



**Universidade Federal de São Carlos**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**Curso de Engenharia Agrônoma**



**GUSTAVO CANDIDO JACOBASSI**

**ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO  
POR INDUÇÃO: perspectivas das correlações com os elementos  
físicos e químicos do solo em áreas de cultivo de cana-de-açúcar.**

**ARARAS**

**2021**



**Universidade Federal de São Carlos**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**Curso de Engenharia Agrônoma**



**GUSTAVO CANDIDO JACOBASSI**

**ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO  
POR INDUÇÃO: perspectivas das correlações com os elementos  
físicos e químicos do solo em áreas de cultivo de cana-de-açúcar.**

Monografia apresentada ao Curso de  
Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar para  
a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Hermann Paulo Hoffmann

**ARARAS**

**2021**

“Quando eu disse a um caroço de laranja  
que dentro dele dormia um laranjal  
inteirinho, ele me olhou estupidamente  
incrédulo”  
- Hermógenes, Tarso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me proporcionar cada vez mais experiências e oportunidades em cada processo de minha vida;

Aos meus pais, por todas as oportunidades que me atribuíram desde o começo da vida, priorizando minha educação, para chegar onde cheguei hoje. O agradecimento se estende ao meu irmão Rodrigo, meu Avô Armando e a todos os meus familiares que me inspiraram para seguir a área da Engenharia Agrônoma;

Também agradeço à Universidade Federal de São Carlos pelo conhecimento que me tem fornecido nos últimos 5 anos de graduação, junto a todos os professores que me ajudaram a chegar até aqui;

Deixo também um agradecimento especial à toda equipe do PMGCA (Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar) da UFSCar, pela condução não só deste projeto, como também pela orientação e apoio desde meu ingresso como estagiário, em especial ao meu orientador prof. Dr. Hermann Paulo Hoffman e coorientador Dr. Danilo Eduardo Cursi, por sempre estarem à frente de tantas realizações;

Termino agradecendo aos meus amigos e colegas de turma, que sempre estiveram ao meu lado e continuarão suas trajetórias de vida com muitas realizações pela frente.

## RESUMO

A amostragem e análise de solos agrícolas são importantes processos para a caracterização das propriedades físicas e químicas do solo voltado à agricultura. A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) é influenciada por várias propriedades inter-relacionadas, e considera a variabilidade espacial em suas medições. Buscando compreender possíveis correlações entre os valores obtidos de CEa do solo com os resultados de amostragens de solo, conduziu-se dois experimentos, localizados em regiões distintas no estado de São Paulo, com diferentes classes de solo. Utilizando o sensor EM38-MK2<sup>®</sup> de indução eletromagnética (IEM), foi possível realizar medições em toda área de interesse, com uma alta densidade de dados, que foram sobrepostas às áreas representativas de cada amostra de solo coletada em grade regular, resultando em um valor de CEa médio para cada amostra de solo. Assim, visualizou-se fortes, moderadas e fracas correlações positivas e negativas entre os elementos físicos e químicos do solo e a CEa, medida em duas faixas de profundidades (0,75 m e 0,375 m). As correlações mais significativas foram observadas entre a CEa e os atributos físicos (areia fina, areia grossa, areia total, silte e argila), principalmente, na área experimental 1. Quanto aos atributos químicos, estudos adicionais devem ser realizados para demonstrar a sua eficiência de medição, uma vez que foram constatados resultados opostos em diferentes profundidades de medições pelo sensor, principalmente, em solo de textura arenosa.

**Palavras-chave:** Análise física e química do solo; experimentação agrícola; geoestatística; variabilidade espacial; agricultura de precisão.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> (A) Perfil de latossolo vermelho; (B) Perfil de latossolo Vermelho-Amarelo.....	15
<b>Figura 2</b> - Triângulo para Determinação de classes texturais.....	20
<b>Figura 3:</b> Ilustração de medidor de resistência no modelo de Wenner.....	22
<b>Figura 4:</b> Ilustração do funcionamento do sensor de indução eletromagnética no solo.....	22
<b>Figura 5:</b> (A) Sensor EM38-MK2 com a indicação da localização das bobinas emissora e receptora; (B) Sensor com o coletor de dados Juniper Archer Field PC ao lado, para o qual os dados são exportados.....	24
<b>Figura 6:</b> (A) Disposição dos pontos amostrais em grade regular para amostragem na área experimental 1; (B) Sobreposição da imagem de satélite da área experimental 1.....	27
<b>Figura 7:</b> (A) Disposição dos pontos amostrais em grade regular para amostragem na área experimental 2; (B) Sobreposição da imagem de satélite da área experimental 2.....	27
<b>Figura 8:</b> Demonstração do “buffer” de 5 metros em cada ponto amostral. Área experimental 1.....	28
<b>Figura 9:</b> “Juniper Archer Field PC”.....	29
<b>Figura 10:</b> Pontos de leitura utilizando o sensor EM38-MK2, área experimental 1, com o detalhamento (zoom) da densidade de pontos à direita (caminhamento dos pontos de amostragem).....	33
<b>Figura 11:</b> (A) Mapa gradual da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) a 0,375 m de profundidade, considerando a variabilidade espacial; (B) Mapa gradual da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) a 0,75 m de profundidade, considerando a variabilidade espacial. Informações referentes a Área experimental 1.....	34
<b>Figura 12:</b> (A) Valores de correlação entre as diferentes variáveis estudadas. (B) Correlações significativas considerando um nível de significância de 0,05% entre as diferentes variáveis físicas e químicas do solo: alumínio (Al); areia grossa (areia_g); areia fina (areia_f); areia total (areia_t); argila; cálcio (Ca); CTC; Condutividade elétrica aparente a 0,75m de profundidade (Eca_1m); Condutividade elétrica aparente a 0,375m (Eca_0,5m); potássio (K); teor de saturação por alumínio (m); teor de saturação por base (V); magnésio (Mg); soma de bases (SB); pH; fósforo (P); H+Al (Hal); matéria orgânica (mo); silte. Informações referentes a área experimental 1 em superfície.....	38
<b>Figura 13:</b> (A) Valores de correlação entre as diferentes variáveis estudadas. (B) Correlações significativas considerando um nível de significância de 0,05% entre as diferentes variáveis físicas e químicas do solo: alumínio (Al); areia grossa (areia_g); areia fina (areia_f); areia total (areia_t); argila; cálcio (Ca); CTC; Condutividade elétrica aparente a 0,75m de profundidade (Eca_1m); Condutividade elétrica aparente a 0,375m (Eca_0,5m); potássio (K); teor de saturação por alumínio (m); teor de saturação por base (V); magnésio (Mg); soma de bases (SB); pH; fósforo (P); H+Al (Hal); matéria orgânica (mo); silte. Informações referentes a área experimental 1 em profundidade.....	41
<b>Figura 14:</b> Pontos de leitura utilizando o sensor EM38-MK2, área experimental 2, com o detalhamento (zoom) da densidade de pontos à direita (caminhamento dos pontos de amostragem).....	42
<b>Figura 15:</b> (A) Mapa gradual da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) a 0,375 m de profundidade, considerando a variabilidade espacial (B) Mapa	

gradual da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) a 0,75 m de profundidade, considerando a variabilidade espacial. Informações referentes a área experimental 2..... 42

**Figura 16:** Valores de correlação entre as diferentes variáveis estudadas. (B) Correlações significativas considerando um nível de significância de 0,05% entre as diferentes variáveis físicas e químicas do solo: alumínio (Al); areia grossa (areia\_g); areia fina (areia\_f); areia total (areia\_t); argila; cálcio (Ca); CTC; Condutividade elétrica aparente a 0,75m de profundidade (Eca\_1m); Condutividade elétrica aparente a 0,375m (Eca\_0,5m); potássio (K); teor de saturação por alumínio (m); teor de saturação por base (V); magnésio (Mg); soma de bases (SB); pH; fósforo (P); H+Al (Hal); matéria orgânica (mo); silte. Informações referentes a área experimental 2 em superfície..... 45

**Figura 17:** (A) Valores de correlação entre as diferentes variáveis estudadas. (B) Correlações significativas considerando um nível de significância de 0,05% entre as diferentes variáveis físicas e químicas do solo: alumínio (Al); areia grossa (areia\_g); areia fina (areia\_f); areia total (areia\_t); argila; cálcio (Ca); CTC; Condutividade elétrica aparente a 0,75m de profundidade (Eca\_1m); Condutividade elétrica aparente a 0,375m (Eca\_0,5m); potássio (K); teor de saturação por alumínio (m); teor de saturação por base (V); magnésio (Mg); soma de bases (SB); pH; fósforo (P); H+Al (Hal); matéria orgânica (mo); silte. Informações referentes a área experimental 2. .... 48

**Figura 18:** Gráficos de dispersão dos elementos físicos e químicos da área experimental 1, de 0 a 20 cm de profundidade. Argila (g/kg); Areia fina (g/kg); Areia grossa (g/kg); Areia total (g/kg); Silte (g/kg); P resina (mg/dm<sup>3</sup>); Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>); pH (CaCl<sub>2</sub>); K (mmol/dm<sup>3</sup>); Ca (mmol/dm<sup>3</sup>); Mg (mmol/dm<sup>3</sup>); H+Al (mmol/dm<sup>3</sup>); Al (mmol/dm<sup>3</sup>); SB – soma de bases (mmol/dm<sup>3</sup>); CTC – Capacidade de Troca Catiônica (mmol/dm<sup>3</sup>); v% - percentual de saturação por bases (%); m% - percentual de saturação por alumínio (%). .... 67

**Figura 19:** Gráficos de dispersão dos elementos físicos e químicos da área experimental 1, de 20 a 40 cm de profundidade. Argila (g/kg); Areia fina (g/kg); Areia grossa (g/kg); Areia total (g/kg); Silte (g/kg); P resina (mg/dm<sup>3</sup>); Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>); pH (CaCl<sub>2</sub>); K (mmol/dm<sup>3</sup>); Ca (mmol/dm<sup>3</sup>); Mg (mmol/dm<sup>3</sup>); H+Al (mmol/dm<sup>3</sup>); Al (mmol/dm<sup>3</sup>); SB – soma de bases (mmol/dm<sup>3</sup>); CTC – Capacidade de Troca Catiônica (mmol/dm<sup>3</sup>); v% - percentual de saturação por bases (%); m% - percentual de saturação por alumínio (%). .... 68

**Figura 20:** Gráficos de dispersão dos elementos físicos e químicos da área experimental 2, de 0 a 20 cm de profundidade. Argila (g/kg); Areia fina (g/kg); Areia grossa (g/kg); Areia total (g/kg); Silte (g/kg); P resina (mg/dm<sup>3</sup>); Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>); pH (CaCl<sub>2</sub>); K (mmol/dm<sup>3</sup>); Ca (mmol/dm<sup>3</sup>); Mg (mmol/dm<sup>3</sup>); H+Al (mmol/dm<sup>3</sup>); Al (mmol/dm<sup>3</sup>); SB – soma de bases (mmol/dm<sup>3</sup>); CTC – Capacidade de Troca Catiônica (mmol/dm<sup>3</sup>); v% - percentual de saturação por bases (%); m% - percentual de saturação por alumínio (%). .... 69

**Figura 21:** Gráficos de dispersão dos elementos físicos e químicos da área experimental 2, de 20 a 40 cm de profundidade. Argila (g/kg); Areia fina (g/kg); Areia grossa (g/kg); Areia total (g/kg); Silte (g/kg); P resina (mg/dm<sup>3</sup>); Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>); pH (CaCl<sub>2</sub>); K (mmol/dm<sup>3</sup>); Ca (mmol/dm<sup>3</sup>); Mg (mmol/dm<sup>3</sup>); H+Al (mmol/dm<sup>3</sup>); Al (mmol/dm<sup>3</sup>); SB – soma de bases (mmol/dm<sup>3</sup>); CTC – Capacidade de Troca Catiônica (mmol/dm<sup>3</sup>); v% - percentual de saturação por bases (%); m% - percentual de saturação por alumínio (%). .... 70

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1:</b> Estatística descritiva dos atributos físicos e químicos do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, Área experimental 1. ....	35
<b>TABELA 2:</b> Estatística descritiva dos atributos físicos e químicos do solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade, Área experimental 1. ....	39
<b>TABELA 3:</b> Estatística descritiva dos atributos físicos e químicos do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, Área experimental 2. ....	43
<b>TABELA 4:</b> Estatística descritiva dos atributos físicos e químicos do solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade, Área experimental 2. ....	46



## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. A cultura da cana-de-açúcar.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Importância do estudo dos solos.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3. Análise convencional do solo .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4. Análise da condutividade elétrica aparente do solo por indução. ....</b>	<b>21</b>
<b>2.4.1 EM38-MK2: dados técnicos e funcionamento.....</b>	<b>23</b>
<b>3. OBJETIVO.....</b>	<b>25</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1. Áreas experimentais.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.1. Área experimental 1.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.2. Área experimental 2.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2. Amostragem do solo .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3. Leitura da condutividade elétrica aparente do solo (CEa).....</b>	<b>29</b>
<b>4.3.1. Tratamento e análise dos dados. ....</b>	<b>29</b>
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2. Análise exploratória dos dados de solo em superfície da área experimental 1 .....</b>	<b>35</b>
<b>5.2.1. Correlações entre os atributos físicos e químicos do solo e a CEa em superfície .....</b>	<b>36</b>
<b>5.3. Análise exploratória dos dados de solo em profundidade da área experimental 1 .....</b>	<b>39</b>
<b>5.3.1. Correlações entre os atributos físicos e químicos do solo e a CEa .....</b>	<b>40</b>
<b>5.4. Análise da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) na área experimental 2 .....</b>	<b>42</b>
<b>5.5. Análise exploratória dos dados do solo em superfície da área experimental 2 .....</b>	<b>43</b>

5.5.1. Correlações entre os atributos físicos e químicos do solo em superfície e a CEa .....	44
5.6. Análise exploratória dos dados do solo em profundidade na área experimental 2 .....	46
5.6.1. Correlações entre os atributos físicos e químicos do solo em profundidade e a CEa .....	47
6. DISCUSSÃO .....	49
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
9. APÊNDICES.....	66

## 1. INTRODUÇÃO

O solo, em um cultivo agrícola, é responsável pela sustentação, fornecendo água e nutrientes para a cultura instalada. Antes mesmo de decidida a cultura a se cultivar, os elementos físicos e químicos do solo devem ser conhecidos, para que haja certeza de que o solo fornecerá os requisitos para o desenvolvimento adequado da cultura (ANDREOLI et al., 2014).

A partir do conhecimento das frações físicas do solo (argila, areia e silte), é possível estruturar as camadas do solo para que sejam entendidos os conceitos de porosidade, compactação, a capacidade de água disponível (CAD) e a textura em si, que são indicadores de qualidade física do solo (ARAÚJO et al., 2012).

Esses indicadores, combinados aos elementos químicos, ou seja, macronutrientes primários e secundários, micronutrientes, Ph e teores de alumínio, são responsáveis pelo comportamento das interações dentro do solo, que resultam em reflexos positivos ou negativos à cultura cultivada (GOMES e FILIZOLA, 2006).

Entretanto, atualmente o processo de obtenção de amostras a serem direcionadas ao laboratório requer um tempo de operação longo, além de desprezar a variabilidade espacial dos atributos do solo, homogeneizando as amostras coletadas em toda área de interesse. Assim, caso seja necessária a aplicação complementar de adubos e corretivos, a taxa de aplicação será a mesma em toda a extensão da área, deixando de lado o conceito de heterogeneidade, que sugere diferentes distribuições dos elementos dentro de uma área delimitada (SHEPERD e WALSH, 2002).

As engenharias agrônoma e agrícola buscam desenvolver técnicas de amostragem diferentes das convencionais, a fim de gerar informações de forma mais eficiente, além de integrar a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo, priorizando as etapas posteriores à amostragem, como a correção de acidez e adubações em taxa variável (BROWN et al., 2005).

Destacam-se assim dispositivos que geram medições da Condutividade Elétrica aparente do solo (CEa), já que cada leitura é resultado

da expressividade das transmissões entre os elementos físico-químicos do mesmo, que influenciam nos padrões de rendimento das culturas, além de apresentarem uma alta variação espacial (CORWIN e LESCH, 2005).

Essas medições são aparentes, isto é, representam a condutividade elétrica no momento da amostragem, em determinada localização geográfica. É importante conhecer tal informação uma vez que a CEa apresenta um comportamento muito variável, sendo que qualquer interferência externa ou interna ao solo pode mudar totalmente os parâmetros analisados (RABELLO et al., 2014).

O objetivo deste trabalho foi estudar as possíveis correlações entre as informações obtidas por um sensor de condutividade elétrica aparente do solo (CEa), com os diferentes atributos físico-químicos do solo, a fim de demonstrar as possíveis aplicações práticas deste equipamento.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. A cultura da cana-de-açúcar**

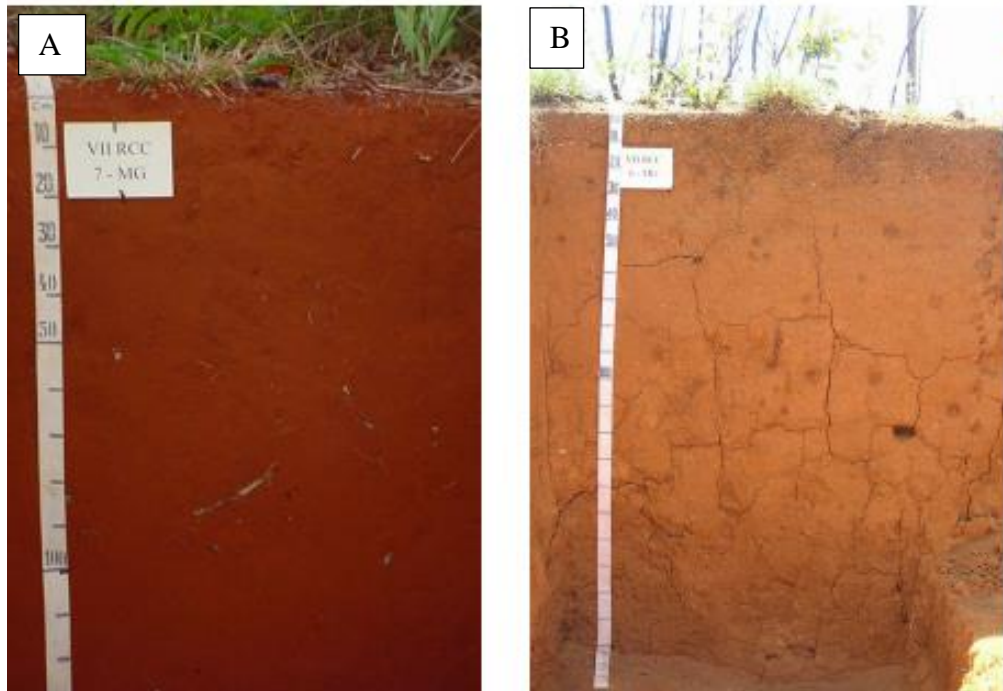
O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma área colhida estimada em 8,6 milhões de hectares, com um incremento de 1,9% apenas na safra 2020/21. Além da produção de açúcar, esta cultura é considerada como uma das maiores alternativas para a fabricação de biocombustíveis, operando, diferentemente dos demais países, em uma conjuntura sustentável, produzindo etanol ecologicamente correto, a partir de uma fonte renovável (MAPA, 2020).

Somente a região Sudeste do país possui uma área colhida de aproximadamente 5,2 milhões de hectares, representando cerca de 65% de toda a produção anual, isto é, uma produção de 436,2 milhões de toneladas na última safra (MAPA, 2020).

No estado de São Paulo, a cana-de-açúcar é cultivada, principalmente (47% da área plantada), em latossolos vermelhos. Em seguida, estão os latossolos vermelho-amarelo e vermelho escuro (MARIN, 2008).

Os latossolos vermelhos (Figura 1A), como a sua classificação já menciona, apresentam cores vermelhas acentuadas, devido ao alto teor de óxidos de ferro presentes em suas propriedades. São encontrados nas extensões das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, com estrutura porosa ou muito porosa e profunda, que viabiliza o desenvolvimento radicular em profundidade (EMBRAPA, 2021).

Os latossolos vermelho-amarelos (Figura 1B) possuem maior extensão em área dentro do território nacional. São encontrados com maior frequência em ambientes com boa drenagem, profundidade e uniformidade, tanto em textura e estrutura como em coloração. Em condições ambientais naturais, possuem baixos teores de fósforo, além de possuírem uma baixa retenção de água disponível às plantas (ALMEIDA et al., 2021).



**Figura 1:** (A) Perfil de latossolo vermelho; (B) Perfil de latossolo Vermelho-Amarelo.

**Fonte:** (SANTOS et al., 2018).

Conhecer os atributos físicos e químicos do solo é fundamental para a instalação de qualquer tipo de cultura agrícola, uma vez que cada solo possui uma capacidade de fornecimento de nutrientes diferente. Além de minimizar os elementos indesejáveis com o manejo da calagem e gessagem, este conhecimento a priori permite a complementação nutricional para as plantas por meio da adubação (OLIVEIRA et al., 2007).

Dentre os elementos químicos exigidos em maiores quantidades pela cana-de-açúcar, destaca-se o nitrogênio (N). A extração desse nutriente está relacionada à constituição de células proteicas e ácidos nucleicos, aumentando a atividade meristemática da parte aérea e, assim, estabelecendo maiores resultados quanto ao perfilhamento e ao Índice de Área Foliar - IAF (MALAVOLTA et al., 1997).

Outro macronutriente de destaque é o fósforo, cuja aplicação ocorre no fundo do sulco de plantio da cultura. O fósforo atua principalmente na geração de ATP para a planta, atuando no metabolismo pela formação de ligações de pirofosfato (VILAR; VILAR, 2013).

Não menos importante, a adubação potássica é realizada tanto no plantio como também após cada corte. Este macronutriente é responsável pelo controle osmótico do sistema solo-planta, sendo o cloreto de potássio a fonte mais comum de aplicação (OLIVEIRA et al., 2007).

O cultivo da cana-de-açúcar possui uma vantagem de produção, uma vez que origina subprodutos no processo de obtenção de açúcar e etanol, a vinhaça e a torta de filtro, que podem ser empregados na adubação de cobertura, uma vez que possuem altas porcentagens de nutrientes, substituindo fertilizantes granulados (ROSSETTO e SANTIAGO, 2008).

Para melhor explorar a cultura e a sua produção em diferentes localidades no território nacional, desenvolvendo variedades mais produtivas e resistentes, três programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar predominam no país: CTC (Centro de Tecnologia Canavieira); IAC (Instituto Agrônomo de Campinas); RIDESA (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético). Além desses, desde 2012 a BioVertis/GranBio vem colaborando com o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar com alto rendimento em biomassa, com o objetivo de se produzir bioenergia (CURSI et al., 2021).

## **2.2.Importância do estudo dos solos**

O solo tem um papel fundamental para a utilização agrícola de áreas de cultivo, sendo necessário sempre atentar-se para a qualidade dos recursos naturais, além da exploração sustentável dessas fontes, propiciando um meio equilibrado, favorecendo o crescimento e desenvolvimento de plantas, além de todo o ecossistema estar relacionado com a sua capacidade produtiva e regulação de água para as plantas e animais (MAROUELLI, 2003; ARAÚJO et al., 2007;).

Após as análises de solo, considerando o pH, a disponibilidade de nutrientes, tanto na camada arável, quanto em profundidade, CTC (Capacidade de Troca Catiônica), além de outros elementos referentes à textura do solo, é possível compreender o comportamento da área em questão para que seja escolhida uma variedade de cana-de-açúcar ideal para os parâmetros analisados e interpretados (RONQUIM, 2010).

Investigar e conhecer a qualidade do solo antes de iniciar o cultivo funciona como um indicador de sustentabilidade, sendo que, em um solo com propriedades físicas, biológicas e químicas favoráveis ao cultivo específico, não será necessário incrementar a disposição de nutrientes, conservando ao máximo a sua identidade natural (DORAN e PARKIN, 1994).

Por ser um recurso natural que sofre ações antrópicas desde o início da exploração agrícola para a produção alimentícia, Giongo e Cunha (2010) associam a perda de qualidade do solo com o uso inadequado dos insumos e práticas agrícolas. Para que seja utilizado em longevidade, a sua exploração deve ser sustentável, contribuindo sistematicamente com a sua conservação.

Por isso, surgem diversas discussões e questionamentos acerca do uso exploratório do solo pela agricultura e como se pode contornar o problema de deterioração e escassez de seus recursos naturais. O método ideal é o conhecimento de suas propriedades antes da instalação de uma cultura específica, correlacionando o que o solo pode oferecer e se é suficiente para a sustentação da cultura ou se será necessária alguma ação antrópica para o manejo do solo (DORAN e PARKIN, 1994).

Dentre os processos que podem levar à degradação do solo está o excesso de adubações e falta de planejamento, o que torna o custo daquela área mais elevado, quando colocados na conta os custos de conservação e recuperação (GIONGO e CUNHA, 2010).

O conceito de Agricultura de Precisão (AP), que visa a utilização de técnicas e metodologias a fim de otimizar o manejo dos cultivos, desde a sua implantação até a colheita, proporciona uma máxima eficiência operacional, não só econômica como ambiental (BRASIL, 2009).

Através de estudos da variabilidade espacial dos solos utilizando o georreferenciamento, é possível gerar dados interpretáveis acerca dos atributos avaliados, com parâmetros específicos de análise. Segundo alguns autores, como Cambardella et al. (1994) e Souza et al. (2009), é possível correlacionar as características analisadas, sendo que a variabilidade espacial dentro de uma área específica não ocorre ocasionalmente e sim por uma dependência espacial entre os atributos do solo.

Existe uma relação direta entre o estudo do solo e a aplicação de corretivos e fertilizantes na área produtiva, sendo que uma amostra de solo,



levada ao laboratório e posteriormente analisada, mesmo que resultante da homogeneização das subamostras colhidas, não representa a área totalizada. É necessário considerar a variabilidade espacial presente para que sejam empregados processos específicos para cada variação dos atributos físico-químicos, garantindo uma maior eficiência nas operações.

### **2.3. Análise convencional do solo**

A determinação da fertilidade do solo é um fator importante e complexo, uma vez que a partir de sua avaliação é possível quantificar as necessidades das culturas a serem consideradas para a instalação na área, além de afetar diretamente a produtividade e os custos de adequação da adubação. Para isso, é necessário levar em consideração todos os fatores de disponibilidade de água e condições climáticas, não se baseando somente na amostragem precisa e análise laboratorial minuciosa (RAIJ, 2011).

O princípio básico para uma amostragem precisa é a homogeneização das subamostras coletadas por malha regular, sendo conduzidas antes do plantio/semeadura com o trado de perfuração/sonda. Após a coleta, o solo é levado ao laboratório onde é armazenado livre de umidade e acondicionado a secagem natural ou artificial (FIORIN, 2007).

As amostras tanto em superfície (0 a 20 cm de profundidade), quanto em profundidade (20 a 40 cm profundidade), podem ser enviadas ao laboratório de solos para as análises das características físicas e químicas, sendo empregados métodos diferentes para cada análise.

A partir das amostras de solo, dividida pela proporção da fração de terra, sendo a fração menor que 2 mm classificada como Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), é possível correlacionar o local de amostragem com os atributos físicos e químicos do solo, como pH, CTC, Soma de Bases (SB), Macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio), alumínio, hidrogênio, além de se estender para a análise dos micronutrientes, geralmente realizada para a superfície do solo (CAMARGO et al., 2009).

O pH é medido da forma mais simples dentro das propriedades do solo, entretanto é uma medida de grande importância para o conhecimento de uma

área produtiva, já que é levado em consideração em todas as adubações e correções, por estabelecer uma relação direta com a disponibilidade de nutrientes (macro e micronutrientes) e as suas solubilidades correspondentes (MEHLICH, 1948).

O método de Determinação do pH é empregado até os dias atuais pelo Instituto Agrônomo de Campinas, inserido na literatura pela Comissão de Reação do Solo da Sociedade Internacional de Ciência do Solo em 1930, na medida de 1:2,5 (CAMARGO et al., 2009).

Deste modo, todas as medidas realizadas pela análise química laboratorial convencional, por laboratórios certificados, utilizam aparelhos e soluções extratoras específicas para cada elemento, sendo imprescindível a habilidade dos técnicos e engenheiro agrônomo responsável para a execução das determinações.

As análises físicas do solo são realizadas em um laboratório especializado e certificado, podendo ser anexo ao laboratório de química do solo ou em espaço distinto, utilizando técnicas granulométricas para determinar as frações de argila, areia e silte do solo, a fim de correlacionar suas frações com a textura do solo em questão, além de analisar a umidade e outros atributos físicos.

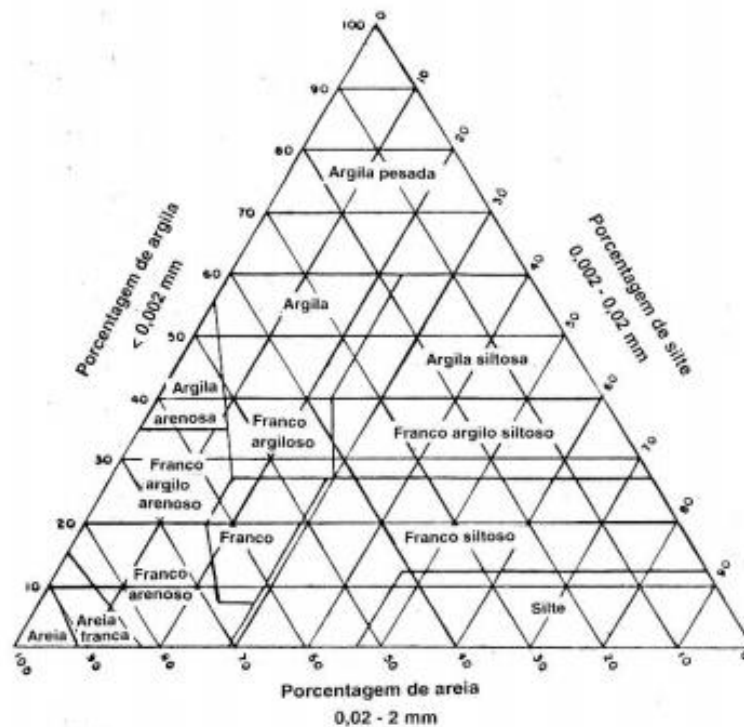
Por ser objetivada a quantificação das frações granulométricas do solo, as amostras não podem conter grandes quantidades de matéria orgânica, calcário e sais solúveis, sendo necessária a repetição do processo de pré-tratamentos para a posterior análise. O estabelecimento da necessidade ou não da realização do pré-tratamento considera tanto as características visíveis da amostra, como também as características do local de coleta (RONQUIM, 2010).

A textura do solo é diretamente correlacionada com diversos aspectos necessários ao crescimento de plantas, permitindo um controle dos parâmetros físico-químicos. Por exemplo, um solo argiloso, é mais rico em óxidos de ferro, além de maior teor de matéria orgânica e CTC, incidindo importante papel na adequação da cultura a ser instalada pelas características específicas (BRANCO, 2014).

O sucesso da análise granulométrica do solo depende da preparação da amostra, a fim de garantir uma dispersão perfeita dos agregados em

partículas primárias, através de equipamentos como o agitador de amostras, como também do fracionamento adequado da amostra, utilizando agentes dispersantes específicos para cada determinação (DAY, 1965).

Após todas as determinações, os dados em porcentagem de argila, silte e areia são cruzados em uma pirâmide base, intitulada como “Triângulo de Determinação de Classes Texturais”, Figura 2.



**Figura 2** - Triângulo para Determinação de classes texturais

**Fonte:** (CAMARGO et al., 2009).

Segundo o UFSCAR (2021a) e UFSCAR (2021b), ambos pertencentes à Universidade Federal de São Carlos, as análises físico-químicas do solo apresentam um custo constante ao produtor, a cada safra, antecedendo o preparo do solo. Os preços variam de R\$ 42,00 a R\$ 52,00 por amostra do solo para as análises de fertilidade, alumínio, enxofre e micronutrientes, além de valores em torno de R\$ 30,00 para a análise física completa, compreendendo a granulometria completa, além de densidade do solo e das partículas.

O aprimoramento da amostragem e análise de solo com o auxílio de novas tecnologias diminui os custos recorrentes ao produtor, oriundos das análises laboratoriais citadas no parágrafo anterior, pois utilizam *softwares* e

mão de obra especializada para interpretar os dados fornecidos pelos sensores desenvolvidos a fim de amostrar diferentes elementos do solo.

Também é poupado o tempo, uma variável muito importante no ramo agrícola, uma vez que o prazo de emissão dos resultados advindos de uma análise de solo gira em torno de 30 dias da entrega ao laboratório. A mão de obra especializada já é um pré-requisito para o produtor atualmente, já que as recomendações de correções e adubações dependem de um Engenheiro Agrônomo (EMBRAPA, 2014).

Contudo, muitos trabalhos e experimentos são conduzidos a fim de elaborar o melhor conjunto de dados possível comparando diversos meios de análise e amostragem, buscando sempre a melhor agregação de conhecimento na agricultura.

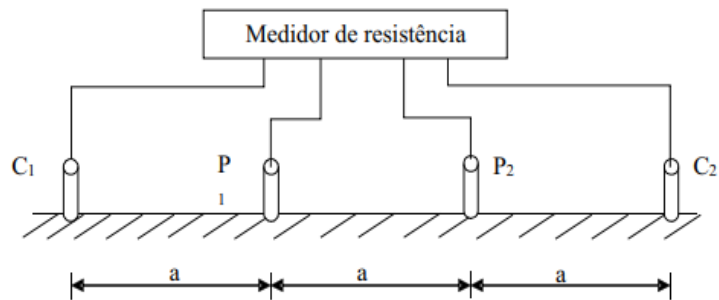
#### **2.4. Análise da condutividade elétrica aparente do solo por indução.**

A corrente elétrica pode ser transmitida pelo solo por três vias, a porção líquida (água), a mistura sólido-líquida através de cátions associados aos minerais de argila e pela porção sólida, que envolve o contato direto das partículas do solo (RHOADES et al., 1999).

Dois termos são conhecidos, a Condutividade elétrica (CE), e a Condutividade elétrica aparente (CEa). A primeira, é medida em solução aquosa, em laboratório, em condições ambientais padronizadas. Entretanto, a CEa, que geralmente é medida pelos sensores, representa uma condutividade elétrica no momento de leitura, já que é influenciada por diversos fatores, como umidade, temperatura, mineralogia, compactação, entre outros (SANCHES, 2018).

Para a condutividade elétrica ser medida, existem duas diferentes possibilidades de estudo, pela resistividade elétrica (RE) ou pela indução eletromagnética (IEM).

A RE é medida pela injeção de uma intensidade de corrente elétrica na superfície do solo, a partir de dois eletrodos. A corrente passa pelo solo e retorna em 2 outros eletrodos receptores (Figura 3), com uma diferença de potencial, proposto por Wenner (TELFORD et al., 1990).



**Figura 3:** Ilustração de medidor de resistência no modelo de Wenner.

**Fonte:** (RABELLO, 2009)

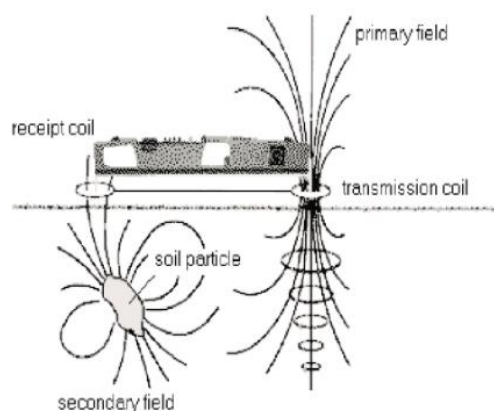
a – Distância entre os eletrodos;

C – Eletrodos de corrente;

P – Eletrodos de potencial;

Já a IEM é medida pela indução de uma corrente circular em espiral no solo (Figuras 4 e 5). Assim, quanto maior for a intensidade de rotação ao interagir com o solo, maior será a leitura de condutividade elétrica (GIMENEZ, 2013).

Dessa forma, cada rotação que é induzida pela corrente gera um campo eletromagnético secundário e uma fração retorna para uma segunda bobina, amplificando os sinais e resultando em uma voltagem relacionada à condutividade elétrica aparente, em função da profundidade (RABELLO, 2009).



**Figura 4:** Ilustração do funcionamento do sensor de indução eletromagnética no solo.

**Fonte:** (LILIENTHAL et al., 2005).

A partir de dispositivos eletromagnéticos, que operam por indução no solo, é possível determinar a variabilidade espacial tanto pelas diferentes texturas do solo, por correlação dos atributos físicos do solo, como também pela grande interação dos fatores biológicos, edáficos, antrópicos e climáticos que é estabelecida com o princípio da força eletromagnética (RABELLO, 2009).

Uma vantagem dos sensores que utilizam o princípio da indução eletromagnética é não possuir a necessidade de o equipamento estar em contato direto com o solo, sendo classificado como um método de amostragem não destrutivo (MOLIN e RABELLO, 2011).

Assim, é possível utilizar as leituras obtidas do sensor, referente à CEa, para analisar a variabilidade da textura do solo, que já demonstraram uma relação forte com a areia (valores baixos) e argila (valores altos) (MACHADO et al., 2006; MOLIN e CASTRO, 2008).

O emprego dos sensores de medições de condutividade elétrica aparente do solo não estão envolvidos somente em áreas de plantio comerciais, como também em áreas de experimentação. Uma vez que é necessário alocar blocos e parcelas de pesquisa para a condução de experimentos, é possível realizar a demarcação dos mesmos seguindo as variabilidades espaciais dos atributos do solo, tornando a pesquisa mais padronizada (CURSI, 2020).

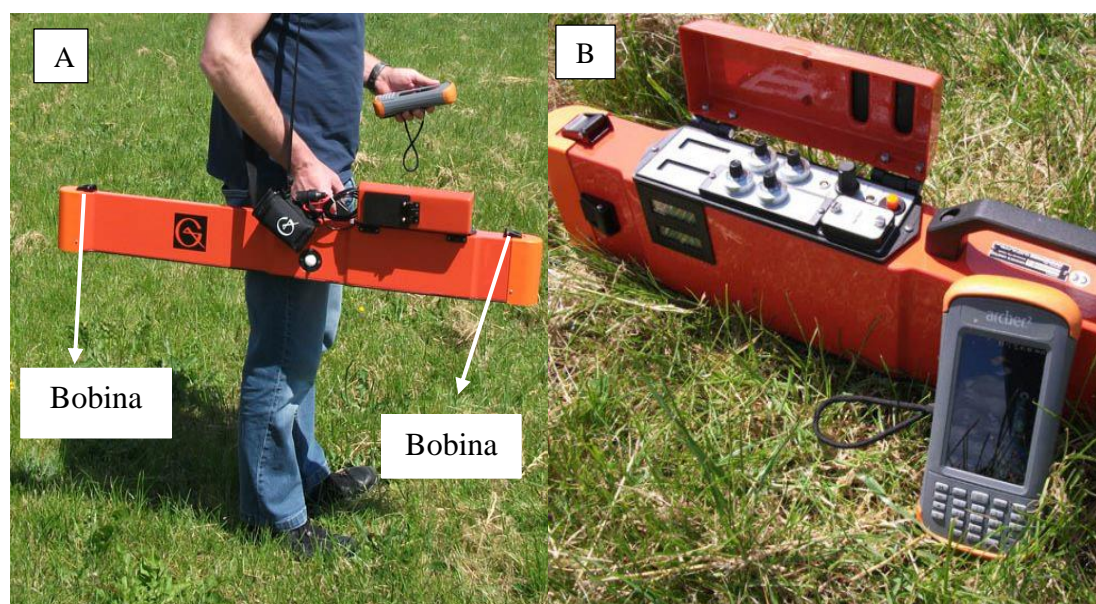
O estudo da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) demonstra-se interessante para a compreensão da heterogeneidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo, visto as correlações entre as variáveis e a sua importância para a condução de cultivos agrícolas e/ou pesquisas experimentais.

#### **2.4.1. EM38-MK2: dados técnicos e funcionamento**

O sensor EM38-MK2® realiza medições da condutividade e susceptibilidade magnética no solo, a depender do objetivo da amostragem estabelecida. Atuando em duas faixas distintas de profundidade do solo, simultaneamente e sem necessitar contato direto com a superfície, possibilita

uma amostragem utilizando veículos automotores com o dispositivo acoplado e suspenso, ou mesmo manualmente, caminhando pela área (GEONICS, 2013)

O dispositivo EM38-MK2®, possui duas bobinas, que são separadas em 1 m e 0,5 m partindo da posição do transmissor, Figura 5A. Quando utilizado na orientação vertical do dipolo, fornece dados nas profundidades de 1,5 m e 0,75 m. Já quando na orientação horizontal, 0,75 m e 0,375 m (GEONICS, 2013).



**Figura 5:** (A) Sensor EM38-MK2 com a indicação da localização das bobinas emissora e receptora; (B) Sensor com o coletor de dados Juniper Archer Field PC ao lado, para o qual os dados são exportados.

### **3. OBJETIVO**

#### **3.1. Geral**

Estudar possíveis correlações entre informações obtidas pelo sensor de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) com os diferentes atributos físicos e químicos do solo.

#### **3.2. Específico**

Demonstrar possíveis aplicações práticas do EM38-MK2 em experimentação agrônômica e em áreas comerciais.



## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Áreas experimentais**

Para analisar possíveis correlações entre informações de CEa com os diferentes atributos físicos e químicos do solo, consideraram-se duas áreas experimentais, localizadas em regiões distintas no estado de São Paulo. Ambos os experimentos foram conduzidos em áreas experimentais do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

#### **4.1.1. Área experimental 1**

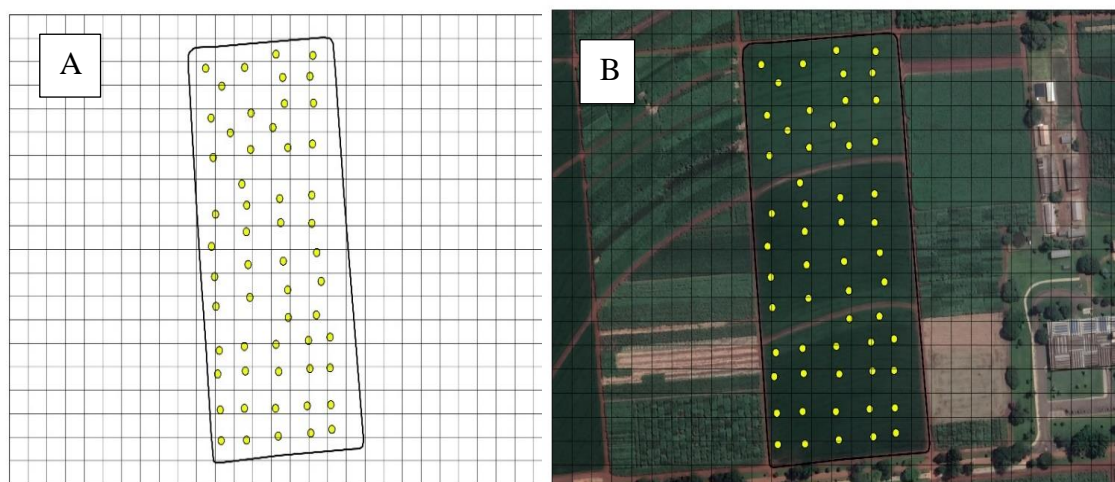
A primeira área (área experimental 1) fica localizada no município de Araras, estado de São Paulo, no Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), com aproximação central na latitude 22°21'25" S e longitude 47°23'03" W de Greenwich, altitude média de 650 m e área estimada em 6,75 hectares. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwa mesotérmico, apresentando verões quentes e úmidos e invernos secos. A precipitação anual média é quantificada em 1.300 mm e uma temperatura média anual de 21,1°C. Segundo Yoshida e Stolf (2016), o solo na área experimental é classificado predominantemente como Latossolo Vermelho, distrófico, A moderado, com textura argilosa.

#### **4.1.2. Área experimental 2**

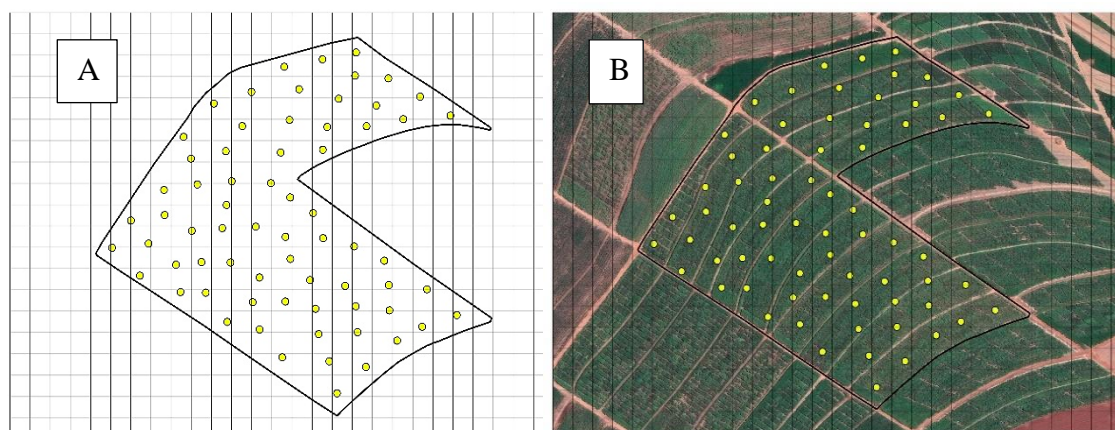
A área experimental 2 é localizada no município de Valparaíso, estado de São Paulo, latitude 21°13'20" S e longitude 50°52'00" W de Greenwich, com uma altitude média de 460 m e uma área estimada em 9,7 hectares. De acordo com a classificação de Köppen, a região apresenta um clima tropical com estação seca (Aw), megatérmico, e com uma precipitação anual média de 1.168 mm e temperatura média anual de 21,9°C. Diferentemente da área experimental 1, esta área é caracterizada predominantemente por solos arenosos, classificados como Podzólicos Vermelho-Amarelo (DIAS et al., 1999).

## 4.2. Amostragem do solo

Previamente à leitura pelo sensor de condutividade elétrica aparente do solo (CEa), ambas as áreas experimentais foram georreferenciadas e as amostras de solo convencionais foram conduzidas em malha regular, com pontos igualmente espaçados e distribuídos de forma homogênea por toda região experimental, Figuras 6 (A e B) e 7 (A e B). Como o objetivo da amostragem do solo é relacionado a investigação da possível estrutura da variabilidade espacial, optou-se por estabelecer uma amostragem em alta densidade, com um número suficiente de amostras para uma boa estimativa dos parâmetros avaliados.



**Figura 6:** (A) Disposição dos pontos amostrais em grade regular para amostragem na área experimental 1; (B) Sobreposição da imagem de satélite da área experimental 1.

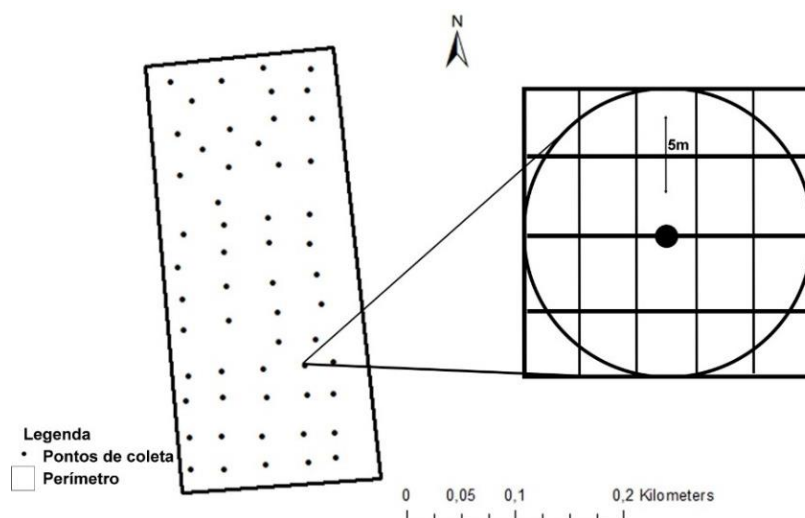


**Figura 7:** (A) Disposição dos pontos amostrais em grade regular para amostragem na área experimental 2; (B) Sobreposição da imagem de satélite da área experimental 2.

Na área experimental 1 (Figura 6), 56 pontos foram amostrados nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm e, na área experimental 2 (Figura 7), 68 pontos foram amostrados, nas respectivas profundidades. Cada ponto amostral foi composto por seis subamostras, coletadas em um raio médio (*buffer*) de 5 metros do ponto principal central, conforme Figura 8.

O “*buffer*” é uma aplicação que permite um contorno de qualquer ponto, linha, polígono ou elemento da área delimitada. Muito utilizado para gerar informações sobre APP’s (Áreas de Preservação Permanentes), também pode ser utilizada como uma ferramenta de delimitação de área de impacto ou influência (ARCGIS, 2021). Neste caso, foi utilizada a fim de definir uma área a uma distância específica, contornando uma posição geográfica, que representa cada ponto de amostragem, além de corrigir possíveis erros de posicionamento, registrados pelo GPS (Código C/A) (OLIVEIRA, 2011).

As amostras de ambas as áreas experimentais foram enviadas ao laboratório de solos do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental da UFSCar (DRNPA), a fim de analisar e determinar os atributos químicos do solo, dentre eles: macronutrientes, pH, matéria orgânica (M.O.), alumínio (Al), saturação por alumínio (porcentagem de m), acidez potencial (H+Al), saturação por bases (V%) (RAIJ et al., 2001). Para as mesmas amostras, analisaram-se as características físicas, como os teores de areia (fina, grossa e total), silte e argila (CAMARGO et al., 1987).



**Figura 8:** Demonstração do “*buffer*” de 5 metros em cada ponto amostral. Área experimental 1.

### 4.3. Leitura da condutividade elétrica aparente do solo (CEa)

Posteriormente à implantação dos experimentos e das análises convencionais do solo, realizaram-se as leituras de ambas as áreas com o sensor EM38-MK2<sup>®</sup>, sendo previamente calibrado conforme as instruções do fabricante.

Durante o procedimento de leitura, todos os objetos metálicos carregados, como relógios e pulseiras, foram removidos para evitar interferências no fluxo de amostragem por indução.

As medições foram realizadas manualmente, sem algum veículo para transporte acoplado, com uma distância média paralela entre as passadas de 1,5 m, isto é, as leituras foram feitas na linha central das parcelas experimentais, compostas de dois sulcos de 27 m de comprimento cada. Para tanto, utilizou-se um receptor GPS, conectado ao sensor, do tipo L1 (*Trimble*), para o registro das coordenadas geográficas, além de um coletor de dados para o registro das informações obtidas pelas medições (*Juniper Archer Field PC*), Figura 9.



**Figura 9:** “Juniper Archer Field PC”.

**Fonte:** Juniper Systems (2019)

#### 4.3.1. Tratamento e análise dos dados.

Através das informações provenientes da análise de solo, de ambas as áreas experimentais, realizou-se uma análise exploratória do conjunto de dados, a fim de entender as características inerentes aos dados coletados em campo e direcionados ao laboratório de solos. Esse processo é muito

importante para entender o comportamento do conjunto de dados, e remover valores discrepantes, conhecidos como “*outliers*”, caso seja preciso.

O método utilizado foi de diagramas de dispersão, a fim de avaliar o padrão de uniformidade entre cada conjunto de valores. De acordo com Martins (2018), a partir dos gráficos de dispersão é possível identificar valores atípicos em variáveis de natureza quantitativa.

Os valores obtidos pelo sensor de CEa foram inseridos no *software* ArcGIS 10.8, assumindo posições geográficas determinadas pelo GPS acoplado ao sensor no momento das medições. Sobrepostos os “*buffers*”, gerados pelas localizações geográficas das amostragens de solo, utilizou-se a função “*clip*”, para selecionar somente os valores de CEa dentro dos limites de 5 m de raio de cada “*buffer*”. A função “*clip*” é uma ferramenta de seleção das feições de entrada para o recorte de suas áreas de interesse. O clip pode ser utilizado tanto para camadas “*raster*” como qualquer “*shapefile*” sem alterar os dados subjacentes (GIS, 2020).

Este procedimento foi realizado para posterior cálculo da função “*zonal statistic*” para a obtenção da estatística descritiva do conjunto de dados (média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão, etc). No presente estudo, somente a média e o desvio padrão dos valores de CEa dentro de cada “*buffer*” foram considerados para corresponder com cada ponto amostral de solo coletada convencionalmente.

Houve o tratamento dos dados de CEa correspondente a cada “*buffer*”, removendo pontos que fossem maiores ou menores que 3 vezes o desvio padrão de cada conjunto de dados.

Com os dados obtidos pela estatística descritiva na seção anterior, realizou-se um vínculo entre as médias de CEa medidas pelo sensor em cada área dentro do “*buffer*” com os resultados da análise de solo convencional, contendo os elementos físicos e químicos, a fim de que cada amostra de solo possua uma média de CEa representativa.

Em sequência, importou-se os dados para o *software* R (R Core Team, 2021), para analisar as possíveis correlações existentes entre os elementos físicos e químicos do solo e os dados provenientes do sensor de CEa. Para tanto, utilizaram-se os seguintes comandos e rotinas no R para os cálculos estatísticos e geração de gráficos, conforme descrito abaixo.

Para a leitura do conjunto de dados provenientes de uma tabela com extensão “.xls” utilizou-se o pacote “*readxl*”, intitulada de “*tabela.amostragem*”, executando-o a partir de “*library*”. Em seguida, realizou-se a leitura dos dados do arquivo pela função “*read\_excel*”, conforme detalhado abaixo:

```
install.packages (“readxl”)
library (“readxl”)
tabela.amostragem ← read_excel
(“C:/Desktop/tabela.amostragem.xlsx”)
```

Nesta etapa, foi preciso atribuir valores numéricos as variáveis analisadas ao invés de caracteres, conforme rotina abaixo:

```
col_types = c (“numeric”, “numeric”, “numeric”,
               “numeric”, “numeric”, “numeric”,
               “numeric”, “numeric”, “numeric”,
               “numeric”, “numeric”, “numeric”,
               “numeric”, “numeric”, “numeric”,
               “numeric”, “numeric”))
```

Com os dados da tabela já preparados, executou-se a função “*cor*”, para o cálculo da correlação de *Pearson* entre o conjunto de dados.

```
cor (tabela.amostragem)
```

A fim de facilitar a configuração e novas incorporações de análises a partir da correlação dos dados, houve a renomeação do item.

```
M ← cor(tabela.amostragem)
```

Com a instalação dos pacotes “*p.mat*”, “*cor.mtest*” foi possível a classificação dos dados de correlação de acordo com o nível de significância, fixado em 0,05%. O pacote “*cor.mtest*” também apresenta o cálculo de correlação.

```
Install.package (“cor.mtest”)
Install.package (“p.mat”)
cor.mtest <- function(mat, ...) {
  mat <- as.matrix(mat)
  n <- ncol(mat)
  p.mat <- matrix(NA, n, n)
  diag(p.mat) <- 0
```

```

for (i in 1:(n - 1)) {
for (j in (i + 1):n) {
tmp <- cor.test(mat[, i], mat[, j], ...)
p.mat[i, j] <- p.mat[j, i] <- tmp$p.value}}
colnames(p.mat) <- rownames(p.mat) <- colnames(mat)
p.mat}

```

Em seguida, definiu-se o “cor.mtest” como “p.mat” a fim de facilitar os processos posteriores.

```
p.mat ← “cor.mtest (M)”
```

Dados de correlação da significância:

```
head(p.mat[, 1:20])
```

Finalmente, para a elaboração das matrizes de correlação, de forma gráfica, utilizou-se o pacote “*corrplot*”, seguindo configurações estabelecidas no código de inserção do pacote.

```
install.packages (“corrplot”)
```

```
corrplot(M, method = “number”, type=“upper”, order=“hclust”,
p.mat = p.mat, sig.level = 0.05)
```

A fim de facilitar a visualização dos dados significantes à avaliação, foram inseridas configurações personalizadas, como “*insig* = “*blank*”, tornando os dados acima do nível de significância tolerado invisíveis.

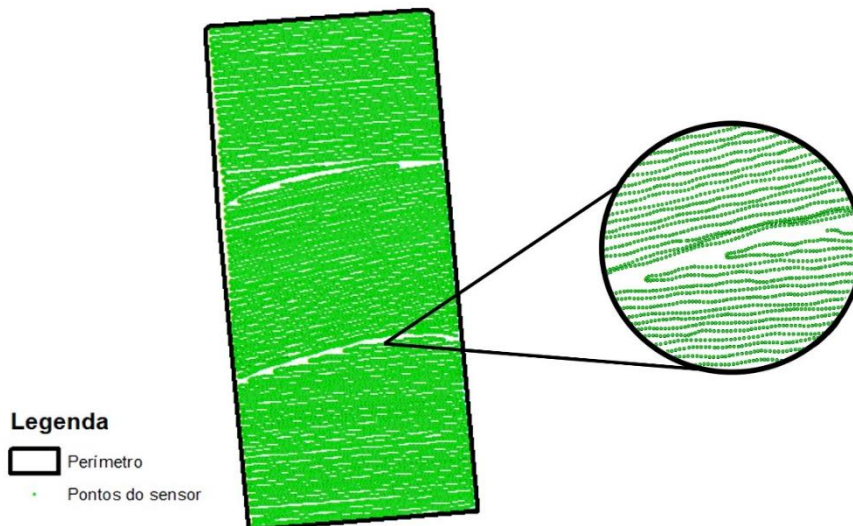
Também foram elaborados gráficos de correlação com o método de “*shades*”, apenas para a melhor visualização da classificação de cada grau de correlação, além da diferenciação entre dados significantes e não significantes, apresentados com um “*xis*”, sem a presença do coeficiente.

Acerca da análise de variabilidade espacial da CEa, a camada do sensor de cada área experimental foi convertida em “*raster*” no *software* ArcGIS 10.8, obtendo uma classificação de acordo com os valores obtidos da CEa, tanto em 0,375 m quanto em 0,75 m de profundidade.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Análise da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) na área experimental 1

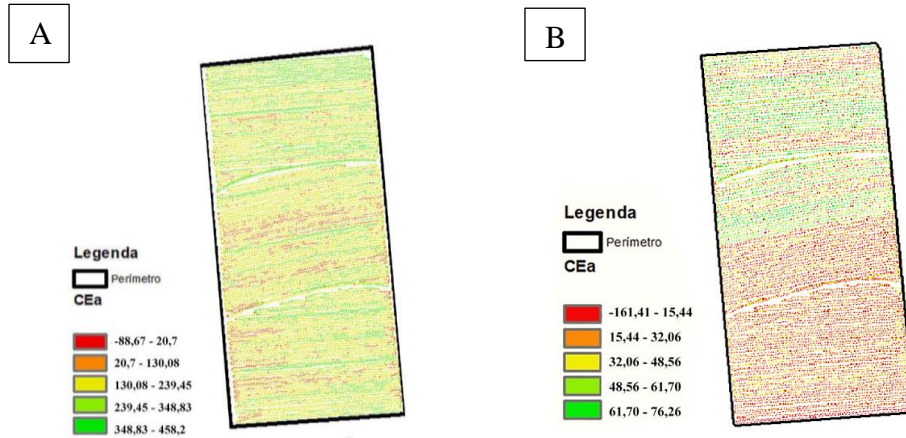
Com o emprego do sensor EM38-MK2<sup>®</sup>, obtiveram-se 17.694 pontos de leitura dentro da área experimental 1, conforme Figura 10.



**Figura 10:** Pontos de leitura utilizando o sensor EM38-MK2, área experimental 1, com o detalhamento (*zoom*) da densidade de pontos à direita (caminhamento dos pontos de amostragem).

Após a conversão dos dados de medições coletados pelo caminhamento com o sensor nas áreas experimentais em uma camada *raster*, diferentes padrões de variabilidade espacial de CEa em toda a extensão da área experimental, podem ser observados. De forma geral, cinco faixas de classificação dos valores de CEa foram obtidos, com variações de -88,67 a 458,2, na profundidade de 0,375 m (Figura 11, A), e de -161,41 a 76,26, na profundidade de 0,75 m (Figura 11, B).





**Figura 11:** (A) Mapa gradual da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) a 0,375 m de profundidade, considerando a variabilidade espacial; (B) Mapa gradual da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) a 0,75 m de profundidade, considerando a variabilidade espacial. Informações referentes a Área experimental 1.

## 5.2. Análise exploratória dos dados de solo em superfície da área experimental 1

Na tabela 1 são apresentados os resultados da análise de solo dos atributos químicos: macronutrientes, pH, M.O, P, Al, m%, v%, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC e V% e as características físicas do solo: teores de areia (fina, grossa e total), argila e silte, na profundidade de 0 a 20 cm, obtidos em laboratório.

Após o tratamento dos dados, identificou-se a presença de valores atípicos em um dos pontos amostrais, sendo este dado removido para as análises posteriores, Figura 18, Apêndice A. Assim, no total, 55 pontos amostrais foram considerados.

**TABELA 1:** Estatística descritiva dos atributos físicos e químicos do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, Área experimental 1.

Atributo	Profundidade (0 a 20 cm)					
	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	D.P. (%)	CV (%)
Argila	600	682	641	642	18,74	2,92
Areia grossa	89	118	102	102	7,13	6,97
Areia fina	51	79	70	69	6,62	9,66
Areia total	148	195	173	171	11,35	6,64
Silte	155	230	184	187	16,04	8,59
P	5	35	15	17	6,55	39,49
M.O.	17	28	22	22	2,21	9,9
pH	4	6	5	5	0,25	5,14
K	0	2	1	1	0,34	46,82
Ca	16	38	23	23	5,06	21,55
Mg	5	14	9	9	1,9	21,99
H+Al	16	55	42	43	7,25	16,67
Al	1	4	1	2	0,73	44,18
SB	22	53	33	33	6,76	20,56
CTC	39	94	77	76	7,83	10,26
v%	30	59	42	43	7,61	17,65
m%	1	13	4	5	2,88	55,8

Fósforo (P) – mg/dm<sup>3</sup>; Matéria orgânica (M.O.) – g/dm<sup>3</sup>; pH; potássio (K) – mmolc/dm<sup>3</sup>; cálcio (Ca) – mmolc/dm<sup>3</sup>; magnésio (Mg) – mmolc/dm<sup>3</sup>; acidez potencial (H+Al) – mmolc/dm<sup>3</sup>; alumínio (Al) – mmolc/dm<sup>3</sup>; saturação por base (SB) – mmolc/dm<sup>3</sup>; capacidade de troca de cátions (CTC) – mmolc/dm<sup>3</sup>; percentual de saturação por base (V) - %; percentual de saturação por alumínio (m) - %; D.P. – desvio padrão; CV – coeficiente de variação.

Os resultados da análise física dos atributos do solo permitem observar, na profundidade de 0 a 20 cm, um alto teor médio de argila (642 g/kg), em comparação com silte (187 g/kg) e areia total (171 g/kg).

Por outro lado, a análise química do solo demonstrou que os teores médios dos macronutrientes foram de 17 mg/dm<sup>3</sup> para o fósforo, 1 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para o potássio, 23 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para o cálcio e 9 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para o magnésio.

O pH do solo foi equivalente a 5,0. Os teores dos demais atributos, em média, foram: matéria orgânica = 22 g/dm<sup>3</sup>, soma de bases (SB) = 33 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, capacidade de troca catiônica (CTC) = 76 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, saturação por bases (v) = 43%, saturação por alumínio (m) = 5%, acidez potencial = 43 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> e alumínio = 2 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>.

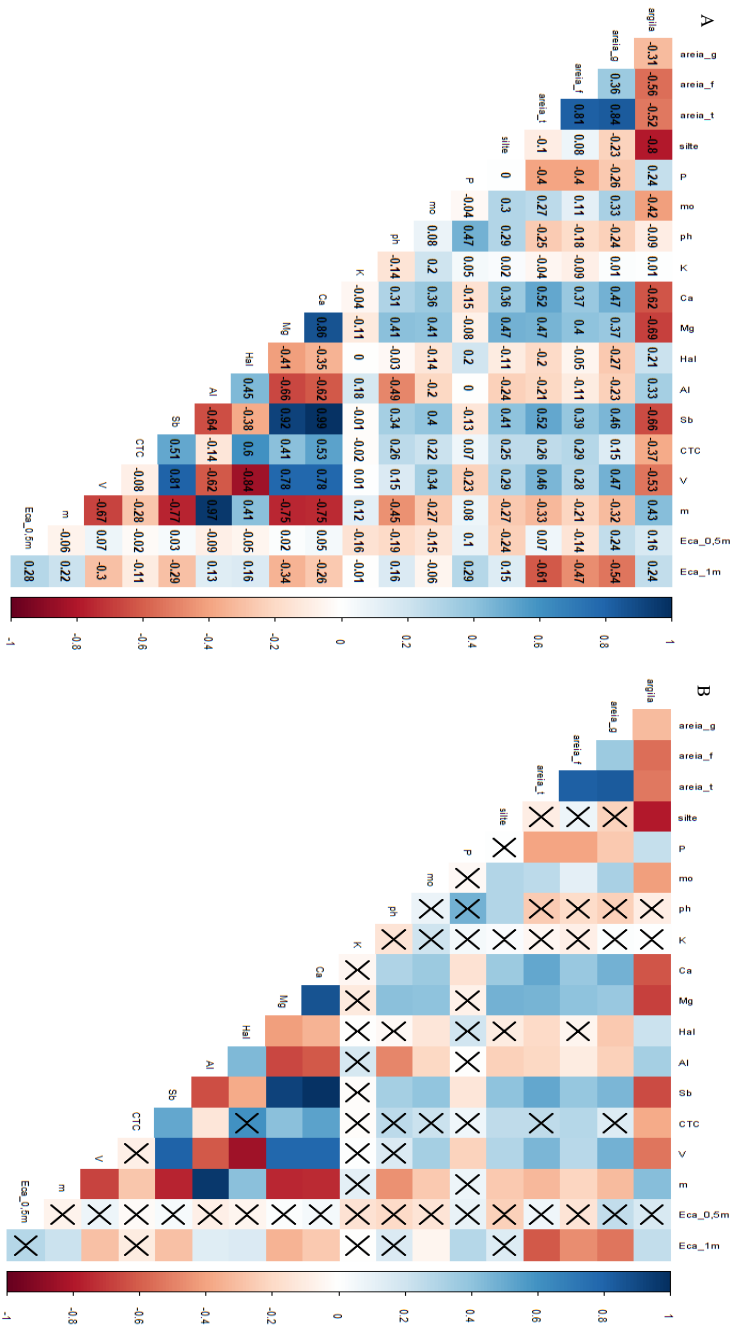
Os valores de desvio padrão (D.P) expressam o grau de dispersão de um conjunto de dados, sendo que quanto mais próximo de zero, mais uniforme são os dados de cada conjunto. Os atributos que obtiveram os maiores valores de desvio padrão foram: argila (18,74%), silte (16,04%) e areia total (11,35%).

O coeficiente de variação (CV) de cada conjunto de elementos fornece a variação dos dados de acordo com a sua média. Contudo, observa-se que todos os atributos físicos do solo apresentam baixos valores de CV, demonstrando uma alta uniformidade entre os dados. Por outro lado, valores altos de CV são observados para o potássio (CV = 46,82%), alumínio (CV = 44,18) e fósforo (CV = 39,49).

### **5.2.1. Correlações entre os atributos físicos e químicos do solo e a CEa em superfície**

Diferentes estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as leituras de CEa com os atributos físicos e químicos do solo são observadas, Figura 12 (A e B). Nas leituras realizadas a 0,375 m de profundidade, é possível observar valores de correlação fraca com todos os elementos do solo. Entretanto, a 0,75 m de profundidade, correlações positivas e fracas são observadas com a argila (r = 0,24), percentagem de saturação por alumínio (r = 0,22), teores de alumínio (r = 0,13), acidez potencial (r = 0,16) e fósforo (r = 0,29). Também são observadas correlações negativas e fracas entre a CEa e cálcio (r = -0,26), magnésio (r = -0,34), percentual de saturação por bases (r = -0,3) e soma de bases (r = -0,29). Além

disso, a CEa possui correlações negativas moderadas com os atributos físicos areia fina ( $r = -0,47$ ), areia grossa ( $r = -0,54$ ) e areia total ( $r = -0,61$ ). Todos os valores de correlações apresentados foram significativos considerando um nível de significância de 0,05%.



**Figura 12:** (A) Valores de correlação entre as diferentes variáveis estudadas. (B) Correlações significativas considerando um nível de significância de 0,05% entre as diferentes variáveis físicas e químicas do solo: alumínio (Al); areia grossa (areia\_g); areia fina (areia\_f); areia total (areia\_t); argila; cálcio (Ca); CTC; Condutividade elétrica aparente a 0,75m de profundidade (Eca\_1m); Condutividade elétrica aparente a 0,375m (Eca\_0,5m); potássio (K); teor de saturação por alumínio (m); teor de saturação por base (V); magnésio (Mg); soma de bases (Sb); pH; fósforo (P); H+Al (Hal); matéria orgânica (mo); silte. Informações referentes à área experimental 1 em superfície.

### 5.3. Análise exploratória dos dados de solo em profundidade da área experimental 1

Na tabela 2 são apresentados os resultados da análise de solo dos atributos químicos: macronutrientes, Ph, M.O, P, Al, m%, v%, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC e V% e as características físicas do solo: teores de areia (fina, grossa e total), argila e silte, na profundidade de 20 a 40 cm.

Do mesmo modo, conforme realizado para a camada superficial do solo, todos os dados foram tratados previamente, identificando-se a presença de *outliers* no conjunto de dados (Figura 19, Apêndice B), sendo removidos para as análises posteriores. Assim, no total, 55 pontos amostrais foram considerados.

**TABELA 2:** Estatística descritiva dos atributos físicos e químicos do solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade, Área experimental 1.

Atributo	Profundidade (20 a 40 cm)					
	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	D.P.	CV (%)
<b>Argila</b>	608	690	663	660	18,46	2,00
<b>Areia grossa</b>	87	120	102	102	6,61	7,00
<b>Areia fina</b>	53	76	62	62	5,18	8,00
<b>Areia total</b>	143	183	167	165	8,69	5,00
<b>Silte</b>	139	233	171	175	18,15	10,00
<b>P</b>	4	45	13	16	10,03	62,00
<b>M.O.</b>	14	28	18	18	2,47	14,00
<b>pH</b>	5	6	5	5	0,2	4,00
<b>K</b>	0	1	0	0	0,16	44,00
<b>Ca</b>	10	31	19	19	4,47	24,00
<b>Mg</b>	4	13	7	7	1,82	26,00
<b>H+Al</b>	29	58	40	40	6,27	16,00
<b>Al</b>	0	4	1	1	0,63	53,00
<b>SB</b>	15	44	26	26	6,13	23,00
<b>CTC</b>	51	84	67	67	7,29	11,00
<b>v%</b>	25	59	39	40	7,31	19,00
<b>m%</b>	1	13	4	5	2,57	57,00

Fósforo (P) – mg/dm<sup>3</sup>; Matéria orgânica (M.O.) – g/dm<sup>3</sup>; pH; potássio (K) – mmolc/dm<sup>3</sup>; cálcio (Ca) – mmolc/dm<sup>3</sup>; magnésio (Mg) – mmolc/dm<sup>3</sup>; acidez potencial (H+Al) – mmolc/dm<sup>3</sup>; alumínio (Al) – mmolc/dm<sup>3</sup>; saturação por base (SB) – mmolc/dm<sup>3</sup>; capacidade de troca de cátions (CTC) – mmolc/dm<sup>3</sup>; percentual de saturação por base (V) - %; percentual de saturação por alumínio (m) - %; D.P. – desvio padrão; CV – coeficiente de variação.

Proporções semelhantes dos atributos físicos do solo, obtidas na camada superficial, podem ser também observadas para a profundidade de 20 a 40 cm, isto é, alto teor médio de argila (660 g/kg) quando comparado ao silte (175 g/kg) e a areia total (165 g/kg).

Os teores médios de macronutrientes nas amostras analisadas foram de: fósforo = 16 mg/dm<sup>3</sup>, cálcio = 19 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> e magnésio = 7 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>. Os teores de potássio se demonstraram nulos, quando considerado o valor médio, mas obteve valores variando entre zero e 1 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>.

O pH médio do solo foi igual a 5,0. Já as quantidades dos outros atributos químicos analisados foram, em média: matéria orgânica = 18 g/dm<sup>3</sup>, soma de bases = 26 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, capacidade de troca catiônica = 67 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, teor de saturação por bases (v) = 40% e teor de saturação por alumínio (m) = 5%. A acidez potencial apresentou em média 40 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> e o alumínio foi equivalente a 1 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>.

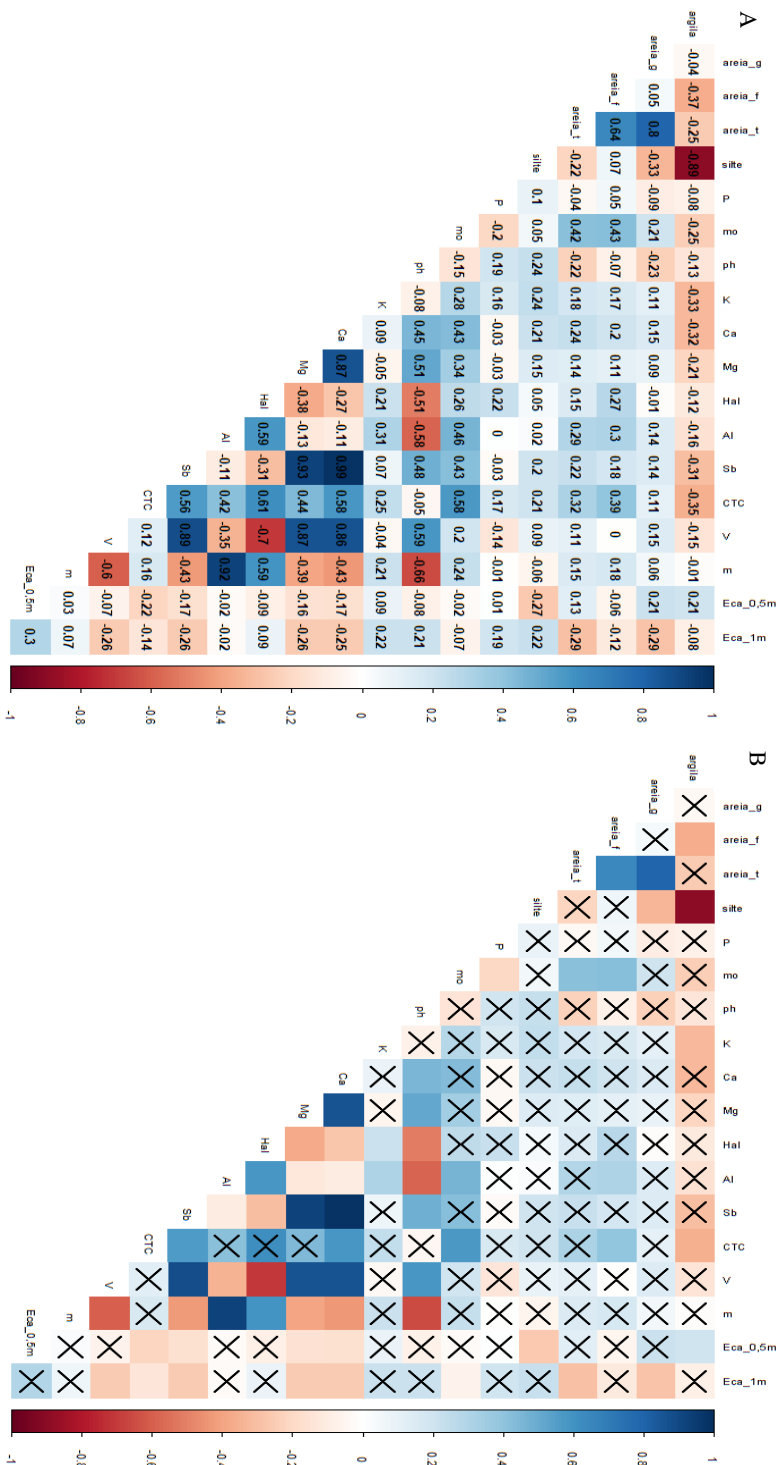
No geral, os valores de desvio padrão foram baixos, com exceção dos valores obtidos para a argila (DP = 18,46%), silte (DP = 18,15%) e fósforo (DP = 10,03%).

A maioria dos atributos apresentou valores de CV alto, com destaque para o fósforo (P), com coeficiente de variação igual a 62%, alumínio (CV = 53%), teor de saturação por alumínio (CV = 57%) e potássio (CV = 44%).

### **5.3.1. Correlações entre os atributos físicos e químicos do solo e a CEa**

Em relação ao sensor de condutividade elétrica aparente do solo, considerando as leituras realizadas a 0,375 m de profundidade, é possível encontrar uma fraca correlação negativa com quase todos os atributos físicos e químicos do solo, destacando-se o cálcio ( $r = -0,16$ ) e a soma de bases ( $r = -0,17$ ). A única correlação positiva encontrada foi com a argila ( $r = 0,25$ ).

Na profundidade de 0,75 m obtiveram-se também correlações negativas fracas com o cálcio ( $r = -0,22$ ), soma de bases ( $r = -0,22$ ), magnésio ( $r = -0,24$ ) e teor de saturação por base ( $r = -0,24$ ). Correlação positiva fraca é observada com o fósforo ( $r = 0,24$ ).

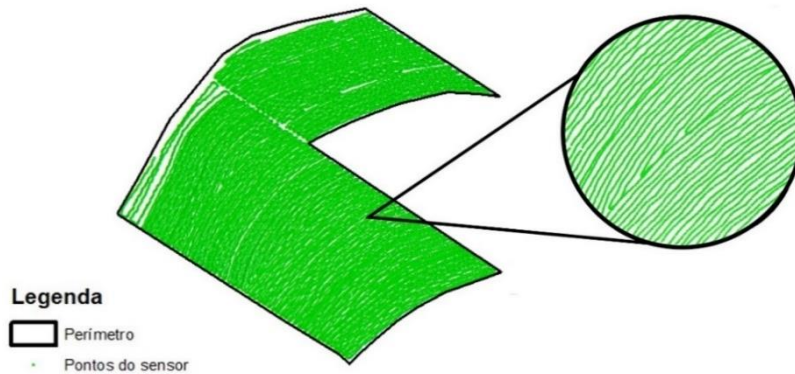


**Figura 13:** (A) Valores de correlação entre as diferentes variáveis estudadas. (B) Correlações significativas considerando um nível de significância de 0,05% entre as diferentes variáveis físicas e químicas do solo: alumínio (Al); areia grossa (areia\_g); areia fina (areia\_f); areia total (areia\_t); argila; cálcio (Ca); CTC; Condutividade elétrica aparente a 0,75m de profundidade (Eca\_1m); Condutividade elétrica aparente a 0,375m (Eca\_0,5m); potássio (K); teor de saturação por alumínio (m); teor de saturação por base (V); magnésio (Mg); soma de bases (SB); pH; fósforo (P); H+Al (Hai); matéria orgânica (mo); silte. Informações referentes a área experimental 1 em profundidade.



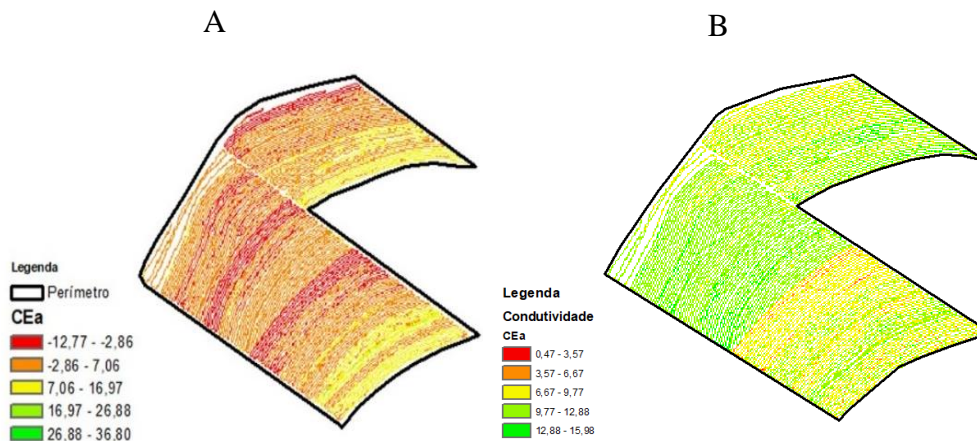
#### 5.4. Análise da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) na área experimental 2

Com o emprego do sensor EM38-MK2®, obtiveram-se 25.457 pontos de leitura dentro da área experimental 2 (Figura 14).



**Figura 14:** Pontos de leitura utilizando o sensor EM38-MK2, área experimental 2, com o detalhamento (zoom) da densidade de pontos à direita (caminhamento dos pontos de amostragem).

Assim como na área experimental 1, consideraram-se todos os dados brutos de leitura em campo para a conversão da camada de medição em *raster*. De modo geral, observa-se variações dos valores da CEa na extensão do solo em cinco diferentes classes, variando de -12,77 a 36,80, na profundidade de medição de 0,375 m (Figura 15A), e de 0,47 a 15,98, na profundidade de medição de 0,75 m (Figura 15B).



**Figura 15:** (A) Mapa gradual da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) a 0,375 m de profundidade, considerando a variabilidade espacial (B) Mapa gradual da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) a 0,75 m de profundidade, considerando a variabilidade espacial. Informações referentes a área experimental 2.

## 5.5. Análise exploratória dos dados do solo em superfície da área experimental 2

Na tabela 3 são apresentados os resultados da análise de solo dos atributos químicos: macronutrientes, pH, M.O, P, Al, m%, v%, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC e V% e as características físicas do solo: teores de areia (fina, grossa e total), argila e silte, na profundidade de 0 a 20 cm.

Após o tratamento dos dados, não se identificou a presença de “outliers” (Figura 20, Apêndice C), mantendo todos os 68 pontos amostrais para as análises posteriores.

**TABELA 3:** Estatística descritiva dos atributos físicos e químicos do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, Área experimental 2.

Atributo	Profundidade (0 a 20 cm)					
	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	D.P.	CV (%)
<b>Argila</b>	72	158	112	113	19,19	17,00
<b>Areia grossa</b>	526	665	605	606	32,55	5,37
<b>Areia fina</b>	176	311	242	246	29,35	11,95
<b>Areia total</b>	807	886	853	851	15,89	1,87
<b>Silte</b>	6	85	39	36	17,38	48,29
<b>P</b>	7	29	17	17	4,49	26,25
<b>M.O.</b>	5	12	8	8	1,54	18,78
<b>pH</b>	5	7	6	5	0,41	7,43
<b>K</b>	1	1	1	1	0,16	17,76
<b>Ca</b>	10	37	15	16	4,02	25,61
<b>Mg</b>	3	10	6	6	1,22	21,75
<b>H+Al</b>	10	52	14	14	4,96	34,88
<b>Al</b>	0	1	0	0	0,12	39,79
<b>SB</b>	14	42	22	22	4,63	20,83
<b>CTC</b>	29	76	35	36	6,53	17,92
<b>v%</b>	31	76	61	61	7,21	11,80
<b>m%</b>	0	3	1	1	0,65	47,57

Fósforo (P) – mg/dm<sup>3</sup>; Matéria orgânica (M.O.) – g/dm<sup>3</sup>; pH; potássio (K) – mmolc/dm<sup>3</sup>; cálcio (Ca) – mmolc/dm<sup>3</sup>; magnésio (Mg) – mmolc/dm<sup>3</sup>; acidez potencial (H+Al) – mmolc/dm<sup>3</sup>; alumínio (Al) – mmolc/dm<sup>3</sup>; saturação por base (SB) – mmolc/dm<sup>3</sup>; capacidade de troca de cátions (CTC) – mmolc/dm<sup>3</sup>; percentual de saturação por base (V) - %; percentual de saturação por alumínio (m) - %; D.P. – desvio padrão; CV – coeficiente de variação.

Os resultados da análise física dos atributos do solo permitem observar, na profundidade de 0 a 20 cm, teores médios de argila de 113 g/kg, 851 g/kg de areia total e 36 g/kg de silte.

As quantidades de macronutrientes nas amostras analisadas, em média, foram de: fósforo = 17 mg/dm<sup>3</sup>, potássio = 1 mmol/dm<sup>3</sup>, cálcio = 16 mmol/dm<sup>3</sup> e magnésio = 6 mmol/dm<sup>3</sup>.

O pH médio foi de 5,0. Já as quantidades dos outros atributos químicos analisados foram, em média: matéria orgânica = 8 g/dm<sup>3</sup>, soma de bases = 22 mmol/dm<sup>3</sup>, capacidade de troca catiônica = 36 mmol/dm<sup>3</sup>, teor de saturação por bases (v) = 61% e teor de saturação por alumínio (m) = 1%.

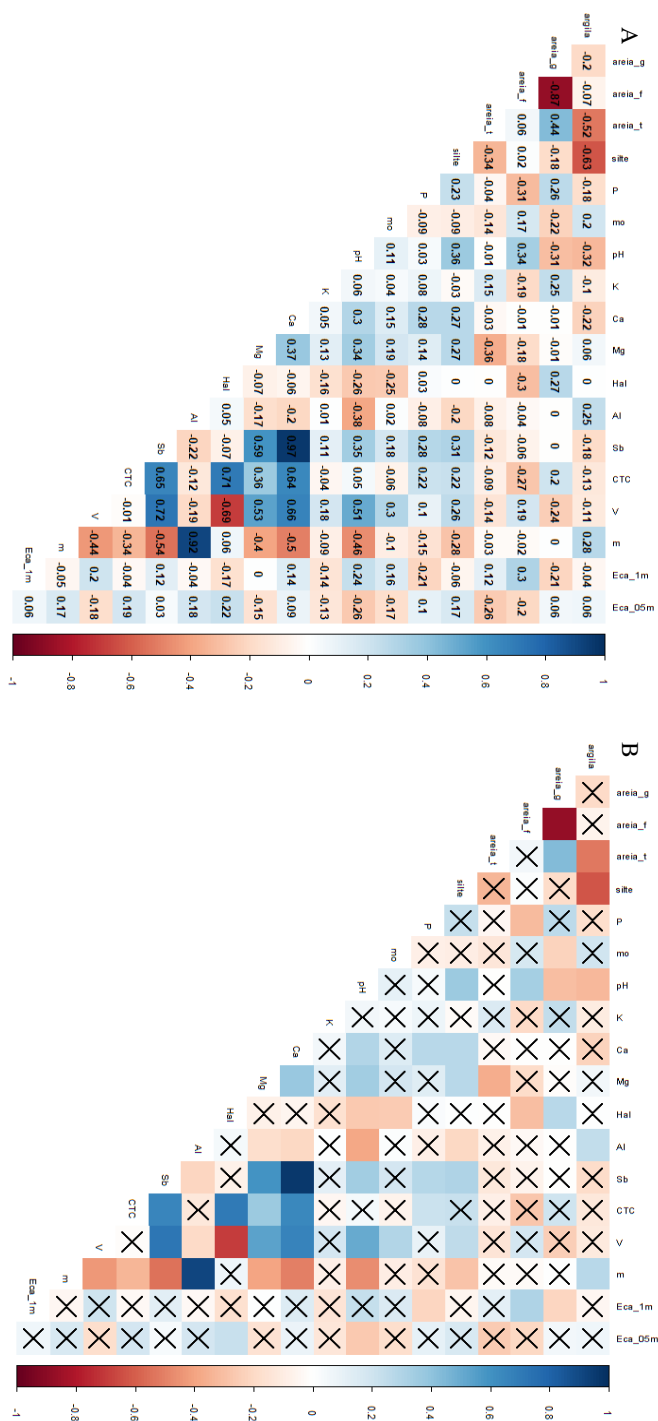
A acidez potencial apresentou valor médio de 14 mmol/dm<sup>3</sup>. Já o teor de alumínio, em média, resultou como nulo, mas obteve um valor máximo de 1 mmol/dm<sup>3</sup>.

No geral, os valores de desvio padrão foram baixos, com exceção da argila (DP = 19,19%), areia grossa (DP = 32,55%), areia fina (DP = 29,35%) e areia total (DP = 15,89%).

Os valores do coeficiente de variação dos atributos físicos e químicos demonstraram-se altos, com destaque para o silte (CV = 48,29%), m% (CV = 47,57), alumínio (CV = 39,79%) e acidez potencial (CV = 34,88%).

#### **5.5.1. Correlações entre os atributos físicos e químicos do solo em superfície e a CEa**

Na profundidade de 0,375 m as leituras de CEa se correlacionam fracamente com todos os atributos do solo, exceto com a acidez potencial, que apresentou correlação positiva ( $r = 0,22$ ), e com o pH, correlação negativa ( $r = -0,26$ ), ambas de magnitude moderadas. Já na profundidade de 0,75 m, observa-se correlação positiva moderada com areia fina ( $r = 0,30$ ) e negativas com areia grossa ( $r = -0,21$ ) e fósforo ( $r = -0,21$ ) (Figura 16).



**Figura 16:** Valores de correlação entre as diferentes variáveis estudadas. (B) Correlações significativas considerando um nível de significância de 0,05% entre as diferentes variáveis físicas e químicas do solo: alumínio (Al); areia grossa (areia\_g); areia fina (areia\_f); areia total (areia\_t); argila; cálcio (Ca); CTC; Condutividade elétrica aparente a 0,75m de profundidade (Eca\_1m); Condutividade elétrica aparente a 0,375m (Eca\_0,5m); potássio (K); teor de saturação por alumínio (m); teor de saturação por base (V); magnésio (Mg); soma de bases (SB); pH; fósforo (P); H+Al (Hal); matéria orgânica (mo); silte. Informações referentes a área experimental 2 em superfície.

## 5.6. Análise exploratória dos dados do solo em profundidade na área experimental 2

Na tabela 4 são apresentados os resultados da análise de solo dos atributos químicos: macronutrientes, pH, M.O, P em resina, Al, m%, v%, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC e V% e as características físicas do solo: teores de areia (fina, grossa e total), argila e silte, na profundidade de 20 a 40 cm.

Assim como para a camada superficial, após o tratamento dos dados não foi identificado a presença de “outliers” (Figura 21, Apêndice D), mantendo todos os 68 pontos amostrais para as análises posteriores.

**TABELA 4:** Estatística descritiva dos atributos físicos e químicos do solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade, Área experimental 2.

Atributo	Profundidade (20 a 40 cm)					
	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	D.P.	CV (%)
Argila	53	195	148	146	22,16	15,22
Areia grossa	522	641	588	585	28,58	4,88
Areia fina	175	322	232	231	27,72	11,99
Areia total	770	895	815	817	20,51	2,51
Silte	5	89	39	38	16,23	42,86
P	7	25	16	15	4,27	28,6
M.O.	3	9	6	6	1,5	26,23
pH	4	7	5	5	0,64	12,81
K	0	1	1	1	0,14	18,95
Ca	5	37	10	11	5,14	47,19
Mg	2	8	4	4	1,15	27,08
H+Al	11	58	15	16	6,32	39,41
Al	0	6	1	2	1,37	86,56
SB	8	44	15	16	5,96	37,52
CTC	24	69	31	32	7,71	24,16
v%	16	75	52	50	11,53	23,22
m%	0	36	7	10	9,59	93,42

Fósforo (P) – mg/dm<sup>3</sup>; Matéria orgânica (M.O.) – g/dm<sup>3</sup>; pH; potássio (K) – mmolc/dm<sup>3</sup>; cálcio (Ca) – mmolc/dm<sup>3</sup>; magnésio (Mg) – mmolc/dm<sup>3</sup>; acidez potencial (H+Al) – mmolc/dm<sup>3</sup>; alumínio (Al) – mmolc/dm<sup>3</sup>; saturação por base (SB) – mmolc/dm<sup>3</sup>; capacidade de troca de cátions (CTC) – mmolc/dm<sup>3</sup>; percentual de saturação por base (V) - %; percentual de saturação por alumínio (m) - %; D.P. – desvio padrão; CV – coeficiente de variação.

De acordo com os resultados obtidos para a profundidade de 20 a 40 cm, observam-se valores médios na ordem de 817 g/kg para a areia total, 146 g/kg para a argila e 38 g/kg para o silte.

As quantidades de macronutrientes nas amostras analisadas, em média, foram de: fósforo = 15 mg/dm<sup>3</sup>, potássio = 1 mmol/dm<sup>3</sup>, cálcio = 11 mmol/dm<sup>3</sup> e magnésio = 4 mmol/dm<sup>3</sup>.

Assim como para a camada superficial, o valor médio de pH foi de 5,0. Já as quantidades dos outros atributos químicos analisados foram, em média: matéria orgânica = 6 g/dm<sup>3</sup>, soma de bases = 16 mmol/dm<sup>3</sup>, capacidade de troca catiônica = 32 mmol/dm<sup>3</sup>, teor de saturação por bases (v) = 50% e teor de saturação por alumínio (m) = 10%.

A acidez potencial apresentou valor médio de 16 mmol/dm<sup>3</sup>. Já o teor de alumínio, em média, resultou como nulo, mas obteve um valor máximo de 2 mmol/dm<sup>3</sup>.

No geral, os valores de desvio padrão foram baixos, com exceção dos valores obtidos para a argila (DP = 22,16%), areia grossa (DP = 28,58%), areia fina (DP = 27,72%) e areia total (DP = 20,51%).

Os valores do coeficiente de variação dos atributos se demonstraram altos, com destaque para a saturação por alumínio (CV = 93,42), alumínio (CV = 86,56%), cálcio (CV = 47,19%) e silte (CV = 42,86%). Por outro lado, valores baixos de CV foram obtidos para areia grossa (4,88%) e areia total (2,51%).

### **5.6.1. Correlações entre os atributos físicos e químicos do solo em profundidade e a CEa**

Considerando a leitura da CEa na profundidade de 0,375 m, é possível observar correlações positivas fracas a moderadas com a areia grossa ( $r = 0,29$ ), acidez potencial ( $r = 0,32$ ), teor de alumínio ( $r = 0,33$ ), saturação por alumínio ( $r = 0,29$ ) e correlações negativas moderadas com pH ( $r = -0,25$ ), magnésio ( $r = -0,16$ ), saturação por bases ( $r = -0,22$ ) e areia fina ( $-0,26$ ). Entretanto, quando medida a CEa em até 0,75 m de profundidade, observam-se correlações negativas fraca a moderada com areia grossa ( $r = -0,47$ ), alumínio ( $r = -0,26$ ), acidez potencial ( $r = -0,24$ ) e saturação por alumínio ( $r = -0,26$ ). Também são observadas correlações positivas fracas com pH ( $r = 0,27$ ), saturação por bases ( $r = 0,3$ ) e moderada com areia fina ( $r = 0,44$ ) (Figura 17).



## 6. DISCUSSÃO

Com base nas análises físicas dos solos, foi possível determinar a classe textural de cada uma das áreas experimentais, sendo que, para a área experimental 1, o solo pode ser classificado como “argila pesada” e na área experimental 2, como “areia”. Esta determinação da classe textural é realizada através da pirâmide de determinação de texturas (CAMARGO et al., 2009), quando já se possui os dados dos atributos físicos do solo em questão.

De acordo com os resultados obtidos, há concordância entre os dados provenientes das amostragens de solo, com cruzamento pela pirâmide de determinação, com as informações de Yoshida e Stolf (2016) e Dias et al. (1999), que classificam os solos, como latossolo vermelho distrófico, de textura argilosa, e podzólico vermelho-amarelo, de textura arenosa, nas áreas experimentais 1 e 2, respectivamente.

As análises químicas resultaram em valores acerca dos teores de cada elemento no solo para cada profundidade e área experimental. Em ambas as áreas e profundidades de amostragem, o fósforo foi classificado como médio teor (13 a 30 mg/dm<sup>3</sup>) (RAIJ et al., 1997). Na cultura da cana, o fósforo é um importante nutriente para o início do desenvolvimento da cultura, atuando no crescimento adequado das raízes e estimulando o perfilhamento. Desse modo, é necessária uma adubação fosfatada nos sulcos de plantio para suprir as necessidades da cultura a fim de assegurar o desenvolvimento inicial da cultura no campo e perpetuar a produtividade (YARA, 2020).

O potássio também se apresenta de forma semelhante em ambas as áreas e profundidades de amostragem, com teor baixo (0,8 a 1,5 mmol/dm<sup>3</sup>) (RAIJ et al., 1997). Na cana-de-açúcar, este elemento químico realiza funções metabólicas e estruturais, sendo o nutriente mais absorvido pela cultura; calcula-se que a cada 100 ton/ha de colmos, são exportados 150 kg/ha de K<sub>2</sub>O (MALAVOLTA, 1982).

Assim, é necessário a realização de adubação potássica para complementar o teor do nutriente no solo de ambas as áreas experimentais, recomendando-se a aplicação conforme o crescimento da cultura, a fim de reduzir as perdas no sistema solo-planta, além de aumentar a eficiência de absorção desse nutriente (OTTO et al., 2010).



Os macronutrientes secundários cálcio (Ca) e magnésio (Mg) também se comportam de forma parecida nas duas profundidades e áreas analisadas. O cálcio é apresentado com alto teor ( $> 7 \text{ mmol/dm}^3$ ) em ambas profundidades das duas áreas e o magnésio como teor médio (5 a 8  $\text{mmol/dm}^3$ ) para as duas profundidades da área experimental 2 e em profundidade na área experimental 1. Em superfície, na área experimental 1, o nutriente é classificado como teor alto ( $> 8 \text{ mmol/dm}^3$ ) (RAIJ et al., 1997). A presença de teores altos de cálcio e magnésio nos solos agrícolas se deve ao incremento de calcário e gesso no cultivo das culturas, a fim de neutralizar o pH, bem como os teores de alumínio (SALVADOR et al., 2011).

Os dois solos possuem um baixo teor de alumínio, nas duas profundidades de amostragem ( $< 5 \text{ mmol/dm}^3$ ), confirmando a realização prévia de correção do solo e não sendo necessária a realização de novas correções para o plantio (RAIJ et al., 1997). Entretanto, mesmo que haja uma correção de solo em níveis significativos de cálcio e magnésio, o pH dos solos ainda possui teor ácido (4,4 a 5,0) (RAIJ et al., 1997). Como se tratam de solos tropicais, com alto intemperismo pela alta ocorrência de chuvas, lixiviando grandes quantidades de bases, a faixa de pH analisada está dentro do que diz a literatura.

Segundo Raij et al. (1997), os teores de matéria orgânicas são indicativos da textura que o solo apresenta, mas que não é a única variável relacionada às partículas de solo, uma vez que o material orgânico encontrado também corresponde ao teor de adubos orgânicos que são depositados no solo de uma área agrícola, como a torta de filtro, que apresenta altos teores de matéria orgânica (77 a 85 g/kg) e cerca de 75% de umidade (NUNES JUNIOR, 2008).

Na área experimental 1, os teores de matéria orgânica indicam um solo de textura média, diferentemente do observado com base na pirâmide de determinação de texturas do solo (argila pesada). Isso pode ocorrer por ser a matéria orgânica um dos fatores que classificam a estrutura do solo, ou seja, se o solo é estruturado de forma laminar, colunar, prismática, entre outros tipos, e a sua relação com a textura. Mesmo sendo um método indireto para predizer a textura do solo em questão, Santos et al. (2018) ressaltam que somente conhecendo os teores de frações granulométricas do solo, é possível

definir a sua textura, que nesse caso, pela pirâmide de determinação, é classificado como argila pesada.

Já na área experimental 2, corroborando com a classificação proposta por Camargo et al. (2009), o solo pode ser classificado como de textura arenosa. A matéria orgânica só influencia na acidez do solo quando os valores são acima de 60 g/kg, o que não é observado nos solos analisados (RAIJ et al., 1997).

Os teores de CTC (Capacidade de Troca Catiônica) representam a capacidade de retenção de cátions que o solo possui, sendo uma informação primordial para o manejo de solo, permitindo o cálculo da percentagem de saturação por bases (v%), relacionada à soma de bases. A CTC possui uma amplitude de variação que pode ser direcionada à classe textural do solo. Em solos argilosos, como a área experimental 1, que possui uma CTC de 7,6  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  (0 a 20 cm) e 6,7  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  (20 a 40 cm), é possível implicar uma maior capacidade de retenção de umidade e alto teor de argila/matéria orgânica. Já em solos arenosos, como a área experimental 2, com CTC de 3,6  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  (0 a 20 cm) e 3,2  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  (20 a 40 cm), podemos implicar que há uma maior lixiviação de nitrogênio e potássio, além de uma menor retenção de umidade (LOPES e GUILHERME, 2004).

A acidez potencial (H+Al) e a soma de bases permitem o cálculo do v%, sendo que, quando resulta em um valor de v% acima de 50%, temos um solo eutrófico (fértil), e abaixo de 50%, um solo distrófico (pouco fértil). Portanto, quando comparada às análises feitas nas duas áreas experimentais, observa-se que a área experimental 1, que apresenta um solo classificado como latossolo vermelho distrófico, possui uma percentagem de saturação por bases baixa (26 a 50%), isto é, uma baixa fertilidade (LOPES e GUILHERME, 2004). Segundo Santos et al. (2018) a fertilidade de um latossolo vermelho não depende apenas da textura, mas sim, de outros fatores. A depender das características dessa classe de solo e suas implicações de uso, além da disposição dos atributos químicos como a saturação por bases, um latossolo vermelho pode ser classificado desde eutrófico (fértil) até ácrico (pobreza nutricional). Nesse caso, corroborando com os resultados obtidos por Yoshida e Stolf (2016), o solo da área

experimental 1 é caracterizado como distrófico, pela sua baixa percentagem de saturação por bases.

Por outro lado, a área experimental 2, com solo classificado como podzólico vermelho-amarelo, possui uma saturação média, de 0 a 20 cm de profundidade (51 a 70%), e baixa de 20 a 40 cm (26 a 50%), também refletindo um solo com pouca fertilidade (RAIJ et al., 1997; DIAS et al., 1999; VILLAR, 2007; YOSHIDA e STOLF, 2016).

A saturação de alumínio (m%) representa o quanto o solo está saturado com teores de alumínio, podendo influenciar negativamente no desenvolvimento do sistema radicular das culturas. De acordo com estudos conduzidos por Sousa e Lobato (2004), os níveis de m% encontrados em ambas as áreas e profundidades se apresentam como baixos (< 20%), não havendo uma alta interferência no desenvolvimento radicular.

Com base na realização da estatística descritiva dos dados físicos e químicos do solo, provenientes do laboratório, é possível compreender a variabilidade dos atributos encontrados entre as 55 amostras, consideradas para a área experimental 1, e as 68 amostras para a área experimental 2.

Utilizando o princípio de Warrick e Nielsen (1980), os coeficientes de variação (CV) encontrados na superfície da área experimental 1 são classificados como médios (12 a 60%) para potássio (46,82%), fósforo (39,49%) e alumínio (44,18%). Em profundidade, os mesmos atributos são também classificados como médios, com exceção do fósforo (62%), que possui um alto coeficiente de variação (> 60%). Ainda, considerando a área experimental 2, em superfície, observam-se coeficientes de variação médios (12 a 60%) para silte (48,29%), m% (47,57%), alumínio (39,79%) e acidez potencial (34,88%). Já em profundidade, temos valores muito mais elevados para a saturação de alumínio (93,42%) e alumínio (86,56%), sendo classificados como altos (> 60%). Também se destacam o cálcio (47,19%) e silte (42,86%), classificados como médios (12 a 60%) (WARRICK e NIELSEN, 1980).

Médios a altos teores de CV sugerem uma alta dispersão dos dados. Desse modo, é possível compreender a variação dos atributos do solo na área amostrada, com ênfase aos teores de alumínio, fósforo, potássio e saturação por alumínio. Um experimento semelhante foi conduzido por Oliveira Junior et

al. (2010), que objetivou demonstrar a variação dos atributos químicos e físicos de diferentes solos, também constatando uma alta variação dos atributos nas áreas e ainda complementando que, com a subdivisão da área em glebas homogêneas para uma melhor amostragem de solo, os coeficientes reduziram consideravelmente.

O conhecimento dos atributos físicos e químicos é importante para o processo de correlação com a CEa, que estabelece uma relação intrínseca com a disposição dos mesmos pela extensão de solo. Segundo Costa (2011), com o objetivo de avaliar a variabilidade temporal da condutividade elétrica aparente (CEa) medida por indução, foi demonstrada a possibilidade de utilizar o mapeamento de CEa do solo para o levantamento de áreas homogêneas, pelo comportamento dos atributos físicos e químicos correlacionados à condutividade no interior da mesma classe textural. Essa possibilidade é verificada pelo comportamento da CEa através das medições em alta densidade realizadas nas duas áreas experimentais. Pelos mapas da condutividade presentes nas Figuras 11 e 15, conseguimos entender a diferença espacial da disposição dos atributos do solo com base na condutividade elétrica, sugerindo que existem glebas diferentes entre si em porções inseridas à área de interesse.

Sudduth et al. (2005), conduzindo estudos acerca da CEa e as suas correlações com os atributos físicos para o mapeamento de áreas homogêneas em experimentação, constataram boas relações entre CEa e argila, com correlações positivas e coeficientes de correlação de até 0,74 (74%). No presente trabalho, a correlação entre CEa e argila não foi significativa na maioria das análises, exceto em superfície na área experimental 1, em que a condutividade medida a 0,375 m de profundidade resultou em uma correlação positiva fraca ( $r = 0,24$ ) entre os dois elementos.

Contudo, quando mudamos o foco da correlação para a fração areia, Becegato (2005) encontra implicações diferentes a essa, entre a condutividade elétrica e a parcela arenosa do solo. Em seu trabalho acerca da resistividade elétrica do solo, verificou que existe uma correlação positiva entre a resistividade e as partículas de areia, estabelecendo-se que quanto maiores os teores de areia no solo, menor será a condutividade elétrica transmitida entre as partículas.

As correlações obtidas entre a CEa e areia (fina, grossa e total) no presente trabalho demonstram os mesmos resultados de Becegato (2005), com ênfase para a área experimental 1. Valores de correlação entre a CEa, a 0,75 m de profundidade, e os teores de areia amostrados de 0 a 20 cm de profundidade, apresentaram correlações negativas moderadas com areia fina ( $r = -0,47$ ), areia grossa ( $r = -0,54$ ) e areia total ( $r = -0,61$ ).

Já na área experimental 2, considerando a mesma faixa de medição da CEa, é possível observar que há uma fraca correlação negativa da condutividade elétrica aparente do solo com areia grossa ( $r = -0,21$ ). Mesmo sendo uma correlação de pequena magnitude, reforça a relação da CEa com os teores de areia do solo.

De modo geral, os melhores resultados de correlações foram obtidos entre a condutividade elétrica aparente do solo medida a 0,75 m de profundidade e os atributos físicos do solo (areia grossa, areia fina e areia total), na área experimental 1, com solo de textura argilosa. Os resultados são fortalecidos por Medeiros et al. (2018), que constataram uma significativa correlação negativa entre a CEa e o teor de areia em solo argiloso e, quando em solo arenoso, não constataram uma correlação significativa com areia e argila.

Também é possível observar correlações positivas e negativas fracas entre a CEa de ambas as profundidades de medição com os atributos químicos do solo. Segundo Adamchuck (2004), isso ocorre pois, como a corrente elétrica conduzida pelo solo está relacionada a diferentes variáveis, como nível de compactação, umidade e mineralogia, a maior eficiência de monitoramento do sensor destaca-se pela correlação com os atributos texturais do solo (ADAMCHUCK, 2004).

Nas duas áreas experimentais observamos que existe uma divisão pela extensão do solo quanto aos valores de condutividade elétrica aparente, uma vez que conseguimos observar faixas das áreas em que as medições se comportam parecidas em localizações próximas. Machado et al. (2006) e Castro e Molin (2004), corroboram com essa afirmação em seus trabalhos a fim de detalhar a variabilidade espacial do solo para a delimitação de áreas homogêneas em classe textural.

As aplicações desse princípio baseiam-se em estabelecer áreas homogêneas entre si para a condução de tratamentos e manejos específicos à cada área delimitada. Os mesmos princípios de aplicação são abordados por Speranza et al. (2019), que verificam a eficiência da CEa do solo as respostas de variação de textura do solo, observado principalmente na área experimental 1, pela correlação moderada negativa com as frações de areia, indicando um potencial de utilização para a caracterização e divisão da área seguindo glebas homogêneas.

Por ser um atributo que apresenta uma baixa variabilidade temporal e a sua correlação com a CEa do solo, a granulometria se caracteriza como um potencial fator a ser considerado para a delimitação de áreas de manejo. Dificilmente as classes texturais do solo sofrerão mudanças drásticas pelo tempo, podendo os resultados obtidos pelas medições da CEa aqui apresentados perdurarem por muitos anos (BOTTEGA, 2014)

Desse modo, não só zonas de manejo podem ser estabelecidas, como também, a partir do conhecimento das faixas proximais de CEa do solo e sua correlação com os atributos físicos e químicos, realizar amostragens dirigidas, seguindo as parcelas homogêneas do solo (COWIN e LESCH, 2003). Assim, as amostragens seguem fatores de condutividade conhecidos, reduzindo a necessidade de determinação de atributos físicos, pela sua correlação negativa com a areia, como observado pelos resultados da área experimental 1, principalmente, além de definir a malha de amostragem seguindo as glebas do solo, e não de forma regular, como ocorre convencionalmente (KELLER, 2019).

Na condução de experimentos agrícolas, como já destacado por Cursi (2020), a CEa pode ser empregada como uma variável de determinação de áreas para a delimitação de blocos e parcelas experimentais, além de estabelecer uma relação mais conhecida entre genótipo x ambiente em projetos de melhoramento genético.

A separação da área em parcelas iguais para a condução de experimentos, principalmente em vista do melhoramento genético, em que se objetiva a avaliação dos genótipos com a padronização do fator ambiental, pode ser realizada pelo conhecimento de CEa do solo e sua correlação com a salinidade do solo, por exemplo (JAMES et al., 2012). Nesse caso, a

salinidade do solo e a condutividade elétrica possuem, segundo o trabalho proposto por James et al. (2012), uma correlação positiva, uma vez que, quanto maior a quantidade de sais solúveis na porção líquida do solo, maior será a CEa transmitida pelo meio. Em seu trabalho, houve a separação da área em 3 subdivisões, a fim de aumentar a padronização interna a cada uma, se baseando nessa correlação.

O mesmo método de separação de parcelas homogêneas pode ser empregado no caso da CEa com as classes texturais do solo, principalmente na área experimental 1. Desse modo, quanto maior a CEa medida, menor o teor de areia e, indiretamente, maiores os teores de silte e argila. Assim, é possível, a partir das correlações existentes, trabalhar acima da padronização de parcelas e blocos.

O princípio da CEa estabelece diferentes relações com os atributos do solo, se destacando a relação intrínseca com a granulometria. A partir de estudos sobre a variação espacial e temporal da CEa é possível conduzir diversos modelos de amostragens e delimitações de áreas de interesse.

## 7. CONCLUSÃO

1. O sensor apresentou melhores correlações com os atributos texturais do solo.
2. A profundidade mais efetiva para a utilização do sensor de CEa é de 0,75 m.
3. O sensor de CEa pode ser utilizado de forma a direcionar a amostragem de solos, diminuindo a quantidade de amostras e reduzindo a quantidade de análises dos atributos físicos, pela correlação existente entre os valores de condutividade elétrica aparente e a granulometria.
4. O sensor de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) pode ser empregado no mapeamento de áreas homogêneas, tanto em áreas de experimentação, como em áreas comerciais, a fim de definir zonas de manejo e conduzir as áreas homogêneas entre si de forma mais específica.



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMCHUK, V.I.; HUMMEL, J.W.; MORGAN, M.T.; UPADHYAYA, S.K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. **Computers and electronics in agriculture**, Nebraska, v.1, n.44., p. 71-91, 2004.

ALMEIDA, E.P.C; SANTOS, H.G.; ZARONI, M.J. Latossolos Vermelho-Amarelos. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Brasília, 2021. Disponível em: <  
[ANDREOLI, C.V.; ANDREOLI, F.N.; JUNIOR, J.J. \*\*FORMAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS PARA O ENTEDIMENTO DE SUA IMPORTÂNCIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL\*\*. 1. ed. Paraná: FAEP, v. 1, p. 20, 2014. Disponível em: <\[https://www.agrinho.com.br/site/wp-content/uploads/2014/09/31\\\_Formacao-de-caracteristicas.pdf\]\(https://www.agrinho.com.br/site/wp-content/uploads/2014/09/31\_Formacao-de-caracteristicas.pdf\)>. Acesso em: 22 mar. 2021.](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT00g05ip3qr02wx5ok0q43a0r3t5vjo4.html#:~:text=Os%20Latossolos%20Vermelho%2DAmarelos%20s%C3%A3o,em%20profundidade%20(Figura%201)>. Acesso em: 12 mai. 2021.</p></div><div data-bbox=)

ARAÚJO, E.A.; KER, J.C.; NEVES, J.C.; LANI, J.L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de tecnologia aplicada nas ciências agrárias**, Viçosa, v.5, n.1, p.187-206, 2012. Doi: 10.5777/PAeT.V5.N1.12.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade do Solo sob Diferentes Usos e sob Cerrado Nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 1099-1108, 2007. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832007000500025&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832007000500025&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 28 mar. 2021.

ARCGIS, Esri. **Criar Buffers**. 2021. Disponível em: <https://enterprise.arcgis.com/pt-br/portal/latest/use/create-buffers.htm>>. Acesso em: 20 mai. 2021.

BECEGATO, V. A. **Aplicação de técnicas geofísicas e geoquímicas em duas glebas agrícolas do noroeste do estado do Paraná e suas relações com fertilizantes fosfatados**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 198p, 2005. Disponível em: <  
<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/3876>>. Acesso em: 11 jun. 2021.

BOTTEGA, E.L. **Utilização de zonas de manejo para a produção de soja no cerrado brasileiro**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, 2014. Disponível em: <  
<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/780/1/texto%20completo.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

BRANCO, P.M. **Os solos**. Serviço Geológico do Brasil. 2014. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/CPRM-Divulga/Os-Solos-2620.html>>. Acesso em: 04 mai. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de precisão**: boletim técnico. Brasília, 31 p, 2009. Disponível em: <[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/agric\\_precisao.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/agric_precisao.pdf)>. Acesso em: 11 mai. 2021.

BROWN, T. L.; LEMAY, H.E.; BURSTEN, B.E.; MURPHY, C.J.; WOODWARD, P.M.; STOLTZFUS, M.W. **Química**: a ciência central. 13 ed. São Paulo: Pearson, 2005. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5646110/mod\\_resource/content/1/Qu%C3%ADmica%20-%20A%20ci%C3%Aancia%20central%20-%20Theodore%20L.%20Brown.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5646110/mod_resource/content/1/Qu%C3%ADmica%20-%20A%20ci%C3%Aancia%20central%20-%20Theodore%20L.%20Brown.pdf)> Acesso em: 15 mar. 2021.

CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H.; Classificação de solos usada em levantamento pedológico no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência de Solo**, v.12, n.1, p.11-33, 1987.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas, Instituto Agronômico, 77 p, 2009. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada). Disponível em: <[http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/docs/Boletim\\_Tecnico\\_106\\_rev\\_atual\\_2009.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/docs/Boletim_Tecnico_106_rev_atual_2009.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2021.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994. Disponível em: <<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>>. Acesso em: 26 mar. 2021.

CASTRO, C. N.; MOLIN, J. P. Definição de unidades de gerenciamento do solo através da sua condutividade elétrica e variáveis físico-químicas utilizando classificação Fuzzy. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO**, Piracicaba, 2004. Disponível em: <<http://www.ler.esalq.usp.br/download/TEC%202004.04.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2021.

CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, Califórnia, p. 11-43, mar. 2005. DOI 10.1016/j.compag.2004.10.005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/computers-and-electronics-in-agriculture/vol/46/issue/1>>. Acesso em: 22 mar. 2021.

COSTA, M. M. **Condutividade elétrica aparente do solo como ferramenta para agricultura de precisão em uma área sob cerrado**. Dissertação de mestrado. Viçosa, 2011. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3594/1/texto%20completo.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2021.

CURSI, D.E. **Geotecnologias aplicadas na experimentação agrônoma: ênfase em cana-de-açúcar**. 2020. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. doi: 10.11606/T.11.2020.tde-15022021-145150. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-15022021-145150/pt-br.php>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

CURSI, D.E.; HOFFMAN, H.P.; BARBOSA, G.V.S.; BRESSIANI, J.A.; GAZAFFI, R.; CHAPOLA, R.G.; FERNANDES, A.R.; BALSALOBRE, T.W.A.; DINIZ, C.A.; SANTOS, J.M.; CARNEIRO, M.S. History and Current Status of Sugarcane Breeding, Germplasm Development and Molecular Genetics in Brazil. **Sugar Tech**, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-021-00951-1>, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-021-00951-1>>. Acesso em: 13 mai. 2021.

DAY P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C., ed. **Methods of soil analysis**. **Madison, American Society of Agronomy and American Society for Testing and Materials**, 1965. Part 1, p. 545-567.

DIAS, F.L.F.; MAZZA, J.A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAULE, R.F. Produtividade de cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, v.23, p. 627-634, 1999.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds). **Defining soil quality for a sustainable environment**. SSSAJ, Madison, n. 35, p. 3-22, 1994. Disponível em: <<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaspecpub35.c1>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

EMBRAPA. Latossolos Vermelhos. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília, 2021. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT00fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html#:~:text=Ag%C3%A7%C3%A3o%20Tecnol%C3%B3gica,e%20estruturas%20uniformes%20em%20profundidade](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT00fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html#:~:text=Ag%C3%A7%C3%A3o%20Tecnol%C3%B3gica,e%20estruturas%20uniformes%20em%20profundidade)>. Acesso em: 12 mai. 2021.

EMBRAPA. **Tabela de preços do laboratório de solos e análise foliar – Embrapa Semiárido**. Brasília, 2014. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/documents/1355026/1529260/Tabela\\_Lab\\_Solos.pdf/59ac98bc-8f2c-4fcf-ab27-7f1a018f27bf](https://www.embrapa.br/documents/1355026/1529260/Tabela_Lab_Solos.pdf/59ac98bc-8f2c-4fcf-ab27-7f1a018f27bf)>. Acesso em: 20 abr. 2021.

FIORIN, J.E. (Coord.). **Manejo e Fertilidade do solo no Sistema de Plantio Direto**. PaEd. Berthier, Passo Fundo, p.184, 2007.

GIMENES, L.M. **Relação da condutividade elétrica aparente com algumas propriedades físico-hídricas e com a variabilidade espacial dos solos**. Tese de doutorado, 2013. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-17122013-121535/publico/Leandro\\_Maria\\_Gimenez.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-17122013-121535/publico/Leandro_Maria_Gimenez.pdf)>. Acesso em: 28 mai. 2021.

GIONGO, V.; CUNHA, T.J.F. Sistema de Produção de Melão: Manejo do solo. **Embrapa Semiárido**. Brasília, v. 1, 2010. Disponível em: <[http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema\\_producao/spmelao/manejo\\_do\\_solo.html](http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmelao/manejo_do_solo.html)>. Acesso em: 28 mar. 2021.

GIS, FOREST. **Como clipar uma imagem/raster com base em um shapefile no ArcMap**. 2020. Disponível em: <<https://forest-gis.com/2020/07/como-clipar-uma-imagem-raster-com-base-em-um-shapefile-no-arcmap.html/>>. Acesso em: 28 mai. 2021.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola. **Embrapa Meio Ambiente**. 2006. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes\\_Filizola\\_indicador\\_esID-u1keja1HAN.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes_Filizola_indicador_esID-u1keja1HAN.pdf)>. Acesso em: 28 mai. 2021.

JAMES, R.A.; BLAKE, C.; ZWART, A.B.; HARE, R.A.; RATHJEN, A.J.; MUNNS, R. Impact of ancestral wheat sodium exclusion genes Nax1 and Nax2 on grain yield of durum wheat on saline soils. **Functional plant biology journal**, v. 37, n. 9, p. 609-618, 2012, doi: 10.1071/FP12121. Disponível em: < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32480813/>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

JUNIPER SYSTEMS. **Products – Archer 2**. 2019. Disponível em: < <https://junipersys.com/products/archer-2>>. Acesso em: 11 mai. 2021.

KELLER, C. **Condutividade elétrica aparente como ferramenta de espacialização com alta resolução de atributos do solo**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, 2019. Disponível em: < [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/17259/TES\\_PPGCS\\_2019\\_KELLER\\_CRISTIANO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/17259/TES_PPGCS_2019_KELLER_CRISTIANO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 14 jun. 2021.

LILIENTHAL, H.; ITTER, C.; ROGASIK, J.; SCHNUG, E. Comparison of diferente geo-eletric measurement techniques to detect in field variability of soil parameters. **Institute of Plant Nutrition and Soil Science**. n. 55, 2005. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/283411461\\_Comparison\\_of\\_diferent\\_geo-eletric\\_measurement\\_techniques\\_to\\_detect\\_in-field\\_variability\\_of\\_soil\\_parameters](https://www.researchgate.net/publication/283411461_Comparison_of_diferent_geo-eletric_measurement_techniques_to_detect_in-field_variability_of_soil_parameters)>. Acesso em: 27 mai. 2021.

LIMITED, Geonics. **EM38-MK2**. Ontario, 2013. Disponível em: <<http://www.geonics.com/html/em38.html>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Interpretação de análise de solo: Conceitos e aplicações. **Associação Nacional para Difusão de Adubos**. São Paulo, 2004. Boletim nº 2. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/downloads/interpretacao\\_de\\_analise%20de\\_solo\\_conceitos\\_e\\_aplicacoes.pdf](https://www.agrolink.com.br/downloads/interpretacao_de_analise%20de_solo_conceitos_e_aplicacoes.pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2021.

MACHADO, P. L. O. de.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; SILVA, C.A.; ANDRADE, A.G.; MADARI, B.E.; MEIRELLES, M.S.P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 41, p.1023-1031, 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pab/a/dFhQwyqrmsyLWhdByJpNFrm/?lang=pt>>. Acesso em: 11 jun. 2021.

MALAVOLTA, E. **Potássio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. Piracicaba, Potafos, 1982. (Boletim Técnico, 4).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo**, 2 ed, Piracicaba, 1997. 319p.

MAPA (Brasil). CONAB. **ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA: Terceiro levantamento | DEZEMBRO 2020**. 3. ed. Brasília: CONAB, v. 7 p. 62, ISBN 2318-7921, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em: 26 mar. 2021.

MARIN, F. R. **Árvore do Conhecimento: Solos do Brasil e a cana-de-açúcar**. Brasília. Embrapa, 18 set. 2008. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_18\\_3112006152934.html#](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_18_3112006152934.html#). Acesso em: 26 mar. 2021.

MARQUELLI, R. P. **O desenvolvimento sustentável na agricultura do cerrado brasileiro**. 2003. 54f. (Monografia - MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, área de concentração Planejamento Estratégico). ISAE - FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, 2003. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Desenvolvimento\\_sustentavel\\_agricultura\\_cerradoID-UkZstU83ek.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Desenvolvimento_sustentavel_agricultura_cerradoID-UkZstU83ek.pdf)>. Acesso em: 28 mar. 2021.

MARTINS, P. S. **Treinando habilidades de elaboração de gráficos com o software R**. Universidade Federal Fluminense, p.51, 2018. Disponível em: <<http://www.estadisticacomr.uff.br/wp-content/uploads/2018/10/Rgraficos.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

MEHLICH, A. Determination of cation and anion exchange properties of soils. **Soil Science**. n. 66. p. 429-445, 1948.

MEDEIROS, W. N.; VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; ASSIS, I. R. Condutividade elétrica aparente do solo em dois tipos de solo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 49, n. 1, p. 43-52, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rca/a/SmWFgH7wYptNSSc6mwgTxPG/abstract/?lang=pt#top>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. **AGRICULTURAL ENGINEERING**, Piracicaba, p. 567-573, 29 ago. 2008. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000600001>. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162008000600001](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162008000600001)>. Acesso em: 23 mar. 2021.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 90-101, 2011. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/265919837\\_Estudos\\_sobre\\_a\\_mensuracao\\_da\\_condutividade\\_eletrica\\_do\\_solo](https://www.researchgate.net/publication/265919837_Estudos_sobre_a_mensuracao_da_condutividade_eletrica_do_solo)>. Acesso em: 21 abr. 2021.

NUNES JUNIOR, D. Torta de Filtro: de resíduo a produto nobre. **Revista Ideas News**, Ribeirão Preto- SP, v.8, n.92, p 22-30, 2008.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C.; SOUZA, L. C. P.; MELO, V. F. Variabilidade de atributos físicos e químicos de solos da formação guabirota em diferentes unidades de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 34, p. 1491 – 1502, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/Y9QRfkVnt6TYLYwzBpFGcbx/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2021.

OLIVEIRA, J. C. **Conceitos básicos sobre posicionamento de satélites artificiais**. XIV Curso de uso escolar de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente, 2011. Disponível em: <[http://www.dsr.inpe.br/vcsr/files/Apresentacao\\_GPS.pdf](http://www.dsr.inpe.br/vcsr/files/Apresentacao_GPS.pdf)>. Acesso em: 28 mai. 2021.

OLIVEIRA, M. W; FREIRE, F. M.; RESENDE MACÊDO, G. A.; FERREIRA, J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 30-43, 1 ago. 2007. Disponível em: <[http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/unesp\\_jaboticabal/oliveira\\_cana\\_informeagropec.pdf](http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/oliveira_cana_informeagropec.pdf)>. Acesso em: 26 mar. 2021.

OTTO, R.; VITTI, G.C.; CERQUEIRA LUZ, P.R. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, n. 34, v. 4, doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400013>. 2010.

R Core Team (2021). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

RABELLO, L. M. Condutividade elétrica do solo: tópicos e equipamentos. **Embrapa Instrumentação Agropecuária**. São Carlos, 2009. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/15427611.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2021.

RABELLO, L. M.; BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. Condutividade elétrica aparente do solo. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar** São Carlos, 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114261/1/cap-2.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**, 2 ed. revisada. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 285p., 1997, (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e Manejo de Nutrientes. **International Plant Nutrition Institute**. Piracicaba, 2011.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, **Instituto Agrônomo**, 287p. 2001.

RHOADES, J. D.; CHANDUVI, F.; LESCH, S. **Soil salinity assessment: methods and interpretation of electrical conductivity measurements**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, p. 1-150, 1999, (FAO Irrigation and Drainage Paper, 57). Disponível em: <<http://www.fao.org/3/x2002e/x2002e.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2021.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Embrapa monitoramento por satélite, Campinas, 26p, 2010. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/281107894\\_Conceitos\\_de\\_fertilidade\\_do\\_solo\\_e\\_manejo\\_adequado\\_para\\_as\\_regioes\\_tropicais](https://www.researchgate.net/publication/281107894_Conceitos_de_fertilidade_do_solo_e_manejo_adequado_para_as_regioes_tropicais)>. Acesso em: 21 mar. 2021.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Árvore do conhecimento: Adubação - resíduos alternativos**, Brasília, 2008. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_39\\_711200516717.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html)>. Acesso em: 28 mar. 2021.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista acadêmica**, Curitiba, v.9, n.1, p. 37-32, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.pucpr.br/index.php/cienciaanimal/article/download/11060/10445>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

SANCHES, G. **Condutividade elétrica aparente (CEa) do solo: o que é, como medir e para que serve**. 2018. Disponível em: <<https://www.inteliagro.com.br/condutividade-eletrica-aparente-cea/>>. Acesso em: 28 mai. 2021.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIRA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G. Development of Reflectance Spectral Libraries for Characterization of Soil Properties. **Soil Science Society Am. J.**, Quênia, v. 1, p. 988-998, jun. 2002. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/280798948\\_Development\\_of\\_Reflectance\\_Spectral\\_Libraries\\_for\\_Characterization\\_of\\_Soil\\_Properties](https://www.researchgate.net/publication/280798948_Development_of_Reflectance_Spectral_Libraries_for_Characterization_of_Soil_Properties)>. Acesso em: 23 mar. 2021.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília. Embrapa Informação Tecnológica, p. 147 – 167, 2004. Disponível em: <[Cerrado-Correcao-solo-adubacao-ed-02-8a-impressao-2017.pdf](#)>. Acesso em: 15 jun. 2021.

SOUZA, Z. M.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Catarina, p. 1-9, 2 out. 2009. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000243>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/cr/v40n1/a428cr1179.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2021.

SPERANZA, E. A.; GREGO, C. R.; JORGE, L. A. C.; RODRIGUES, C. A. G.; LUCHIARI JUNIOR, A.; RONQUIM, C. C.; SANCHES, G. M. Delineamento de zonas de manejo em cana-de-açúcar a partir de atributos do solo e da cultura e imagens georreferenciadas. **Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária**, 2019. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/204953/1/P-Delineamento-de-zonas-de-manejo-em-cana-de-acucar-a-partir-de-atributos-do-solo-e-da-cultura-e-imagens-georreferenciadas..pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

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**, Columbia. v. 1, p. 263-283, 2005. DOI <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.010>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169904001334>>. Acesso em: 23 mar. 2021.



TELFORD, W. M.; GLEDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied Geophysical**. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/books/applied-geophysics/FA576F8F33FCA4D56975BC58CE07851E>>. Acesso em: 28 mai. 2021.

UFSCAR, Universidade Federal de São Carlos. **Análises físicas do solo**. Laboratório de Física do solo e Qualidade da água, 2021a.

UFSCAR, Universidade Federal de São Carlos. **Programa de Avaliação da Fertilidade do solo**. Laboratório de Análise Química de Solos e Planta, 2021b.

VILAR, C.C.; VILAR, F.C.M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Revista Campo Digital**. [S.l], v.8, n.2, 2013. Disponível em: <<http://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/1664>>. Acesso em: 15 mai. 2021.

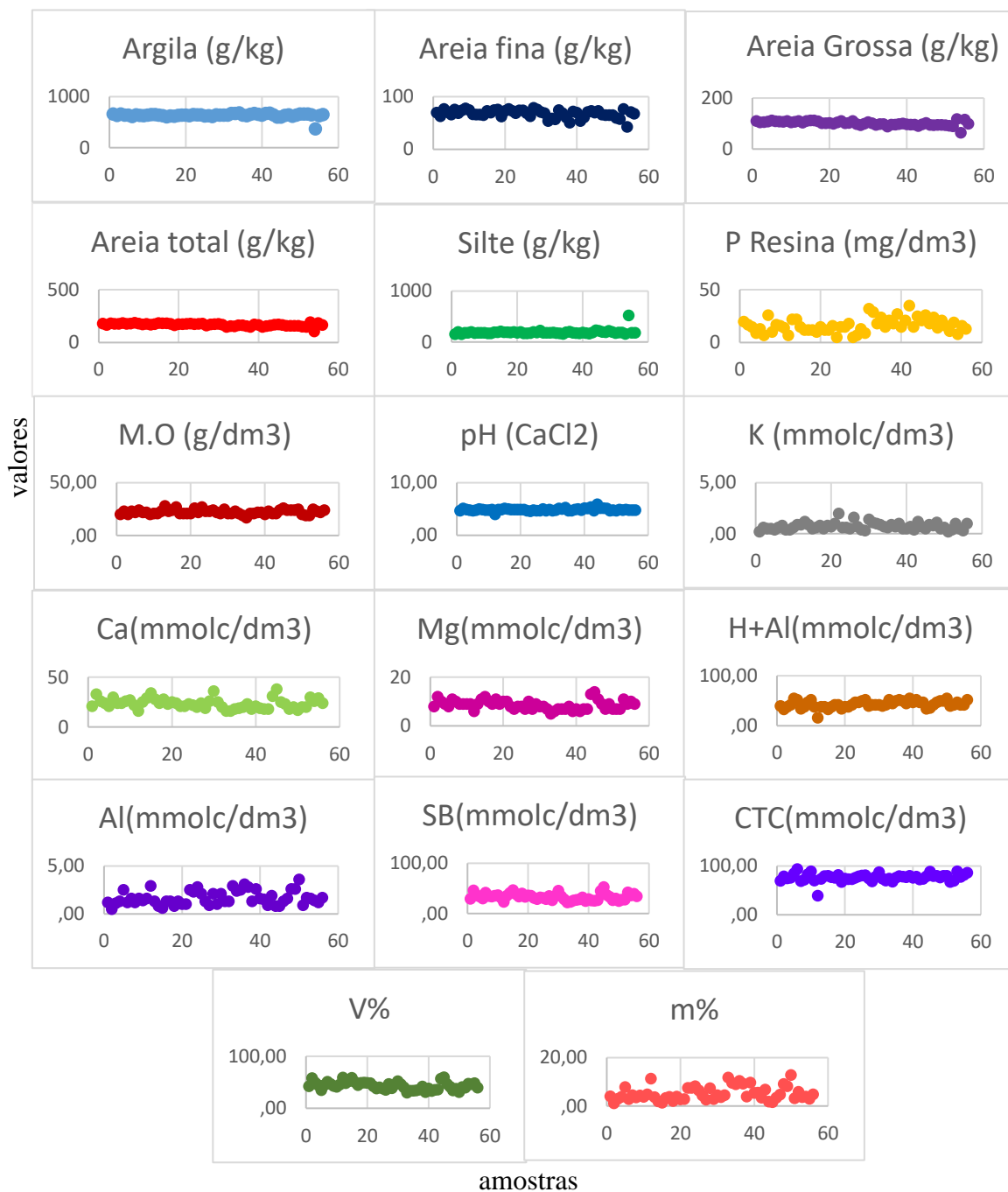
VILLAR, M. L. P. Manual de interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação. **EMPAER-MT**. Cuiabá, p. 182, 2007, (EMPAER-MT, Série Documentos, 35). Disponível em: <<http://www.empaer.mt.gov.br/documents/8024815/9382198/Manual+de+Interpreta%C3%A7%C3%A3o+de+An%C3%A1lise+de+Plantas+e+Solos+e+Recomenda%C3%A7%C3%A3o+de+Aduba%C3%A7%C3%A3o/09cae279-bdf6-5b4a-4b05-67fe9b4522f1>>. Acesso em: 11 jun. 2021.

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, p.319-344, 1980.

YARA. **Resumo nutricional da cana-de-açúcar**. Brasil. 2020. Disponível em: <<https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/resumo-nutricional-da-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

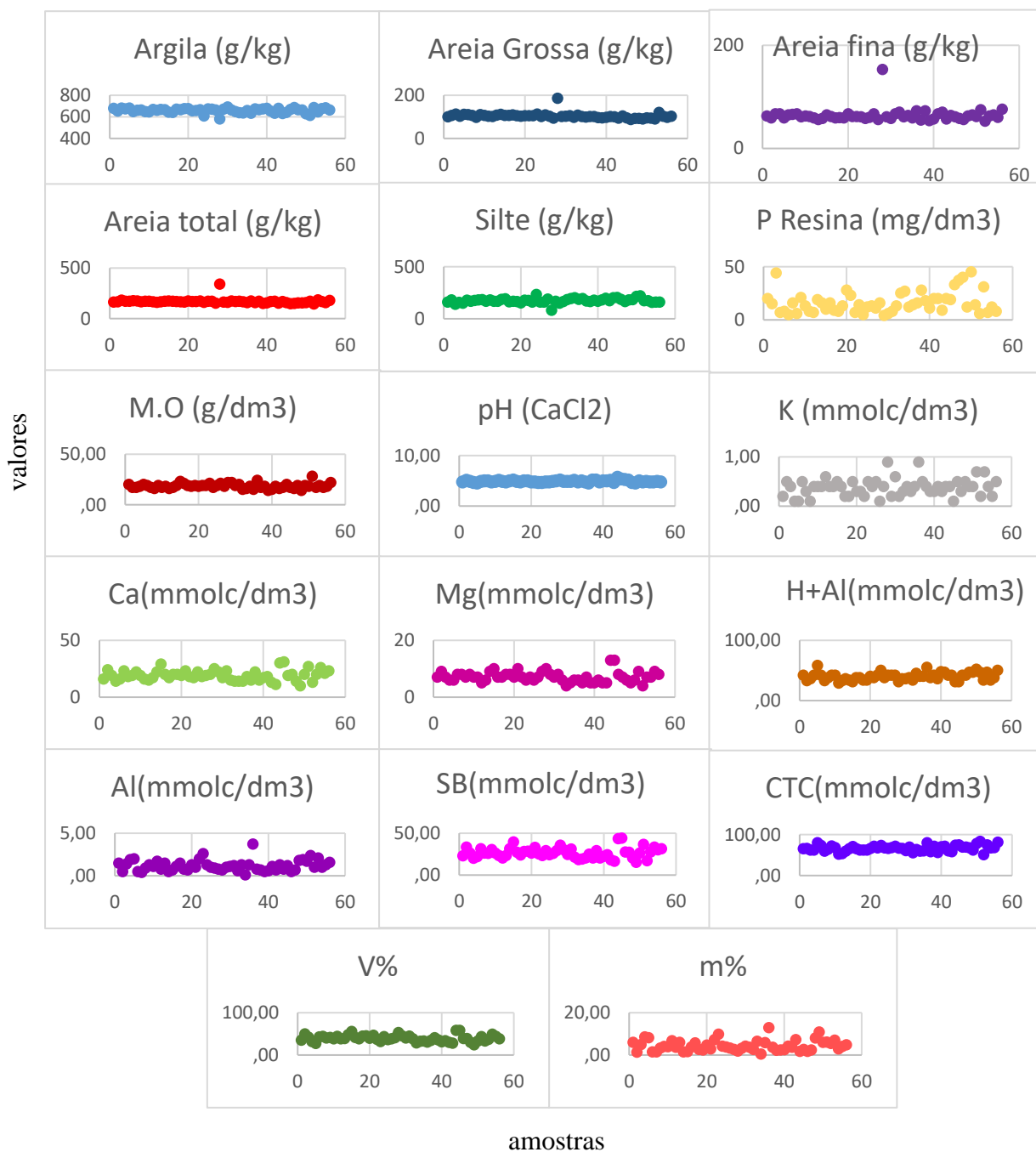
YOSHIDA, F. A.; STOLF, R. Mapeamento digital de atributos e classes de solos da UFSCar- Araras/SP. **Revista Ciência, Tecnologia e Ambiente**. São Carlos, v.3, n.1, p.1-11, 2016. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Mapeamento-digital-de-atributos-e-classes-de-solos-Yoshida-Stolf/ca7636e7c13b45d26e94cc1f00f5388908d91a5f#references>>. Acesso em: 10 mai. 2021

## APÊNDICE A



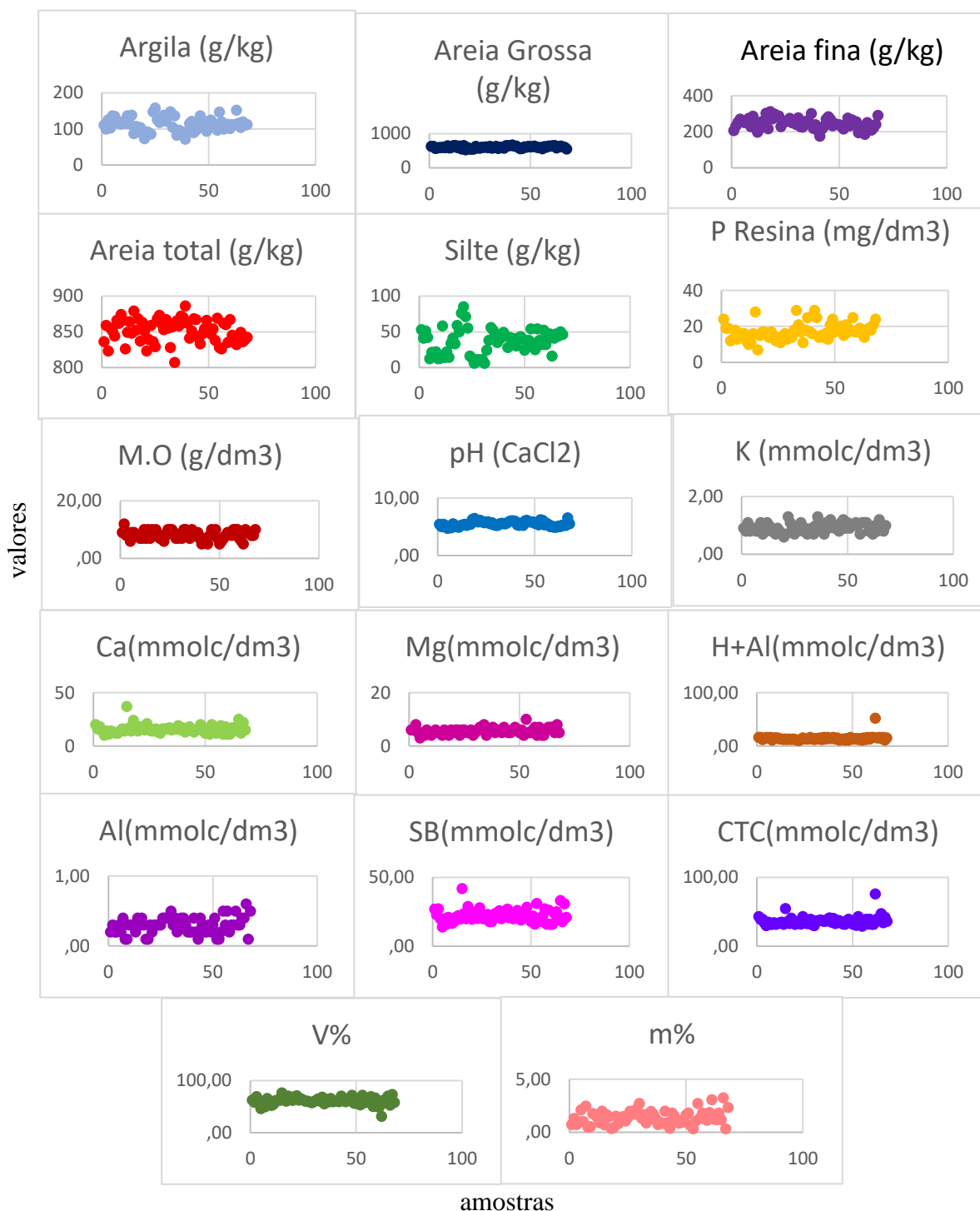
**Figura 18:** Gráficos de dispersão dos elementos físicos e químicos da área experimental 1, de 0 a 20 cm de profundidade. Argila (g/kg); Areia fina (g/kg); Areia grossa (g/kg); Areia total (g/kg); Silte (g/kg); P resina (mg/dm<sup>3</sup>); Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>); pH (CaCl<sub>2</sub>); K (mmolc/dm<sup>3</sup>); Ca (mmolc/dm<sup>3</sup>); Mg (mmolc/dm<sup>3</sup>); H+Al (mmolc/dm<sup>3</sup>); Al (mmolc/dm<sup>3</sup>); SB – soma de bases (mmolc/dm<sup>3</sup>); CTC – Capacidade de Troca Catiônica (mmolc/dm<sup>3</sup>); v% - percentual de saturação por bases (%); m% - percentual de saturação por alumínio (%).

## APENDICE B



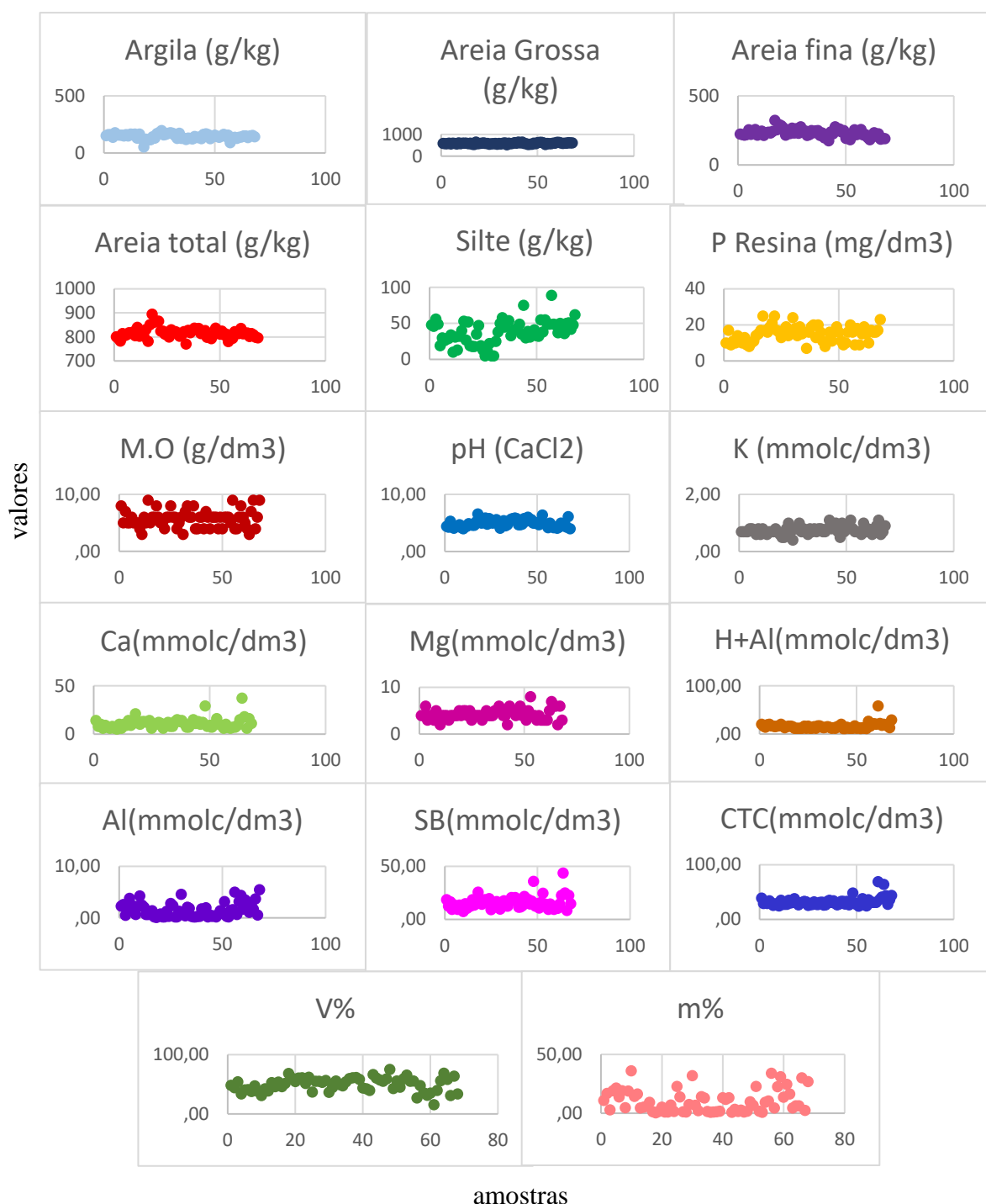
**Figura 19:** Gráficos de dispersão dos elementos físicos e químicos da área experimental 1, de 0 a 40 cm de profundidade. Argila (g/kg); Areia fina (g/kg); Areia grossa (g/kg); Areia total (g/kg); Silte (g/kg); P resina (mg/dm<sup>3</sup>); Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>); pH (CaCl<sub>2</sub>); K (mmol/dm<sup>3</sup>); Ca (mmol/dm<sup>3</sup>); Mg (mmol/dm<sup>3</sup>); H+Al (mmol/dm<sup>3</sup>); Al (mmol/dm<sup>3</sup>); SB – soma de bases (mmol/dm<sup>3</sup>); CTC – Capacidade de Troca Catiônica (mmol/dm<sup>3</sup>); v% - percentual de saturação por bases (%); m% - percentual de saturação por alumínio (%).

## APENDICE C



**Figura 20:** Gráficos de dispersão dos elementos físicos e químicos da área experimental 2, de 0 a 20 cm de profundidade. Argila (g/kg); Areia fina (g/kg); Areia grossa (g/kg); Areia total (g/kg); Silte (g/kg); P resina (mg/dm<sup>3</sup>); Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>); pH (CaCl<sub>2</sub>); K (mmol/dm<sup>3</sup>); Ca (mmol/dm<sup>3</sup>); Mg (mmol/dm<sup>3</sup>); H+Al (mmol/dm<sup>3</sup>); Al (mmol/dm<sup>3</sup>); SB – soma de bases (mmol/dm<sup>3</sup>); CTC – Capacidade de Troca Catiônica (mmol/dm<sup>3</sup>); v% - percentual de saturação por bases (%); m% - percentual de saturação por alumínio (%).

## APENDICE D



**Figura 21:** Gráficos de dispersão dos elementos físicos e químicos da área experimental 2, de 20 a 40 cm de profundidade. Argila (g/kg); Areia fina (g/kg); Areia grossa (g/kg); Areia total (g/kg); Silte (g/kg); P resina (mg/dm<sup>3</sup>); Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>); pH (CaCl<sub>2</sub>); K (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>); Ca (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>); Mg (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>); H+Al (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>); Al (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>); SB – soma de bases (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>); CTC – Capacidade de Troca Catiônica (mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>); v% - percentual de saturação por bases (%); m% - percentual de saturação por alumínio (%).