,11	8,44	43,57	12,32	58,35
Altitude	m	671,21	665,42	677,57	3,52	0,52	452,93	450,47	455,26	1,91	0,42

¹s – desvio padrão; ²CV – coeficiente de variação; pH - potencial hidrogeniônico (1:2,5); P – fósforo; K – potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Al – Alumínio; H + Al – Acidez potencial; SB – Soma de bases; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica total; V – Saturação por bases; m – Saturação por alumínio; MO – Matéria orgânica; P-rem – Fósforo remanescente. P – K: Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al – Extrator: KCl 1 mol/L; H+Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L pH 7,0; Teor Água: média do teor de água do solo (média das 25 unidades amostradas em 20 datas); Altitude – altitude elipsoidal medida com GPS topográfico.

Ambos os campos se caracterizaram por valores de pH favoráveis ao desenvolvimento das plantas, cujos valores de CV foram menores que 12%, o qual de acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980) é baixo. Segundo esses autores, esse parâmetro pode ser médio se $12\% < CV < 60\%$ e alto se $CV > 60\%$. No Campo 1 destacou-se a elevada variabilidade na concentração de P, refletida em alto CV (74,52%) e baixa variação de T, P-rem, areia e altitude, com CV de 8,27, 11,35, 6,90 e 0,52%, respectivamente. Com exceção do alumínio e saturação por alumínio, as demais variáveis do Campo 1 tiveram CV classificados como médio (Tabela 3.2).

No Campo 2, valores elevados de CV foram observados para o magnésio, 63,30% e para silte, 68,41%, enquanto apenas a variável altitude, além do pH, teve baixo CV. Dentre as 19 variáveis avaliadas, 13 apresentaram

maiores valores de CV quando comparadas ao Campo 1, com destaque para os atributos físicos (Tabela 3.2).

O teor de água do solo foi determinado em 25 unidades amostrais ao longo da linha de caminhamento nas 20 datas em que a CE_a foi avaliada nas duas áreas. A média do teor de água do solo por data de avaliação oscilou entre 19,81 e 26,07% no Campo 1 e entre 15,89 e 24,74% no Campo 2 (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Média do teor de água do solo em cada data de avaliação nos Campos 1 e 2.

Campos	Média do teor de água do solo (%)									
	1 ¹	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Campo 1	25,43	25,04	24,83	25,16	23,88	22,85	21,34	21,14	20,38	24,29
Campo 2	21,54	21,05	22,29	24,27	23,61	22,70	23,56	21,87	20,98	15,89
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Campo 1	26,07	25,58	24,72	25,03	23,29	25,98	25,29	24,43	22,28	19,81
Campo 2	24,74	23,18	21,83	20,59	18,63	17,88	17,89	22,71	18,61	18,40

¹Identificação das datas de coleta de dados conforme Tabela 3.1.

Quando observado o teor de água do solo por unidade amostral, verificou-se para o Campo 1 uma variabilidade semelhante entre elas, com valores médios entre as unidades amostrais de número 2 a 30 um pouco superiores às demais, indicando duas regiões com comportamentos ligeiramente distintos com relação a essa variável (Figura 3.3 A).

O Campo 2 apresentou duas regiões com comportamentos bem distintos com relação ao teor de água do solo. A primeira região, compreendida entre as unidades amostrais de número 2 e 28 apresentou baixa variabilidade, com valores bem inferiores se comparados a região das unidades 30 a 50 durante todo o período avaliado (Figura 3.3 B). Tal variação no teor de água do solo esteve diretamente relacionada à variação textural observada no campo e confirmada pelas análises físicas, sendo que todas as unidades amostrais até a de número 28 apresentaram maiores porcentagens de areia (acima de 70%) e menores de argila que as demais. Segundo Libardi (2005), as propriedades da argila definem sua maior capacidade de retenção de água, logo a variação do teor de água em um campo está relacionada com a variabilidade espacial do teor de argila.

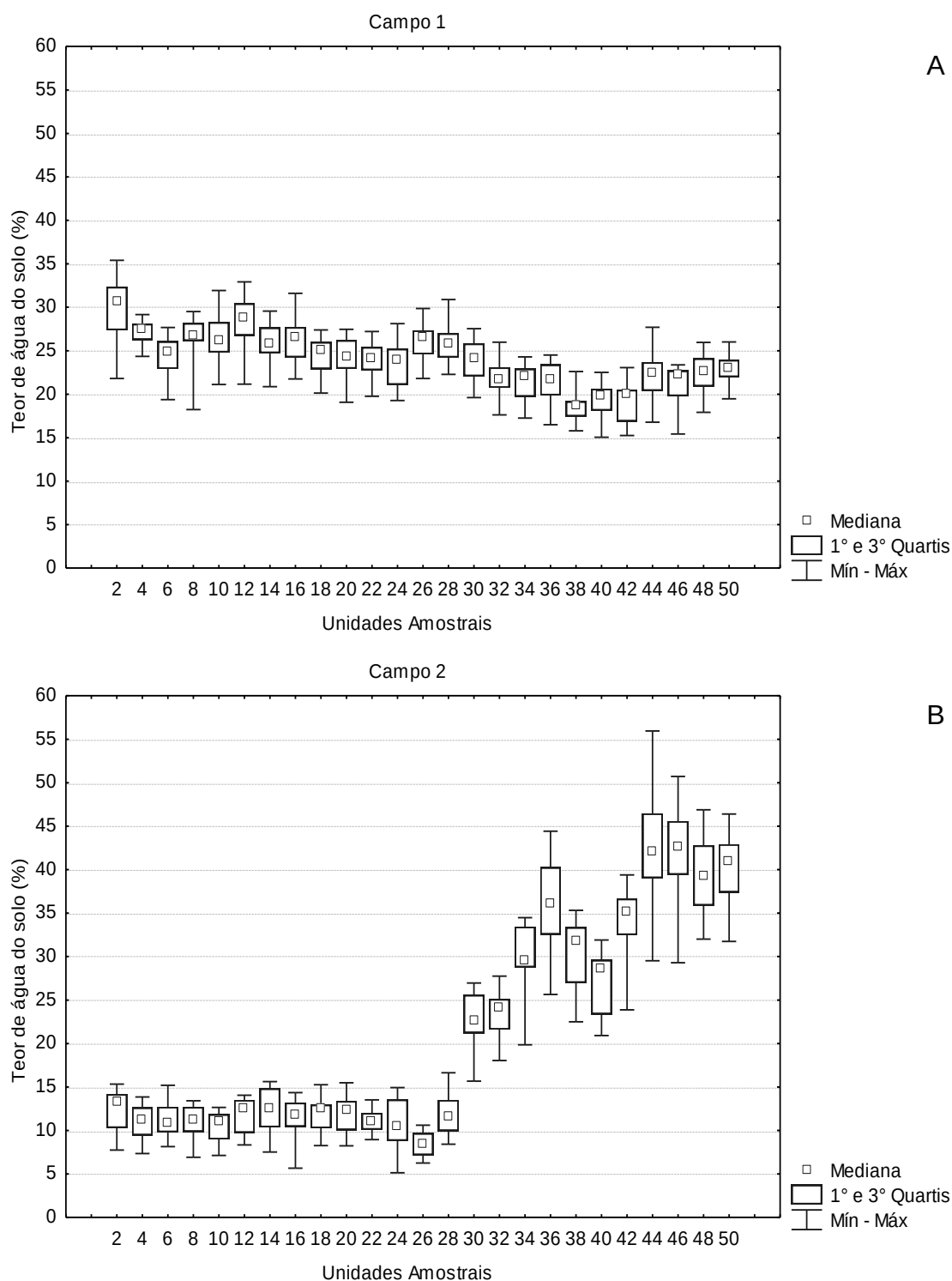


Figura 3.3. Teor de água do solo em cada unidade amostral, no Campo 1 (A) e Campo 2 (B). Mín = Mínimo; Máx = Máximo.

Nas 20 datas de coleta de dados foram realizadas determinações de CE_a nas 50 unidades amostrais demarcadas nas duas áreas. Foram utilizadas três hastes distintas em cada data para avaliar a CE_a nas camadas 0 – 20 cm, 0 – 40 cm e 0 – 60 cm de profundidade do solo. Os valores médios de CE_a

determinados para cada camada de solo nas 50 unidades amostrais nas duas áreas podem ser visualizados na Figura 3.4.

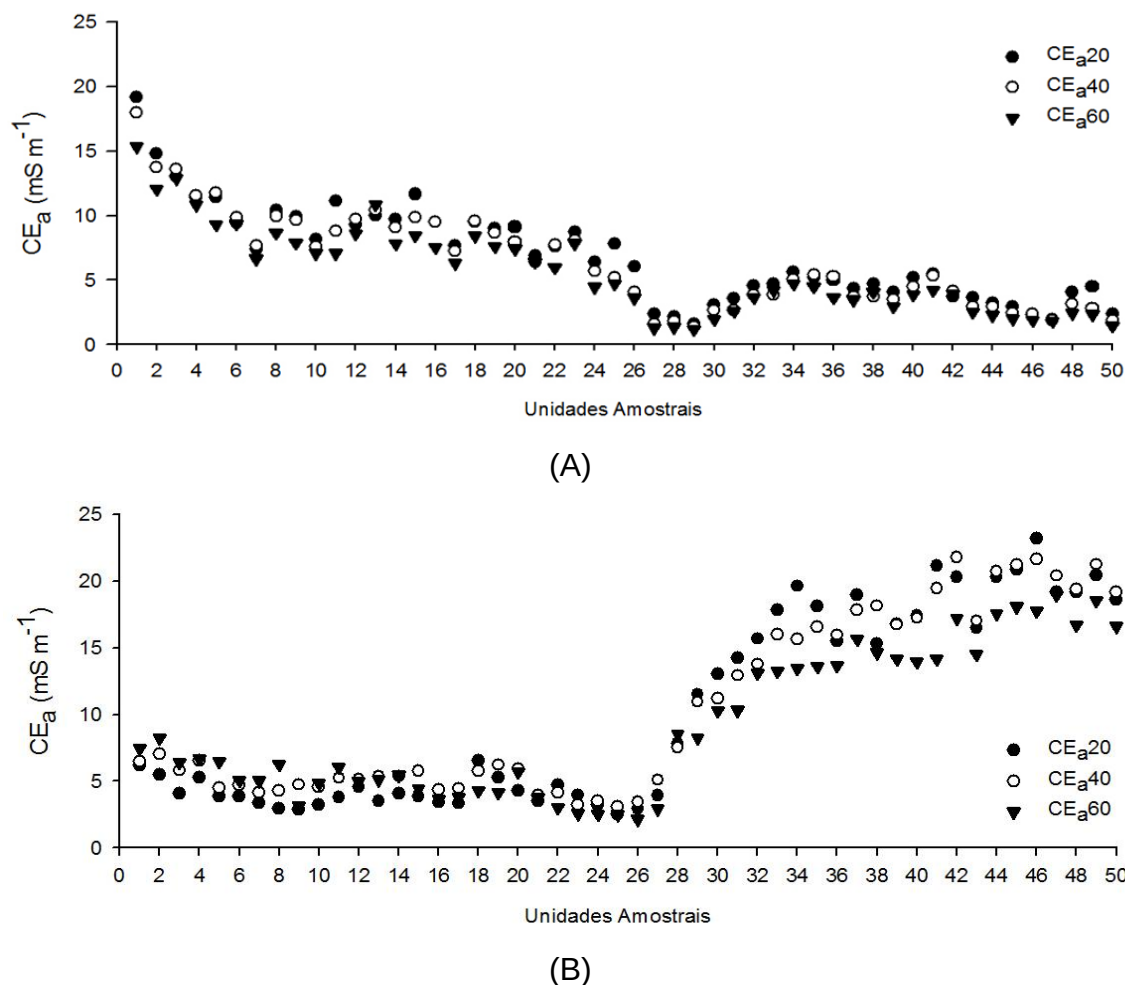


Figura 3.4. Valores médios de CE_a de cada unidade amostral avaliada em 20 datas diferentes no Campo 1 (A) e Campo 2 (B) nas camadas de 0 – 20 cm (CE_{a20}), 0 – 40 cm (CE_{a40}) e 0 – 60 cm (CE_{a60}) de profundidade do solo.

Os valores médios de CE_a determinados em diferentes camadas de solo (CE_{a20} , CE_{a40} e CE_{a60}) apresentaram comportamentos similares dentro de cada campo, com baixa diferença de valores entre eles (Figura 3.4).

O Campo 1 apresentou valores médios de CE_a entre 0,5 e 20 $mS\ m^{-1}$ (Figura 3.4 A) e o Campo 2 entre 1,0 e 24 $mS\ m^{-1}$ (Figura 3.4 B). Os valores são semelhantes aos encontrados por outros pesquisadores em solos não salinos. Faulin e Molin (2006) encontraram valores de CE_a variando entre 0,60 e 16,6 $mS\ m^{-1}$, enquanto Aimrun et al. (2007) relataram valores médios de CE_a iguais a 5,67 $mS\ m^{-1}$. Valente et al. (2012) estudando também as relações entre CE_a e atributos do solo de uma região montanhosa em Minas Gerais,

obtiveram valores médios de CE_{a20} e CE_{a40} de 1,80 e 1,22 $mS\ m^{-1}$, respectivamente. Avaliando as relações entre CE_a e produtividade de culturas sob plantio direto, Ancântara et al. (2012) encontraram valores médios de CE_{a20} e CE_{a40} iguais a 5,86 $mS\ m^{-1}$ e 4,32 $mS\ m^{-1}$, respectivamente.

Como a CE_a é diretamente influenciada pela quantidade de sais dissolvidos na solução do solo, é esperado que os valores aqui encontrados quando comparados com aqueles de solos salinos e de regiões de clima temperado sejam menores. O material de origem envolvido nos processos de formação do solo e as condições climáticas a que esteve exposto com os passar dos anos reflete o tipo, a quantidade e a qualidade da argila presente, e consequentemente a capacidade de troca de cátions, a quantidade de íons disponibilizados para a solução do solo e os valores da CE_a .

Comparando-se o comportamento entre valores médios de CE_a e teor de água do solo em cada campo pelas Figuras 3.4 e 3.3, respectivamente, observou-se que a CE_a média foi mais elevada naquelas unidades amostrais onde o teor de água do solo também foi maior. Para averiguar estatisticamente tal relacionamento, foram realizadas análises de correlação linear entre os valores obtidos para a CE_a nas diferentes camadas de solo e o teor de água em cada data de avaliação nas duas áreas (Tabela 3.4).

No Campo 1, as correlações entre CE_a e teor de água do solo não foram significativas apenas para a CE_{a60} na 7ª avaliação e a CE_{a40} na 20ª avaliação (Tabela 3.4). As demais correlações, assim como a totalidade no Campo 2, foram significativas (Tabela 3.4), indicando a estreita relação entre os dois atributos, sendo a CE_a positivamente afetada pelo teor de água do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Ekwue e Bartholomew (2010) ao avaliar as relações entre a CE_a e o teor de água, em condições de campo e laboratório, para três tipos de solo.

Este comportamento é comumente observado porque o solo pode conduzir corrente elétrica através da água intersticial que contém eletrólitos dissolvidos, portanto, quando o teor de água do solo é mais elevado, maior a quantidade de eletrólitos dissolvidos e maior a sua movimentação por entre as partículas do solo, refletindo assim em maiores valores de CE_a .

Tabela 3.4. Coeficientes de correlação de Pearson entre CE_a e teor de água das 20 avaliações nas três camadas de solo no Campos 1 e 2.

Avaliações	Campo 1			Campo 2		
	CE_{a20}	CE_{a40}	CE_{a60}	CE_{a20}	CE_{a40}	CE_{a60}
1	0,62	0,58	0,59	0,90	0,90	0,90
2	0,72	0,77	0,72	0,91	0,90	0,90
3	0,71	0,66	0,57	0,93	0,92	0,91
4	0,58	0,55	0,55	0,91	0,90	0,85
5	0,73	0,73	0,69	0,91	0,90	0,85
6	0,63	0,51	0,57	0,91	0,92	0,93
7	0,47	0,46	0,40 ^{ns}	0,90	0,95	0,95
8	0,53	0,55	0,47	0,96	0,93	0,94
9	0,63	0,58	0,45	0,95	0,87	0,83
10	0,56	0,64	0,56	0,87	0,93	0,83
11	0,58	0,59	0,58	0,95	0,97	0,94
12	0,66	0,63	0,52	0,94	0,93	0,88
13	0,66	0,62	0,52	0,91	0,94	0,82
14	0,62	0,66	0,60	0,90	0,91	0,89
15	0,53	0,50	0,49	0,95	0,93	0,97
16	0,56	0,51	0,53	0,92	0,84	0,86
17	0,53	0,53	0,51	0,81	0,76	0,77
18	0,56	0,62	0,51	0,95	0,97	0,96
19	0,56	0,62	0,50	0,95	0,88	0,92
20	0,46	0,38 ^{ns}	0,45	0,94	0,88	0,98

^{ns} – não significativo ($p > 0,05$). Demais valores significativos ($p \leq 0,05$).

As relações entre CE_a e teor de água do solo tem sido estudadas por diversos pesquisadores. Brevik et al. (2006) constataram que o teor de água do solo tem uma forte influência sobre a CE_a , fato que também já havia sido verificado por Rhoades (1996). Comparando resultados de CE_a de um solo em diferentes condições de umidade, Islam et al. (2012) verificaram que quando o solo estava inundado, o valor médio de CE_a foi $27,5 \text{ mS m}^{-1}$, já quando drenado o valor médio de CE_a foi $23,6 \text{ mS m}^{-1}$. No mesmo sentido, Serrano et al. (2012) verificaram que os valores de CE_a amostrados quando o solo apresentou elevado teor de água foram 10 a 20% superiores do que aqueles observados quando o solo estava mais seco.

Observou-se também que a relação entre CE_a e teor de água do solo foi mais forte no Campo 2, indicado pelos valores dos coeficientes de correlação mais elevados (Tabela 3.4). Tal comportamento se justifica devido a maior variabilidade textural do solo nesta área, conforme já comentado.

A análise de correlação entre a CE_a determinada em diferentes camadas de solo e os atributos do solo apresentou comportamento semelhante praticamente em todas as datas avaliadas. Deste modo optou-se por apresentar apenas os resultados da correlação entre os valores médios de CE_a de cada unidade amostral e os atributos do solo (Tabela 3.5). As tabelas com as correlações data a data podem ser visualizadas no Apêndice B.

Tabela 3.5. Coeficientes de correlação de Pearson entre as médias de CE_{a20} , CE_{a40} e CE_{a60} de 20 datas de avaliação e atributos do solo, para o Campo 1 e Campo 2.

Variáveis	Campo 1			Campo 2		
	CE_{a20}	CE_{a40}	CE_{a60}	CE_{a20}	CE_{a40}	CE_{a60}
pH	0,57	0,52	0,53	-0,22 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
P	0,65	0,63	0,64	-0,71	-0,66	-0,60
K	0,69	0,67	0,68	0,68	0,71	0,75
Ca^{2+}	0,62	0,58	0,59	0,78	0,78	0,76
Mg^{2+}	0,49	0,44	0,44	0,94	0,95	0,93
Al^{3+}	-0,42	-0,40	-0,39	0,13 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,11 ^{ns}
H + Al	-0,54	-0,50	-0,51	0,80	0,81	0,82
SB	0,64	0,60	0,61	0,87	0,88	0,86
t	0,64	0,60	0,60	0,89	0,89	0,88
T	0,32	0,29	0,30	0,92	0,93	0,92
V	0,61	0,57	0,57	0,09 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,05 ^{ns}
m	-0,40	-0,37	-0,36	-0,09 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
MO	0,16 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,88	0,88	0,87
P-rem	0,68	0,66	0,65	-0,94	-0,95	-0,93
Areia	-0,21 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,96	-0,94	-0,89
Silte	0,54	0,55	0,58	0,92	0,92	0,87
Argila	-0,27 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,33 ^{ns}	0,91	0,88	0,82
Altitude	0,69	0,69	0,68	-0,93	-0,91	-0,86

^{ns} – não significativo ($p > 0,05$). Demais valores significativos ($p \leq 0,05$). pH - potencial hidrogeniônico (1:2,5); P – fósforo; K – potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Al – Alumínio; H + Al – Acidez potencial; SB – Soma de bases; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica total; V – Saturação por bases (%); m – Saturação por alumínio (%); MO – Matéria orgânica; P-rem – Fósforo remanescente. P – K: Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al – Extrator: KCl 1 mol/L; H+Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L pH 7,0; Altitude - altitude elipsoidal medida com GPS topográfico.

De maneira geral observou-se grande número de correlações significativas ($p \leq 0,05$) entre CE_a e atributos do solo, com grande similaridade entre os dados obtidos para diferentes camadas de solo (Tabela 3.5). No Campo 1 não houve correlação entre a CE_a e matéria orgânica, nem com os atributos físicos areia e argila. A extensão da variação destes atributos pode

não ter sido suficientemente elevada para ser refletida nos valores da CE_a . O maior coeficiente encontrado foi $r = 0,69$, entre CE_{a20} e K, valor também observado entre altitude e as CE_{a20} e CE_{a40} (Tabela 3.5).

No Campo 2, as correlações não foram significativas apenas entre CE_a e pH, Al, V e m. Observando os atributos físicos do solo, diferentemente do Campo 1, a CE_a teve correlação significativa positiva com a argila ($r = 0,91$ para CE_{a20}) e negativa com a areia ($r = -0,96$ para CE_{a20}) (Tabela 3.5). Os resultados encontrados concordam com os verificados por Gholizadeh et al. (2012), onde as correlações foram significativas entre CE_a e argila com $r = 0,469$ e entre CE_a e areia com $r = -0,437$ ($p < 0,01$). Este comportamento verificado está de acordo com Souza et al. (2004), os quais relatam que as frações do solo geralmente apresentam relação inversa, principalmente de distribuição, pois como são medidas em porcentagem, quando há acréscimo de uma ocorre redução de outra.

Outros autores também obtiveram correlação significativa entre a condutividade elétrica aparente do solo e seus atributos físicos (Islam et al., 2012; Rodríguez-Pérez et al., 2011; Molin; Castro, 2008; Lesch et al., 2005), assim como verificado no presente trabalho no Campo 2 (Tabela 3.5). Porém, em outras pesquisas (Valente et al., 2012; Serrano et al., 2013; Morari et al., 2009; Aimrun et al., 2007), tal correlação foi inexistente ou muito baixa, como ocorrido no Campo 1 deste estudo (Tabela 3.5).

Tratando ainda das relações entre CE_a , teor de água e atributos do solo, Valente et al. (2012) e Molin e Faulin (2013), quando não encontraram correlações significativas entre CE_a e teor de água e CE_a e argila, sugeriram que tal fato seria devido a baixa variabilidade desses atributos, refletida em seu baixo CV. Tais coeficientes para argila e teor de água do solo foram 9,14 e 12,40%, respectivamente (Valente et al., 2012) e 15,90% para argila, 10,80 e 7,30% para teor de água nos anos de 2003 e 2004, respectivamente, para uma das áreas estudadas (Molin; Faulin 2013). No presente trabalho, para o Campo 1, o CV da argila foi 15,93% (Tabela 3.2), ou seja, pouco superior aos dos trabalhos citados e para o teor de água do solo 12,03% (Tabela 3.2), valor entre aqueles encontrados pelos autores acima, e apesar de também não ter sido observada correlação significativa entre CE_a e argila para este campo (Tabela 3.5), a mesma foi significativa e positivamente correlacionada com o teor de água do solo em todas as 20 datas avaliadas (Tabela 3.4). Portanto,

diferentemente do sugerido pelos autores, o fato do teor de água do solo apresentar baixo CV não impede que a CE_a se correlacione significativamente com este atributo.

3.4. CONCLUSÕES

Nas áreas e períodos em que o presente trabalho foi conduzido, a CE_a , determinada nas três camadas de solo, esteve diretamente relacionada com o teor de água do solo, no entanto, tal comportamento não alterou as relações da CE_a com os atributos do solo.

A CE_a teve relações variadas com atributos físicos e químicos do solo em cada campo estudado. No campo onde a textura do solo foi mais homogênea ela não apresentou correlação com os atributos físicos argila e areia, apenas com a fração silte, mas apresentou correlação com os atributos químicos pH, P, P-rem, K, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H + Al, SB, t, T, V e m. No outro campo estudado, onde foi observada uma maior variação textural na área, a CE_a indicou claramente diferenças entre duas regiões, apresentando correlação com as frações do solo argila, areia e silte. Ademais, ela também apresentou correlações com P, P-rem, K, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H + Al, SB, t, T e MO.

Os resultados encontrados sugerem que realizar qualquer generalização a respeito das relações entre CE_a e atributos do solo pode ser imprudente. Porém, ela representa uma ferramenta de grande potencial para o mapeamento dos campos no sentido de indicar diferenças nos padrões espaciais, principalmente com relação à textura e consequentemente com o teor de água do solo. Em campos onde a variação textural já for previamente conhecida, seu mapeamento pode indicar regiões com diferenças na fertilidade do solo, direcionando assim um manejo específico para cada área, pois como verificado, foi grande o número de correlações significativas entre CE_a e atributos químicos do solo.

3.5. LITERATURA CITADA

AIMRUN, W.; AMIN, M.; AHMAD, D.; HANAFI, M.; CHAN, C. Spatial variability of bulk soil electrical conductivity in a Malaysian paddy field: key to soil management. **Paddy Water Environment**, v. 5, n. 2, p. 113-121, 2007.

ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M. Produtividade de culturas correlacionada com condutividade elétrica aparente de um solo sob plantio direto. **Revista Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 62-72, 2012.

BREVIK, E. C.; FENTON, T. E.; LAZARI, A. Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping. **Precision Agriculture**, v. 7, n. 6, p. 393-404, 2006.

CORWIN, D. L.; HENDRICKX, J. M. H. Electrical Resistivity: Wenner Array. In: SILVA, J.S. **Methods of Soil Analysis** Part 4 Physical Methods, Madison, Wisconsin, USA : SSSA Book Series, n. 5, 2002. p. 1282-1287.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: Theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 3, p. 455-471, 2003.

EKWUE, E. I.; BARTHOLOMEW, J. Electrical conductivity of some soils in Trinidad as affected by density, water and peat content. **Biosystems Engineering**, v. 108, n. 2, p. 95-103, 2010.

EKWUE, E. I.; BARTHOLOMEW, J. Electrical conductivity of some soils in Trinidad as affected by density, water and peat content. **Biosystems Engineering**, v. 108, n. 2, p. 95-103, 2010.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

FAROOQUE, A. A.; ZAMAN, Q. U.; SCHUMANN, A. W.; MADANI, A.; PERCIVAL, D. C. Delineating management zones for site specific fertilization in wild blueberry fields. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 28, n. 1, p. 57-70, 2012.

FAULIN, G. D. C.; MOLIN, J. P. Amplitude dos valores da umidade e sua influência na mensuração da condutividade elétrica do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. 2006. **Anais...** São Pedro, SP, 2006.

FRIEDMAN S. P. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 45-70, 2005.

GHOLIZADEH, A.; SOOM, M. A. M.; ANUAR, A. R.; AIMRUN, W. Relationship between apparent electrical conductivity and soil physical properties in a Malaysian paddy field. **Agronomy and Soil Science**, v. 58, n. 2, p. 155-168, 2012.

HOAGLIN, D.C.; MOSTELLER, F.; TUKEY, J.W. **Análise exploratória de dados**: Técnicas robustas: um guia. Lisboa: Edições Salamandra, 1992. 446p.

ISLAM, M. M.; MEERSCHMAN, E.; SAEY, T.; DE SMEDT, P.; DE VIJVER, E. V. Comparing apparent electrical conductivity measurements on a paddy field under flooded and drained conditions. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 384-392, 2012.

JOHNSON C.K.; MORTENSEN D.A.; WIENHOLD B.J.; SHANAHAN J.F.; DORAN J.W. Site-specific management zones based upon soil electrical conductivity in a semiarid cropping system. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 2, p. 303-315, 2003.

LESCH, S. M. et al. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. **Computer and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 351-378, 2005.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. v. 61, São Paulo: Ed. USP, 2005. 335p.

LIBARDI, P. L.; MANFRON, P. A.; MORAES, S. O. TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 1, p. 1-12, 1996.

MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 6, p. 567-573, 2008.

MOLIN, J. P.; FAULIN, G. D. C. Spatial and temporal variability of soil electrical conductivity related to soil moisture. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 1, p. 1-5, 2013.

MORAL, F. J.; TERRÓN, J. M.; SILVA, J. R. M. D. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 2, p. 335-343, 2010.

MORARI, F.; CASTRIGNANÒ, A.; PAGLIARIN, C. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 68, n. 1, p. 97-107, 2009.

RHOADES, J. D. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: **Methods of Soil Analysis** Part 3 - Chemical Methods. Soil Science Society of America, 1996. p. 417-435.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. R.; PLANT, R. E.; LAMBERT, J. J.; SMART, D. R. Using apparent soil electrical conductivity (EC_a) to characterize vineyard soils of high clay content. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 6, p. 775-794, 2011.

SERRANO, J. M.; SHAHIDIAN, S.; SILVA, J. R. M. Apparent electrical conductivity in dry versus wet soil conditions in a shallow soil. **Precision Agriculture**, v. 14, n. 1, p. 99-114, 2013.

SOUZA, Z.M. MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da textura de um latossolo vermelho amarelo eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 2, p.309-319, 2004.

SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; WIEBOLD, W. J.; BATCHELOR, W. D.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; CLAY, D. E.; PALM, H. L.; PIERCE, F. J.; SCHULER, R. T.; THELEN, K. D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 263-283, 2005.

TERRÓN, J. M.; MARQUES DA SILVA, J. R.; MORAL, F. J.; GARCÍA-FERRER, A. Soil apparent electrical conductivity and geographically weighted regression for mapping soil. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 5, p. 750-761, 2011.

VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SANTOS, N. T.; SANTOS, F. L. The relationship between apparent soil electrical conductivity and soil properties. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 683-690, 2012.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

CONCLUSÃO GERAL

O presente trabalho objetivou avaliar a variabilidade espacial e temporal da condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) em solos que apresentassem diferentes características texturais, utilizando para isto um sensor portátil de contato direto e diferentes configurações entre eletrodos para se determinar a CE_a nas camadas de 0 – 20 cm, 0 – 40 cm e 0 – 60 cm de profundidade. As determinações foram realizadas em diferentes datas que permitiram a obtenção de dados em condições de teor de água do solo variadas. Assim, buscou-se verificar as relações existentes entre a CE_a e diferentes atributos do solo e se elas se alteravam ao longo do tempo.

Os resultados encontrados no presente trabalho indicaram que os padrões de distribuição espacial da CE_a nos campos avaliados foram mantidos durante todo o período avaliado, mesmo ocorrendo variações no teor de água do solo. Os valores absolutos de CE_a foram predominantemente menores quando determinados em maiores espessuras da camada de solo, porém, os padrões espaciais de CE_a determinados em cada camada foram semelhantes.

A CE_a teve relações variadas com atributos físicos e químicos do solo em cada área estudada. No campo onde a textura do solo foi mais homogênea ela não apresentou correlação com os atributos físicos argila e areia, apenas com a fração silte, mas apresentou correlação com os atributos químicos pH, P, P-rem, K, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H + Al, SB, t, T, V e m. No outro campo estudado, onde foi observada uma maior variação textural na área, a CE_a indicou claramente diferenças entre duas regiões, apresentado correlação com as frações do solo argila, areia e silte. Ademais, ela também apresentou correlações com P, P-rem, K, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H + Al, SB, t, T e MO.

A CE_a foi diretamente relacionada com o teor de água do solo, independente da camada avaliada, porém, este fato não alterou as relações entre ela e os atributos do solo.

Assim, para as condições em que o trabalho foi realizado, a CE_a se mostrou uma ferramenta de elevado potencial para caracterização das áreas, indicando diferenças em seus padrões espaciais, além de apresentar correlações significativas com atributos do solo de grande importância para o manejo das culturas. Estas informações poderiam ser utilizadas para a geração de zonas de manejo que levariam ao tratamento diferenciado para cada região

dentro de um mesmo campo, auxiliando no gerenciamento da atividade se adotada a agricultura de precisão.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela A.1. Parâmetros dos modelos teóricos de semivariância ajustados para CE_a durante a análise preliminar do Campo 1.

Modelo	Alcance (a)	Patamar (C0+C)	Efeito Pepita (C0)	⁽¹⁾ IDE $[C/(C0+C)]*100$	⁽²⁾ SQR	⁽³⁾ R ²
Gaussiano	170,09	43,17	1,60	96,29	16,90	0,99

⁽¹⁾ Índice de dependência espacial; ⁽²⁾ Soma de quadrado do resíduo; ⁽³⁾ Coeficiente de determinação.

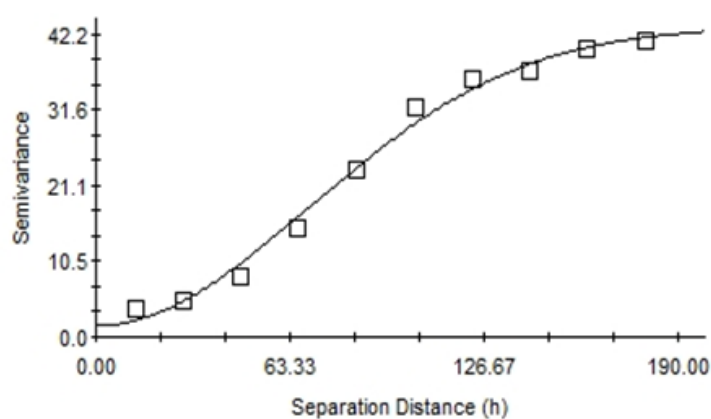


Figura A.1. Variograma do modelo teórico ajustado para semivariância em função da distância de separação (h), em metros, para CE_a determinada na camada de 0-20 cm de profundidade do solo no Campo 1.

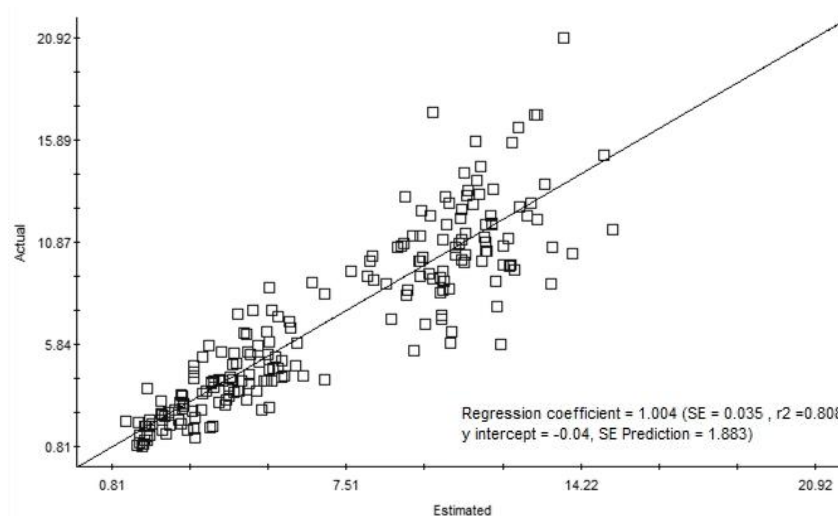


Figura A.2. Gráfico de validação cruzada para CE_a determinada na camada de 0-20 cm de profundidade do solo no Campo 1.

Tabela A.2. Parâmetros dos modelos teóricos de semivariância ajustados para CE_a durante a análise preliminar do Campo 2.

Modelo	Alcance (a)	Patamar (C0+C)	Efeito Pepita (C0)	⁽¹⁾ IDE $[C/(C0+C)]*100$	⁽²⁾ SQR	⁽³⁾ R ²
Gaussiano	139,48	100,78	4,20	95,83	1315,00	0,93

⁽¹⁾ Índice de dependência espacial; ⁽²⁾ Soma de quadrado do resíduo; ⁽³⁾ Coeficiente de determinação.

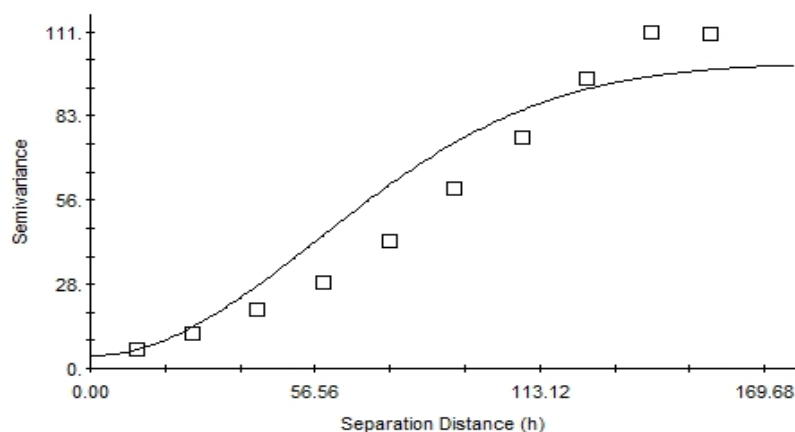


Figura A.3. Variograma do modelo teórico ajustado para semivariância em função da distância de separação (h), em metros, para CE_a determinada na camada de 0-20 cm de profundidade do solo no Campo 2.

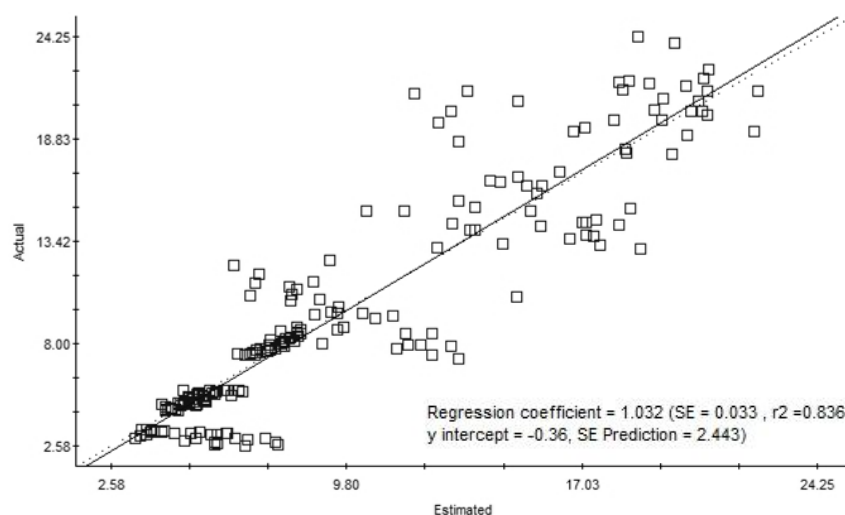


Figura A.4. Gráfico de validação cruzada para CE_a determinada na camada de 0-20 cm de profundidade do solo no Campo 2.

APÊNDICE B

Tabela B.1. Análise de correlação de Pearson entre a CE_a20 de todas as datas de avaliação e atributos do solo do Campo 1.

Avaliações	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m	MO	P-rem	Areia	Silte	Argila	Altitude
1	0,51	0,72	0,65	0,60	0,45	-0,34	-0,47	0,61	0,62	0,37	0,56	-0,32	0,25 ^{ns}	0,65	-0,10 ^{ns}	0,49	-0,32 ^{ns}	0,56
2	0,50	0,78	0,71	0,60	0,42	-0,32	-0,43	0,61	0,62	0,42	0,55	-0,29	0,27 ^{ns}	0,65	-0,22 ^{ns}	0,45	-0,29 ^{ns}	0,64
3	0,56	0,70	0,68	0,64	0,49	-0,40	-0,51	0,65	0,66	0,39	0,60	-0,38	0,26 ^{ns}	0,69	-0,24 ^{ns}	0,46	-0,19 ^{ns}	0,65
4	0,56	0,71	0,72	0,64	0,49	-0,39	-0,52	0,66	0,66	0,37	0,61	-0,37	0,23 ^{ns}	0,67	-0,14 ^{ns}	0,53	-0,31 ^{ns}	0,63
5	0,50	0,74	0,67	0,59	0,43	-0,35	-0,47	0,61	0,62	0,34	0,57	-0,33	0,19 ^{ns}	0,65	-0,11 ^{ns}	0,50	-0,32 ^{ns}	0,62
6	0,56	0,67	0,72	0,64	0,49	-0,40	-0,55	0,66	0,66	0,33	0,63	-0,37	0,19 ^{ns}	0,69	-0,22 ^{ns}	0,51	-0,24 ^{ns}	0,65
7	0,50	0,62	0,60	0,60	0,40	-0,41	-0,42	0,60	0,59	0,42	0,54	-0,39	0,26 ^{ns}	0,65	-0,18 ^{ns}	0,43	-0,21 ^{ns}	0,61
8	0,53	0,62	0,71	0,58	0,40	-0,35	-0,52	0,59	0,60	0,22 ^{ns}	0,57	-0,33	0,08 ^{ns}	0,64	-0,13 ^{ns}	0,52	-0,32 ^{ns}	0,57
9	0,50	0,60	0,58	0,55	0,39	-0,43	-0,47	0,55	0,54	0,26 ^{ns}	0,53	-0,41	0,15 ^{ns}	0,62	-0,19 ^{ns}	0,41 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,66
10	0,58	0,56	0,69	0,62	0,51	-0,45	-0,59	0,65	0,64	0,24 ^{ns}	0,65	-0,42	0,08 ^{ns}	0,68	-0,17 ^{ns}	0,50	-0,28 ^{ns}	0,67
11	0,58	0,47	0,63	0,59	0,51	-0,44	-0,57	0,62	0,61	0,22 ^{ns}	0,62	-0,42	0,04 ^{ns}	0,63	-0,20 ^{ns}	0,52	-0,27 ^{ns}	0,71
12	0,54	0,53	0,59	0,58	0,47	-0,42	-0,49	0,60	0,59	0,31	0,57	-0,40	0,12 ^{ns}	0,63	-0,19 ^{ns}	0,44	-0,21 ^{ns}	0,71
13	0,54	0,53	0,59	0,58	0,47	-0,42	-0,49	0,60	0,59	0,31	0,57	-0,40	0,12 ^{ns}	0,63	-0,19 ^{ns}	0,44	-0,21 ^{ns}	0,71
14	0,56	0,54	0,57	0,54	0,42	-0,43	-0,53	0,55	0,54	0,19 ^{ns}	0,56	-0,40	0,07 ^{ns}	0,60	-0,18 ^{ns}	0,53	-0,40 ^{ns}	0,69
15	0,56	0,54	0,58	0,57	0,42	-0,45	-0,50	0,58	0,56	0,27 ^{ns}	0,56	-0,42	0,04 ^{ns}	0,60	-0,25 ^{ns}	0,59	-0,29 ^{ns}	0,70
16	0,55	0,59	0,65	0,58	0,50	-0,42	-0,54	0,61	0,61	0,27 ^{ns}	0,60	-0,39	0,13 ^{ns}	0,62	-0,24 ^{ns}	0,53	-0,25 ^{ns}	0,65
17	0,54	0,58	0,69	0,57	0,49	-0,41	-0,54	0,61	0,60	0,25 ^{ns}	0,59	-0,38	0,06 ^{ns}	0,65	-0,26 ^{ns}	0,56	-0,26 ^{ns}	0,68
18	0,54	0,63	0,66	0,57	0,49	-0,41	-0,52	0,60	0,60	0,27 ^{ns}	0,58	-0,39	0,12 ^{ns}	0,63	-0,15 ^{ns}	0,57	-0,35 ^{ns}	0,65
19	0,54	0,63	0,66	0,57	0,49	-0,41	-0,52	0,60	0,60	0,27 ^{ns}	0,58	-0,39	0,12 ^{ns}	0,63	-0,15 ^{ns}	0,57	-0,35 ^{ns}	0,65
20	0,45	0,62	0,66	0,49	0,40	-0,36	-0,46	0,53	0,52	0,23 ^{ns}	0,50	-0,34	0,08 ^{ns}	0,59	-0,19 ^{ns}	0,57	-0,32 ^{ns}	0,59

^{ns} – não significativo ($p > 0,05$). Demais valores significativos ($p \leq 0,05$). pH - potencial hidrogeniônico (1:2,5); P – fósforo; K – potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Al – Alumínio; H + Al – Acidez potencial; SB – Soma de bases; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica total; V – Saturação por bases (%); m – Saturação por alumínio (%); MO – Matéria orgânica; P-rem – Fósforo remanescente. P – K: Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al – Extrator: KCl 1 mol/L; H+Al - Extrator Acetato de Calcio 0,5 mol/L pH 7,0; Areia, Silte e Argila – determinação pelo método da pipeta; Altitude - altitude elipsoidal medida com GPS topográfico.

Tabela B.2. Análise de correlação de Pearson entre a CE_{a40} de todas as datas de avaliação e atributos do solo do Campo 1.

Avaliações	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m	MO	P-rem	Areia	Silte	Argila	Altitude
1	0,41	0,72	0,63	0,51	0,31	-0,29	-0,39	0,52	0,52	0,32	0,47	-0,27 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,61	-0,10 ^{ns}	0,44	-0,27 ^{ns}	0,56
2	0,50	0,73	0,65	0,60	0,45	-0,32	-0,42	0,61	0,62	0,46	0,54	-0,29 ^{ns}	0,32	0,65	-0,29 ^{ns}	0,51	-0,20 ^{ns}	0,57
3	0,55	0,73	0,67	0,61	0,46	-0,38	-0,47	0,62	0,63	0,37	0,57	-0,34	0,25 ^{ns}	0,62	-0,32 ^{ns}	0,55	-0,23 ^{ns}	0,64
4	0,52	0,74	0,65	0,62	0,45	-0,33	-0,45	0,63	0,64	0,42	0,57	-0,31	0,26 ^{ns}	0,66	-0,14 ^{ns}	0,57	-0,35 ^{ns}	0,59
5	0,44	0,67	0,58	0,56	0,40	-0,36	-0,42	0,56	0,56	0,34	0,52	-0,33	0,14 ^{ns}	0,67	-0,17 ^{ns}	0,43	-0,22 ^{ns}	0,60
6	0,53	0,66	0,74	0,59	0,46	-0,40	-0,50	0,62	0,62	0,34	0,58	-0,37	0,13 ^{ns}	0,69	-0,13 ^{ns}	0,56	-0,49	0,57
7	0,47	0,52	0,66	0,48	0,37	-0,29	-0,46	0,51	0,52	0,20 ^{ns}	0,50	-0,26 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,53	-0,10 ^{ns}	0,57	-0,37 ^{ns}	0,56
8	0,51	0,54	0,71	0,53	0,38	-0,41	-0,52	0,55	0,54	0,20 ^{ns}	0,56	-0,38	0,02 ^{ns}	0,66	-0,26 ^{ns}	0,52	-0,23 ^{ns}	0,64
9	0,44	0,66	0,64	0,56	0,32	-0,35	-0,40	0,55	0,55	0,35	0,50	-0,33	0,16 ^{ns}	0,68	-0,32 ^{ns}	0,45	-0,14 ^{ns}	0,62
10	0,58	0,59	0,63	0,62	0,47	-0,45	-0,57	0,63	0,62	0,25 ^{ns}	0,62	-0,42	0,17 ^{ns}	0,66	-0,17 ^{ns}	0,43	-0,22 ^{ns}	0,71
11	0,56	0,60	0,67	0,62	0,51	-0,43	-0,54	0,64	0,64	0,32	0,61	-0,40	0,11 ^{ns}	0,66	-0,24 ^{ns}	0,57	-0,28 ^{ns}	0,70
12	0,52	0,56	0,63	0,56	0,44	-0,42	-0,51	0,58	0,57	0,25 ^{ns}	0,56	-0,39	0,07 ^{ns}	0,63	-0,25 ^{ns}	0,54	-0,24 ^{ns}	0,68
13	0,51	0,56	0,63	0,54	0,44	-0,42	-0,50	0,57	0,55	0,24 ^{ns}	0,55	-0,39	0,07 ^{ns}	0,61	-0,25 ^{ns}	0,52	-0,24 ^{ns}	0,67
14	0,49	0,50	0,56	0,52	0,41	-0,39	-0,47	0,54	0,53	0,24 ^{ns}	0,52	-0,36	0,01 ^{ns}	0,57	-0,20 ^{ns}	0,57	-0,30 ^{ns}	0,72
15	0,47	0,49	0,58	0,49	0,40	-0,41	-0,50	0,51	0,50	0,14 ^{ns}	0,52	-0,38	0,02 ^{ns}	0,57	-0,23 ^{ns}	0,54	-0,26 ^{ns}	0,75
16	0,53	0,58	0,65	0,58	0,45	-0,40	-0,51	0,60	0,59	0,27 ^{ns}	0,58	-0,37	0,04 ^{ns}	0,64	-0,18 ^{ns}	0,58	-0,33 ^{ns}	0,69
17	0,51	0,59	0,69	0,53	0,43	-0,38	-0,51	0,56	0,56	0,22 ^{ns}	0,55	-0,35	0,00 ^{ns}	0,62	-0,21 ^{ns}	0,57	-0,30 ^{ns}	0,70
18	0,49	0,58	0,66	0,53	0,42	-0,39	-0,49	0,56	0,55	0,23 ^{ns}	0,54	-0,36	0,01 ^{ns}	0,64	-0,28 ^{ns}	0,58	-0,26 ^{ns}	0,69
19	0,49	0,58	0,66	0,53	0,42	-0,39	-0,49	0,55	0,55	0,23 ^{ns}	0,54	-0,36	0,01 ^{ns}	0,64	-0,28 ^{ns}	0,58	-0,26 ^{ns}	0,69
20	0,46	0,54	0,63	0,49	0,43	-0,38	-0,47	0,52	0,52	0,22 ^{ns}	0,51	-0,35	0,03 ^{ns}	0,58	-0,16 ^{ns}	0,52	-0,30 ^{ns}	0,68

^{ns} – não significativo (p > 0,05). Demais valores significativos (p ≤ 0,05). pH - potencial hidrogeniônico (1:2,5); P – fósforo; K – potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Al – Alumínio; H + Al – Acidez potencial; SB – Soma de bases; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica total; V – Saturação por bases (%); m – Saturação por alumínio (%); MO – Matéria orgânica; P-rem – Fósforo remanescente. P – K: Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al – Extrator: KCl 1 mol/L; H+Al - Extrator Acetato de Calcio 0,5 mol/L pH 7,0; Areia, Silte e Argila – determinação pelo método da pipeta; Altitude - altitude elipsoidal medida com GPS topográfico.

Tabela B.3. Análise de correlação de Pearson entre a CE_a60 de todas as datas de avaliação e atributos do solo do Campo 1.

Avaliações	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m	MO	P-rem	Areia	Silte	Argila	Altitude
1	0,55	0,75	0,70	0,63	0,48	-0,38	-0,52	0,65	0,65	0,35	0,60	-0,35	0,20 ^{ns}	0,68	-0,10 ^{ns}	0,60	-0,40 ^{ns}	0,57
2	0,54	0,64	0,65	0,61	0,44	-0,41	-0,53	0,62	0,62	0,29	0,60	-0,38	0,07 ^{ns}	0,70	-0,12 ^{ns}	0,54	-0,34 ^{ns}	0,64
3	0,48	0,71	0,63	0,58	0,42	-0,34	-0,42	0,59	0,59	0,41	0,52	-0,32	0,18 ^{ns}	0,64	-0,11 ^{ns}	0,50	-0,32 ^{ns}	0,59
4	0,53	0,68	0,68	0,61	0,43	-0,36	-0,49	0,62	0,62	0,35	0,58	-0,33	0,13 ^{ns}	0,66	-0,14 ^{ns}	0,57	-0,35 ^{ns}	0,61
5	0,53	0,71	0,67	0,60	0,45	-0,35	-0,50	0,62	0,62	0,33	0,58	-0,32	0,17 ^{ns}	0,68	-0,15 ^{ns}	0,65	-0,40	0,57
6	0,46	0,63	0,60	0,54	0,37	-0,32	-0,42	0,55	0,55	0,33	0,49	-0,30	0,15 ^{ns}	0,59	-0,19 ^{ns}	0,49	-0,25 ^{ns}	0,61
7	0,50	0,69	0,69	0,58	0,44	-0,33	-0,47	0,60	0,61	0,34	0,55	-0,30	0,12 ^{ns}	0,64	-0,05 ^{ns}	0,55	-0,39 ^{ns}	0,56
8	0,48	0,63	0,59	0,57	0,38	-0,36	-0,43	0,57	0,57	0,34	0,52	-0,33	0,08 ^{ns}	0,60	-0,14 ^{ns}	0,51	-0,30 ^{ns}	0,57
9	0,47	0,72	0,70	0,58	0,39	-0,28 ^{ns}	-0,42	0,59	0,60	0,42	0,52	-0,25 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,61	-0,09 ^{ns}	0,46	-0,29 ^{ns}	0,58
10	0,54	0,60	0,69	0,61	0,44	-0,42	-0,52	0,62	0,62	0,32	0,59	-0,38	0,08 ^{ns}	0,66	-0,17 ^{ns}	0,53	-0,30 ^{ns}	0,67
11	0,53	0,63	0,69	0,57	0,44	-0,39	-0,53	0,59	0,59	0,24 ^{ns}	0,58	-0,36	0,06 ^{ns}	0,65	-0,18 ^{ns}	0,58	-0,33 ^{ns}	0,67
12	0,49	0,47	0,59	0,50	0,41	-0,39	-0,50	0,53	0,52	0,17 ^{ns}	0,52	-0,36	-0,02 ^{ns}	0,57	-0,14 ^{ns}	0,54	-0,32 ^{ns}	0,69
13	0,47	0,48	0,58	0,51	0,42	-0,36	-0,46	0,53	0,53	0,25 ^{ns}	0,51	-0,32	-0,02 ^{ns}	0,55	-0,18 ^{ns}	0,58	-0,34 ^{ns}	0,68
14	0,47	0,55	0,60	0,51	0,40	-0,37	-0,48	0,53	0,53	0,20 ^{ns}	0,52	-0,34	0,03 ^{ns}	0,58	-0,25 ^{ns}	0,58	-0,28 ^{ns}	0,68
15	0,49	0,49	0,62	0,51	0,37	-0,39	-0,48	0,52	0,51	0,20 ^{ns}	0,51	-0,35	-0,01 ^{ns}	0,57	-0,23 ^{ns}	0,56	-0,27 ^{ns}	0,68
16	0,53	0,62	0,70	0,55	0,43	-0,41	-0,53	0,58	0,57	0,21 ^{ns}	0,56	-0,38	0,05 ^{ns}	0,61	-0,17 ^{ns}	0,55	-0,32 ^{ns}	0,67
17	0,51	0,63	0,66	0,56	0,42	-0,38	-0,51	0,58	0,58	0,26 ^{ns}	0,56	-0,35	0,06 ^{ns}	0,63	-0,17 ^{ns}	0,56	-0,32 ^{ns}	0,68
18	0,52	0,62	0,65	0,57	0,45	-0,39	-0,50	0,59	0,59	0,28	0,56	-0,35	0,06 ^{ns}	0,64	-0,20 ^{ns}	0,53	-0,28 ^{ns}	0,69
19	0,52	0,62	0,64	0,56	0,44	-0,37	-0,49	0,58	0,58	0,28	0,55	-0,34	0,05 ^{ns}	0,62	-0,16 ^{ns}	0,55	-0,32 ^{ns}	0,69
20	0,47	0,48	0,67	0,51	0,40	-0,38	-0,50	0,54	0,53	0,19 ^{ns}	0,54	-0,34	-0,07 ^{ns}	0,63	-0,25 ^{ns}	0,58	-0,28 ^{ns}	0,65

^{ns} – não significativo (p > 0,05). Demais valores significativos (p ≤ 0,05). pH - potencial hidrogeniônico (1:2,5); P – fósforo; K – potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Al – Alumínio; H + Al – Acidez potencial; SB – Soma de bases; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica total; V – Saturação por bases (%); m – Saturação por alumínio (%); MO – Matéria orgânica; P-rem – Fósforo remanescente. P – K: Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al – Extrator: KCl 1 mol/L; H+Al - Extrator Acetato de Calcio 0,5 mol/L pH 7,0; Areia, Silte e Argila – determinação pelo método da pipeta; Altitude - altitude elipsoidal medida com GPS topográfico.

Tabela B.4. Análise de correlação de Pearson entre a CE_{a20} de todas as datas de avaliação e atributos do solo do Campo 2.

Avaliações	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m	MO	P-rem	Areia	Silte	Argila	Altitude
1	-0,13 ^{ns}	-0,61	0,63	0,76	0,89	0,18 ^{ns}	0,79	0,84	0,86	0,90	0,06 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,88	-0,86	-0,91	0,85	0,89	-0,83
2	-0,10 ^{ns}	-0,61	0,62	0,76	0,89	0,12 ^{ns}	0,78	0,84	0,86	0,89	0,08 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,87	-0,85	-0,91	0,84	0,90	-0,83
3	-0,19 ^{ns}	-0,66	0,65	0,78	0,92	0,15 ^{ns}	0,79	0,86	0,88	0,91	0,08 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,88	-0,89	-0,93	0,87	0,91	-0,89
4	-0,35	-0,72	0,66	0,76	0,90	0,17 ^{ns}	0,79	0,84	0,86	0,89	0,07 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,85	-0,91	-0,94	0,91	0,90	-0,93
5	-0,35	-0,72	0,66	0,76	0,90	0,17 ^{ns}	0,79	0,84	0,86	0,89	0,07 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,85	-0,91	-0,95	0,91	0,90	-0,93
6	-0,12 ^{ns}	-0,70	0,61	0,79	0,93	0,10 ^{ns}	0,78	0,87	0,88	0,91	0,09 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,87	-0,92	-0,97	0,93	0,93	-0,88
7	-0,18 ^{ns}	-0,67	0,66	0,78	0,92	0,11 ^{ns}	0,78	0,86	0,88	0,90	0,09 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,86	-0,92	-0,94	0,91	0,89	-0,90
8	-0,22 ^{ns}	-0,72	0,65	0,77	0,93	0,14 ^{ns}	0,80	0,86	0,88	0,91	0,08 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,87	-0,94	-0,94	0,90	0,90	-0,93
9	-0,14 ^{ns}	-0,68	0,66	0,76	0,91	-0,02 ^{ns}	0,73	0,85	0,86	0,87	0,13 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,82	-0,91	-0,93	0,88	0,89	-0,89
10	-0,20 ^{ns}	-0,66	0,68	0,75	0,91	0,09 ^{ns}	0,76	0,84	0,85	0,88	0,09 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,85	-0,90	-0,93	0,91	0,88	-0,88
11	-0,24 ^{ns}	-0,71	0,64	0,77	0,92	0,13 ^{ns}	0,77	0,85	0,87	0,89	0,11 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,86	-0,93	-0,95	0,92	0,90	-0,92
12	-0,20 ^{ns}	-0,70	0,69	0,77	0,93	0,14 ^{ns}	0,79	0,86	0,88	0,91	0,09 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,87	-0,93	-0,94	0,90	0,90	-0,92
13	-0,31	-0,71	0,67	0,74	0,89	0,16 ^{ns}	0,77	0,83	0,85	0,88	0,09 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,83	-0,91	-0,92	0,90	0,86	-0,92
14	-0,19 ^{ns}	-0,71	0,62	0,71	0,90	0,12 ^{ns}	0,78	0,81	0,82	0,87	0,09 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,83	-0,88	-0,91	0,85	0,89	-0,91
15	-0,13 ^{ns}	-0,59	0,72	0,71	0,85	-0,02 ^{ns}	0,64	0,79	0,80	0,79	0,17 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,75	-0,88	-0,85	0,78	0,85	-0,82
16	-0,09 ^{ns}	-0,62	0,59	0,72	0,87	0,10 ^{ns}	0,74	0,81	0,82	0,86	0,11 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,85	-0,87	-0,91	0,85	0,90	-0,84
17	-0,24 ^{ns}	-0,69	0,54	0,74	0,84	0,18 ^{ns}	0,75	0,80	0,82	0,86	0,07 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,85	-0,86	-0,93	0,89	0,89	-0,86
18	-0,15 ^{ns}	-0,68	0,64	0,77	0,93	0,11 ^{ns}	0,78	0,86	0,88	0,90	0,10 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,85	-0,93	-0,94	0,90	0,91	-0,90
19	-0,12 ^{ns}	-0,61	0,71	0,66	0,87	0,03 ^{ns}	0,67	0,77	0,78	0,79	0,12 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,75	-0,90	-0,83	0,75	0,83	-0,86
20	-0,10 ^{ns}	-0,65	0,69	0,70	0,89	-0,03 ^{ns}	0,70	0,81	0,81	0,83	0,08 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,78	-0,91	-0,82	0,74	0,82	-0,87

^{ns} – não significativo (p > 0,05). Demais valores significativos (p ≤ 0,05). pH - potencial hidrogeniônico (1:2,5); P – fósforo; K – potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Al – Alumínio; H + Al – Acidez potencial; SB – Soma de bases; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica total; V – Saturação por bases (%); m – Saturação por alumínio (%); MO – Matéria orgânica; P-rem – Fósforo remanescente. P – K: Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al – Extrator: KCl 1 mol/L; H+Al - Extrator Acetato de Calcio 0,5 mol/L pH 7,0; Areia, Silte e Argila – determinação pelo método da pipeta; Altitude - altitude elipsoidal medida com GPS topográfico.

Tabela B.5. Análise de correlação de Pearson entre a CE_a40 de todas as datas de avaliação e atributos do solo do Campo 2.

Avaliações	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m	MO	P-rem	Areia	Silte	Argila	Altitude
1	-0,05 ^{ns}	-0,46	0,66	0,81	0,92	0,20 ^{ns}	0,82	0,88	0,89	0,93	0,07 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,90	-0,87	-0,92	0,84	0,91	-0,77
2	0,01 ^{ns}	-0,48	0,66	0,79	0,91	0,15 ^{ns}	0,80	0,87	0,88	0,91	0,10 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,89	-0,87	-0,93	0,86	0,92	-0,79
3	-0,02 ^{ns}	-0,51	0,73	0,78	0,92	0,10 ^{ns}	0,79	0,87	0,88	0,91	0,10 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,88	-0,90	-0,92	0,84	0,92	-0,80
4	-0,13 ^{ns}	-0,62	0,73	0,74	0,91	0,10 ^{ns}	0,78	0,84	0,85	0,88	0,05 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,83	-0,90	-0,92	0,86	0,90	-0,86
5	-0,13 ^{ns}	-0,60	0,75	0,74	0,91	0,10 ^{ns}	0,79	0,84	0,85	0,89	0,07 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,85	-0,91	-0,91	0,84	0,90	-0,85
6	-0,06 ^{ns}	-0,56	0,67	0,73	0,88	0,10 ^{ns}	0,75	0,82	0,83	0,86	0,05 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,80	-0,88	-0,89	0,83	0,87	-0,80
7	-0,12 ^{ns}	-0,63	0,69	0,73	0,91	0,01 ^{ns}	0,75	0,83	0,84	0,87	0,08 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,82	-0,89	-0,88	0,80	0,88	-0,85
8	-0,08 ^{ns}	-0,60	0,67	0,76	0,91	0,16 ^{ns}	0,81	0,85	0,86	0,91	0,05 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,86	-0,91	-0,90	0,83	0,88	-0,84
9	-0,10 ^{ns}	-0,56	0,61	0,74	0,87	0,05 ^{ns}	0,79	0,82	0,83	0,88	0,01 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,83	-0,86	-0,86	0,83	0,82	-0,78
10	-0,15 ^{ns}	-0,53	0,67	0,64	0,82	0,07 ^{ns}	0,73	0,74	0,75	0,80	-0,02 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,77	-0,88	-0,81	0,71	0,83	-0,79
11	-0,19 ^{ns}	-0,67	0,67	0,78	0,94	0,09 ^{ns}	0,81	0,87	0,89	0,93	0,06 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,87	-0,93	-0,92	0,86	0,89	-0,90
12	-0,19 ^{ns}	-0,65	0,70	0,78	0,94	0,05 ^{ns}	0,79	0,87	0,89	0,92	0,10 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,88	-0,94	-0,94	0,88	0,92	-0,88
13	-0,13 ^{ns}	-0,55	0,70	0,73	0,90	0,04 ^{ns}	0,71	0,83	0,84	0,85	0,11 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,81	-0,87	-0,89	0,78	0,91	-0,83
14	-0,16 ^{ns}	-0,69	0,61	0,74	0,90	0,18 ^{ns}	0,69	0,83	0,84	0,83	0,15 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,77	-0,90	-0,89	0,87	0,83	-0,92
15	-0,29	-0,72	0,68	0,76	0,90	0,10 ^{ns}	0,75	0,85	0,86	0,88	0,11 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,82	-0,89	-0,92	0,87	0,89	-0,92
16	-0,26 ^{ns}	-0,75	0,53	0,67	0,81	0,21 ^{ns}	0,68	0,75	0,77	0,79	0,10 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,74	-0,86	-0,84	0,84	0,77	-0,91
17	-0,19 ^{ns}	-0,70	0,59	0,64	0,83	0,22 ^{ns}	0,72	0,74	0,76	0,80	0,10 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,75	-0,90	-0,86	0,85	0,80	-0,88
18	-0,08 ^{ns}	-0,64	0,70	0,75	0,93	0,10 ^{ns}	0,80	0,85	0,87	0,91	0,06 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,86	-0,92	-0,90	0,82	0,90	-0,87
19	0,02 ^{ns}	-0,61	0,67	0,62	0,84	0,03 ^{ns}	0,68	0,74	0,74	0,77	0,07 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,73	-0,87	-0,76	0,68	0,77	-0,82
20	-0,23 ^{ns}	-0,75	0,57	0,64	0,82	0,16 ^{ns}	0,71	0,74	0,75	0,80	0,06 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,75	-0,85	-0,86	0,83	0,81	-0,90

^{ns} – não significativo (p > 0,05). Demais valores significativos (p ≤ 0,05). pH - potencial hidrogeniônico (1:2,5); P – fósforo; K – potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Al – Alumínio; H + Al – Acidez potencial; SB – Soma de bases; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica total; V – Saturação por bases (%); m – Saturação por alumínio (%); MO – Matéria orgânica; P-rem – Fósforo remanescente. P – K: Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al – Extrator: KCl 1 mol/L; H+Al - Extrator Acetato de Calcio 0,5 mol/L pH 7,0; Areia, Silte e Argila – determinação pelo método da pipeta; Altitude - altitude elipsoidal medida com GPS topográfico.

Tabela B.6. Análise de correlação de Pearson entre a CE_a60 de todas as datas de avaliação e atributos do solo do Campo 2.

Avaliações	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m	MO	P-rem	Areia	Silte	Argila	Altitude
1	-0,11 ^{ns}	-0,49	0,76	0,74	0,87	0,19 ^{ns}	0,83	0,83	0,85	0,91	0,00 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,86	-0,90	-0,86	0,77	0,86	-0,75
2	-0,11 ^{ns}	-0,49	0,76	0,74	0,87	0,19 ^{ns}	0,83	0,83	0,85	0,91	0,00 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,86	-0,90	-0,86	0,77	0,86	-0,75
3	-0,12 ^{ns}	-0,52	0,78	0,77	0,91	0,14 ^{ns}	0,84	0,86	0,87	0,93	0,01 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,88	-0,91	-0,87	0,78	0,87	-0,80
4	-0,13 ^{ns}	-0,54	0,76	0,75	0,90	0,05 ^{ns}	0,81	0,84	0,85	0,91	0,03 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,84	-0,87	-0,82	0,74	0,83	-0,81
5	-0,13 ^{ns}	-0,54	0,76	0,75	0,90	0,05 ^{ns}	0,81	0,84	0,85	0,91	0,03 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,84	-0,87	-0,82	0,74	0,83	-0,81
6	-0,10 ^{ns}	-0,48	0,76	0,70	0,87	0,01 ^{ns}	0,72	0,80	0,80	0,83	0,04 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,78	-0,84	-0,82	0,73	0,84	-0,78
7	-0,15 ^{ns}	-0,61	0,74	0,75	0,92	0,05 ^{ns}	0,77	0,85	0,86	0,89	0,08 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,82	-0,92	-0,86	0,80	0,85	-0,86
8	-0,15 ^{ns}	-0,58	0,71	0,80	0,93	0,07 ^{ns}	0,79	0,88	0,89	0,92	0,09 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,86	-0,92	-0,88	0,83	0,86	-0,84
9	-0,09 ^{ns}	-0,47	0,61	0,74	0,84	0,09 ^{ns}	0,78	0,81	0,82	0,87	0,02 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,79	-0,81	-0,78	0,75	0,74	-0,72
10	-0,15 ^{ns}	-0,35	0,70	0,60	0,73	0,10 ^{ns}	0,71	0,69	0,70	0,77	-0,03 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,70	-0,77	-0,67	0,58	0,71	-0,64
11	-0,20 ^{ns}	-0,60	0,74	0,72	0,90	0,11 ^{ns}	0,81	0,82	0,84	0,90	0,01 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,86	-0,92	-0,87	0,81	0,86	-0,85
12	-0,11 ^{ns}	-0,57	0,67	0,74	0,89	0,12 ^{ns}	0,76	0,83	0,84	0,88	0,05 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,84	-0,87	-0,82	0,75	0,82	-0,80
13	-0,01 ^{ns}	-0,49	0,65	0,63	0,80	0,10 ^{ns}	0,71	0,73	0,74	0,79	0,00 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,73	-0,78	-0,73	0,70	0,71	-0,67
14	-0,08 ^{ns}	-0,49	0,66	0,67	0,81	0,12 ^{ns}	0,71	0,75	0,77	0,81	0,05 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,78	-0,80	-0,80	0,78	0,76	-0,75
15	-0,09 ^{ns}	-0,67	0,69	0,76	0,94	0,01 ^{ns}	0,74	0,86	0,87	0,88	0,14 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,83	-0,91	-0,90	0,81	0,90	-0,90
16	-0,24 ^{ns}	-0,74	0,64	0,67	0,85	0,18 ^{ns}	0,73	0,77	0,79	0,82	0,13 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,79	-0,85	-0,90	0,87	0,85	-0,91
17	-0,25 ^{ns}	-0,64	0,63	0,63	0,83	0,24 ^{ns}	0,73	0,74	0,76	0,81	0,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,73	-0,87	-0,78	0,72	0,78	-0,85
18	-0,15 ^{ns}	-0,60	0,73	0,78	0,93	0,06 ^{ns}	0,78	0,87	0,88	0,91	0,09 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,85	-0,92	-0,88	0,82	0,86	-0,85
19	-0,17 ^{ns}	-0,57	0,74	0,68	0,87	0,12 ^{ns}	0,79	0,79	0,80	0,87	-0,02 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,81	-0,91	-0,87	0,80	0,87	-0,81
20	-0,15 ^{ns}	-0,67	0,70	0,72	0,91	0,11 ^{ns}	0,79	0,83	0,84	0,89	0,06 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,85	-0,94	-0,93	0,86	0,91	-0,91

^{ns} – não significativo (p > 0,05). Demais valores significativos (p ≤ 0,05). pH - potencial hidrogeniônico (1:2,5); P – fósforo; K – potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Al – Alumínio; H + Al – Acidez potencial; SB – Soma de bases; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica total; V – Saturação por bases (%); m – Saturação por alumínio (%); MO – Matéria orgânica; P-rem – Fósforo remanescente. P – K: Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al – Extrator: KCl 1 mol/L; H+Al - Extrator Acetato de Calcio 0,5 mol/L pH 7,0; Areia, Silte e Argila – determinação pelo método da pipeta; Altitude - altitude elipsoidal medida com GPS topográfico.