

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG – CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Fabiana Fernandes Ferreira de Godoi

ESTUDO DE MÉTODO GEOELÉTRICO, PARA SER UTILIZADO EM ÁREA
AGRÍCOLA, PARA PRODUZIR MAPEAMENTO DA APLICAÇÃO DE
FERTILIZAÇÃO QUÍMICA NO SOLO

Goiânia, 2016

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG – CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Fabiana Fernandes Ferreira de Godoi

ESTUDO DE MÉTODO GEOELÉTRICO, PARA SER UTILIZADO EM ÁREA
AGRÍCOLA, PARA PRODUZIR MAPEAMENTO DA APLICAÇÃO DE
FERTILIZAÇÃO QUÍMICA NO SOLO

Programa de Pós-Graduação stricto sensu em
Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG
(PPGTPS-IFG) – Dissertação de Mestrado
Profissional. Área de Concentração:
Tecnologia de Sistemas de Produção Limpa.
Linha de Pesquisa: Energias Renováveis e
Engenharia Econômica Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Aylton José Alves
Coorientador: Prof. Dr. Wesley Pacheco
Calixto

Goiânia, 2016

G547e Godoi, Fabiana Fernandes Ferreira de.
Estudo de método geoeletrico, para ser utilizado em área agrícola, para produzir mapeamento da aplicação de fertilização química no solo / Fabiana Fernandes Ferreira de Godoi. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2016.
82 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Aylton José Alves.
Coorientador: Prof. Dr. Wesley Pacheco Calixto.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Coordenação do Programa de Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.
Inclui apêndices.

1. Condutividade elétrica. 2. Solo - fertilização. 3. Arranjo de Wenner. 4. Caminhamento elétrico. I. Alves, Aylton José (orientador). II. Calixto, Wesley Pacheco (coorientador). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. IV. Título.

CDD 631.422

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva Abreu CRB1/ 2.740
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIÁS

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG *CAMPUS* GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Fabiana Fernandes Ferreira de Godói

**“ESTUDO DO MÉTODO GEOELÉTRICO, PARA SER UTILIZADO EM
ÁREA AGRÍCOLA, PARA PRODUZIR MAPEAMENTO DA
APLICAÇÃO DE FERTILIZAÇÃO QUÍMICA NO SOLO”**

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em
Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG
(PPGTPS - IFG) - Dissertação de Mestrado
Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de
Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa:
Energias Renováveis e Engenharia Econômica
Aplicada.

Prof(a). Dr.(a) AYLTON JOSÉ ALVES (presidente e orientador IFG)

Assinatura

Prof(a). Dr.(a) WESLEY PACHECO CALIXTO (coorientador e avaliador IFG);

Assinatura

Prof(a). Dr.(a) JOSÉ WILSON LIMA NERY'S (avaliador externo EMC/UFG);

Assinatura

Prof(a). Dr.(a). SÉRGIO BOTELHO DE OLIVEIRA (suplente IFG)

Assinatura

Aprovado em: 05/04/2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Elizete Ferreira de Godoi, que sempre esteve ao meu lado me apoiando, suportando e acreditando em meus sonhos. Ao meu amigo e colega de mestrado José Rodrigo dos Santos Silva que foi minha base, meu companheiro fiel, meu braço direito durante o mestrado.

Aos colegas Antônio Marcelino da Silva Filho, Francisco Profeta, Geovanne Furriel, Thatyla Carla, Eberth Enrique Ribeiro, minha eterna gratidão pela ajuda nos estudos e nos experimentos em campo e em bancada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Aylton José Alves por nunca ter medido esforços para me ajudar. Ao meu coorientador Prof. Dr. Wesley Pacheco Calixto por ter estado sempre ao meu lado quando precisei. A toda equipe de alunos e professores do NEXT.

Ao presente que Deus por seu infinito amor me enviou ao final deste mestrado: Minha filha Maria Elisa Godoi, eu te amo tanto, você é a razão de minha vida, que o Espírito Santo de Deus assim como capacitou Maria, me ensine a ser uma boa mãe, e que você siga os passos de seu filho Jesus. À Deus, meu amor maior, obrigada por nunca desistir de mim, e me levar a lugares que somente pela fé alcançaria.

EPÍGRAFE

“A força mais potente do universo é a fé.”

Madre Teresa de Calcutá

Título: Estudo de método geoeletrico, para ser utilizado em área agricola, para produzir mapeamento da aplicacao de fertilizacao quimica no solo.

Autor: Fabiana Fernandes Ferreira de Godoi

Orientador: Prof. Dr. Aylton José Alves

Coorientador: Prof. Dr. Wesley Pacheco Calixto

RESUMO

Neste trabalho é desenvolvida e testada uma metodologia, em bancada laboratorial, que utiliza-se do arranjo de Wenner, para estudos de condutividade elétrica do solo, sob efeito de alguns dos mais comuns tipos de fertilizantes, utilizados na agricultura: NPK-05:30:15, NPK-20:00:20, sulfato de amônia, e ainda o calcário. A metodologia desenvolvida, isola, eficazmente, o efeito da água e tem êxito em mostrar apenas os efeitos dinâmicos produzidos nos parâmetros elétricos do solo. Outra parte do trabalho se propôs realizar testes em campo, diretamente ao solo, com os mesmos fertilizantes do teste laboratorial, através dos arranjos de Wenner, de duas formas: método do Caminhamento Elétrico, Estratificação em Camadas Horizontais e estratificação 3D. Os resultados demonstram que o arranjo de Wenner e o método do Caminhamento Elétrico permitem analisar adequadamente, através de análises de dados, com parâmetros geofísicos, em especial a condutividade elétrica e as espessuras das camadas verticais do solo, as influências, que tais aditivos agrícolas, produzem no solo logo após a sua aplicação. Os resultados dos estudos permitiram compreender, que há um período indicado para a realização eficaz de tais testes, que visem a produção de mapas, que possibilitem estudos de avaliação da distribuição destes aditivos na área sob teste.

Palavras chaves: Condutividade elétrica, Fertilização do solo, Arranjo de Wenner, Caminhamento Elétrico.

TITLE: Study geoelectrical method to be used in agriculture to produce mapping the application of chemical fertilizer into the soil.

AUTHOR: Fabiana Fernandes Ferreira de Godoi

ADVISER: Dr. Aylton José Alves

CO-ADVISER: Dr. Wesley Pacheco Calixto

ABSTRACT

This work developed and tested a method, in laboratory bench, which is used in the Wenner array for studies of soil electrical conductivity, under the influence of some of the most common types of fertilizers used in agriculture: NPK- 05:30 15-NPK 20: 00: 20, Ammonium Sulfate, and also the limestone. The methodology developed, insulates effectively, the effect of water and is successful in showing only the dynamic effects produced in the electrical parameters of the soil. Another part of the work is proposed to carry out field tests directly to the soil, with the same fertilizer laboratory testing, using the Wenner array, in two ways: Lateral Profiling and stratification in horizontal layers, 3D layering. The results demonstrate that the Wenner array and Lateral Profiling to adequately analyze, through data analysis, geophysical parameters, in particular the electrical conductivity and the thickness of the horizontal layers of the soil, the influence that such agricultural additives, they produce the soil soon after application. The results of the study allowed us to understand that there is a period indicated for the effective implementation of such tests, aimed at producing maps that enable studies to assess the distribution of these additives in the area under test.

Key words: Electrical conductivity, Soil fertilization, Wenner array, Lateral Profiling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração do Arranjo de Wenner.....	24
Figura 2 – Ilustração do Método do Caminhamento Elétrico.	27
Figura 3 - Dimensões dos vasos e esquema de aplicação de fertilizantes e calcário.	29
Figura 4 - Aplicação do arranjo de Wenner para coleta de dados de resistência elétrica e umidade do solo nos vasos.	30
Figura 5 - Aproximação exponencial para o solo padrão (sem adubo) com umidade variável no período de amostragem.	32
Figura 6 - Resistência do solo, com fertilizante, para a umidade de referência U_{1x} no período de amostragem.....	33
Figura 7 - Área de estudo delimitada para o experimento de campo.....	35
Figura 8 - Metodologia para o do Caminhamento Elétrico.....	36
Figura 9 - Metodologia para o método de estratificação em camadas horizontais do solo.	37
Figura 10 - Correlação entre a umidade e resistência elétrica do solo na profundidade P_1 do vaso F_1	40
Figura 11 - Correlação entre a umidade e resistência elétrica do solo na profundidade P_2 do vaso F_1	40
Figura 12 - Correlação entre a umidade e resistência elétrica do solo na profundidade P_3 do vaso F_1	41
Figura 13 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F_2 - (N: P: K - 05:30:15).....	55
Figura 14 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F_6 - (N: P: K- 05:30:15 dobrado).....	56
Figura 15 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F_3 - (Sulfato de Amônia).	56
Figura 16 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F_9 - (Sulfato de Amônia - dobrado).	57
Figura 17 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F_4 - (N: P: K – 20:00:20).....	58
Figura 18 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F_7 - (N: P: K – 20:00:20 - dobrado).....	58
Figura 19 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F_5 - (calcário).	59
Figura 20 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F_8 - (calcário - dobrado).....	60
Figura 21 - Distribuição dos fertilizantes na área sob estudo.....	61
Figura 22 - Condutividade elétrica (método do caminhamento) para os testes realizados de 04/07/2015 a 01/08/2015.	62
Figura 23 - Estratificação horizontal do solo da área de estudo - 04/07/2015 a 01/08/2015.	65
Figura 24 - Comportamento dinâmico das espessuras das camadas do solo.	68
Figura 25 - Comportamento dinâmico das espessuras das camadas do solo.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados das medições no vaso - Padrão F ₁	38
Tabela 2 - Resultados das medições no vaso - Padrão F ₁	39
Tabela 3 - Correlação entre a umidade e resistência elétrica do solo na profundidade P ₃ do vaso F ₁	42
Tabela 4 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₂ - (N: P: K - 05:30:15).....	42
Tabela 5 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₂ - (N: P: K - 05:30:15).....	43
Tabela 6 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₆ - (N: P: K - 05:30:15 - dobrado).....	43
Tabela 7 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₆ - (N: P: K - 05:30:15 - dobrado).....	44
Tabela 8 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₆ - (N:P:K - 05:30:15 - dobrado).....	44
Tabela 9 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₃ - (Sulfato de Amônia)	45
Tabela 10 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₃ - (Sulfato de Amônia)	45
Tabela 11 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₃ - (Sulfato de Amônia)	46
Tabela 12 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₉ - (Sulfato de Amônia - dobrado)	47
Tabela 13 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₉ - (Sulfato de Amônia - dobrado)	47
Tabela 14 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₉ - (Sulfato de Amônia - dobrado)	48
Tabela 15 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₄ - (N: P: K – 20:00:20).....	48
Tabela 16 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₄ - (N: P: K – 20:00:20).....	49
Tabela 17 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₄ - (N: P: K – 20:00:20).....	49
Tabela 18 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₇ - (N: P: K – 20:00:20 - dobrado).....	50
Tabela 19 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₇ - (N: P: K – 20:00:20 - dobrado).....	50
Tabela 20 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₇ - (N: P: K – 20:00:20 - dobrado).....	51
Tabela 21 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₅ - (calcário)	52
Tabela 22 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₅ - (calcário)	52
Tabela 23 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₅ - (calcário)	53
Tabela 24 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₈ - (calcário - dobrado).....	53
Tabela 25 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₈ - (calcário - dobrado).....	54
Tabela 26 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F ₈ - (calcário - dobrado).....	54

Tabela 27 - Detalhamento das espessuras das camadas - Dias 04/07/2015 a 11/07/2015.	66
Tabela 28 - Detalhamento da espessura das camadas - Dias 18/07/2015 a 01/08/2015.	67
Tabela 29 - Detalhamento dinâmico das espessuras das camadas no período de testes.	68

LISTA DE SÍMBOLOS

- R_m – Resistência elétrica aparente
- $\rho_a(a)$ – Resistividade elétrica aparente do solo em função do espaçamento “a”
- $\sigma_a(a)$ – Condutividade elétrica aparente do solo
- P – Profundidade dos eletrodos
- q – Ponto de injeção de corrente elétrica
- q_1, q_4 – Eletrodos de corrente
- q_2, q_3 – Eletrodos de tensão
- T_1, T_4 – Terminais de corrente do medidor de resistividade elétrica
- T_2, T_3 – Terminais de tensão do medidor de resistividade elétrica
- V – Tensão elétrica
- V_{q_2}, V_{q_3} – Potenciais elétricos nos pontos q_2 e q_3 , respectivamente

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	– Agricultura de Precisão
Embrapa	– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IFG	– Instituto Federal de Goiás
TDR	– Reflectometria no Domínio do Tempo
PEAD	– Polietileno de Alta Densidade
UFG	– Universidade Federal de Goiás

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	14
INTRODUÇÃO.....	14
CAPÍTULO 2.....	18
PROSPECÇÃO GEOELÉTRICA	18
2.1 PRINCIPAIS MÉTODOS DE PROSPECÇÃO GEOELÉTRICA.....	18
2.2 PRINCIPAIS ELEMENTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	20
2.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO	22
2.4 PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA MEDIÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO	23
2.5 ARRANJO DE WENNER.....	24
2.5.1 MÉTODO DO CAMINHAMENTO ELÉTRICO	26
CAPÍTULO 3.....	28
METODOLOGIA	28
3.1 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL EM BANCADA.....	28
3.1.1 COLETA DE DADOS	30
3.1.2 PROCEDIMENTOS PARA ISOLAR O EFEITO DA UMIDADE NAS MEDIÇÕES DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DO SOLO.....	31
CAPÍTULO 4.....	38
RESULTADOS.....	38
4.1 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL EM BANCADA.....	38
4.1 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DIRETAMENTE NO SOLO, EM ÁREA AGRÍCOLA.....	60
4.2.1 ARRANJO DO CAMINHAMENTO ELÉTRICO	61
4.2.2 ARRANJO PARA ESTRATIFICAÇÃO EM CAMADAS HORIZONTAIS	64
4.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS TRÊS MÉTODOS	70
CAPÍTULO 5.....	72
CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS	74
APENDICE A.....	78
LISTAGEM DO PROGRAMA PARA PRODUZIR MAPAS DE CONDUTIVIDADE/RESISTIVIDADE ELÉTRICA NO MÉTODO DO CAMINHAMENTO	78
APENDICE B.....	81
LISTAGEM DO PROGRAMA PARA PRODUZIR MAPAS DE ESTRATIFICAÇÃO EM CAMADAS HORIZONTAIS - 3D.....	81

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A condutividade elétrica é a capacidade que um material tem de conduzir corrente elétrica. É uma propriedade intrínseca de cada material. Pesquisas já mostraram que o solo pode ser considerado como um recipiente truncado para solução eletrolítica, como um condutor, possuindo um percurso não uniforme ou um grande número de percursos de condução de comprimentos e seções transversais variáveis.

O solo pode conduzir corrente elétrica através da água intersticial, que contém eletrólitos dissolvidos e através de cátions trocáveis que residem perto da superfície de partículas de solos carregados, e são eletricamente móveis em vários níveis. Há um modelo de condutividade elétrica que descreve a condutância através de três vias de atuação em paralelo composto por: a) condutância através de camadas alternantes do solo e entre os limites de sua solução; b) condutância através de soluções do solo contínuas e c) condutância através ou entre superfícies de partículas do solo em contato direto com elas (RHOADES *et. al.*, 1989).

A condutividade elétrica (σ) tem atraído atenção como uma ferramenta utilizada para formação de mapas, pois se mostra como um método rápido e econômico, indicativo da produtividade do solo (McBRIDE *et al.*, 1990). Além dos mapas de produtividade, investigações relacionadas à condutividade elétrica do solo podem auxiliar na mensuração: do conteúdo de argila (MOLIN *et. al.*, 2005, WILLIAMS; HOEY, 1987), do conteúdo de água (McBRIDE *et al.*, 1990), da capacidade de troca catiônica e teores de cálcio e magnésio trocáveis (KACHANOSKI *et al.*, 1988), da profundidade de camada de impedimento de percolação de água, teor de matéria orgânica (JAYNES, 1996) e do teor de sais na solução do solo (CAMINHA JUNIOR *et al.*, 1998).

Como a condutividade elétrica do solo se relaciona com algumas propriedades físicas (RHOADES; INGVALSON, 1971) e (BANTON *et al.*, 1997), existe um método de campo para avaliar a textura, umidade e salinidade, no qual são obtidos valores para a condutividade elétrica, utilizando o arranjo de Wenner (WENNER, 1916). A partir das medidas coletadas em campo de corrente elétrica aplicada no solo e tensão elétrica resultante, são calculados os valores da condutividade elétrica.

Atualmente grandes áreas agrícolas são entendidas como homogêneas, levando ao conceito da necessidade média para a aplicação dos insumos – fertilizantes, defensivos, água, etc. – homogeneizando a aplicação de insumos para toda a área,

atendendo apenas às necessidades médias e não considerando, desta forma, as necessidades específicas de cada parte do campo, o que resulta numa lavoura com produtividade não uniforme (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

Com a aplicação da Agricultura de Precisão (AP) é possível evitar esses problemas, por se tratar de uma postura gerencial que considera a variabilidade espacial dos atributos do solo de uma área agrícola. De acordo com Roza (2000), a AP é uma maneira de gerir um campo produtivo metro a metro, levando em conta o fato de que cada pequena área de um campo agrícola tem propriedades diferentes.

O uso da AP que é baseado nas propriedades químicas e físicas do solo requer um volume significativo de coleta de dados para determinar a variabilidade espacial do campo, o que torna os trabalhos de coleta e análises dispendiosos, porém a redução do número de dados coletados pode conduzir a erros e, conseqüentemente, erros na tomada de decisões de como intervir com modificações no solo.

A resolução espacial da informação possível de ser obtida com AP exige métodos rápidos e precisos para mapear a produtividade potencial de uma área. Por esses motivos, a condutividade elétrica do solo tem atraído recentemente a atenção de pesquisadores e investidores por ser um método rápido, não evasivo e de baixo custo. Um dos princípios da agricultura de precisão baseia-se na propriedade do solo de variar a condutividade elétrica de acordo com a variação das suas propriedades físico-químicas.

O mapeamento da condutividade tornou-se assim uma ferramenta eficiente na investigação do comportamento e da variabilidade espacial do solo, permitindo identificar áreas com propriedades semelhantes e delimitar unidades de gerenciamento diferenciado (EISENREICH, 2001).

A avaliação dos atributos do solo, principalmente da fertilidade química, é de utilidade para a definição das quantidades e tipos de fertilizantes, corretivos e manejo geral que devem ser aplicados ao solo visando à manutenção ou à recuperação de sua produtividade (EMBRAPA, 2010). Porém, a manutenção e/ou recuperação deve ser realizada de forma sustentável para evitar desperdícios, custos e impactos ambientais. Para isso utiliza-se AP.

Atualmente, os estudos para avaliar a variabilidade de nutrientes no solo, principalmente de fertilizantes, envolvem o emprego de métodos destrutivos, ou seja, as amostras de solo são coletadas utilizando-se de trado, sonda ou cano galvanizado ou ainda enxada. Para se ter uma boa representatividade de um terreno, as amostras são coletadas em diversos pontos ao longo do terreno. Geralmente as amostras de solo são coletadas nas

profundidades de 10 a 20 cm da superfície do solo, e os experimentos são geralmente realizados em campo em blocos casualizados e em arranjo fatorial (CARDOSO *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2014). Em seguida essas amostras são armazenadas geralmente em sacos plásticos e encaminhadas para análise físico-químicas (DE FARIA, 2001).

Esses procedimentos resultam no impacto do ambiente edáfico, além de serem métodos dispendiosos, geram custo elevados em decorrência das análises físico-químicas de várias amostras de solo.

Mas o problema não se limita somente à análise de fertilidade química e aplicação correta de insumos, mas à capacidade de assimilação, tempo de retenção, disponibilidade e saturação dos mesmos no solo. Mas há uma carência de estudos que avaliem os efeitos dos fertilizantes ou da quantidade de água no solo de forma não invasiva. E essa avaliação não invasiva pode reduzir o tempo de trabalho, custos, impactos e degradação do solo. Embora, os estudos mencionados são feitos através de técnica invasivas, é preciso que essa avaliação seja também de forma sustentável, fazendo uso de métodos não invasivos. Portanto, o uso dos valores de resistividade elétrica pode ser de grande utilidade na verificação dos efeitos provocados pela aplicação de corretivos e fertilizantes, para que as futuras dosagens sejam mais precisas para evitar impactos no solo. Uma grande vantagem dos métodos geoeletricos propostos, é que enquanto os métodos tradicionais mapeiam regiões discretas na área sob estudo, o método geoeletrico pode mapear toda uma área de forma contínua. Nesse quesito pode ser uma ferramenta inicial para detectar possíveis manchas, sejam: de saturação química, compactação do solo ou de umidade e assim possibilitar estudos complementares nessas áreas sob destaque.

Na Geologia, a prospecção elétrica tem sido utilizada principalmente na identificação de aquíferos e também na identificação de plumas de contaminação de solo. O uso de técnicas de eletrorresistividade na pesquisa de água subterrânea tem demonstrado bons resultados (SOUZA FILHO; OLIVEIRA, 2006). Também na Arqueologia utiliza-se prospecção geoeletrica na detecção de artefatos enterrados, covas e ossadas. A técnica de sondagem vertical consiste, basicamente, na análise e interpretação de um parâmetro físico, obtido a partir de medidas efetuadas na superfície do terreno, investigando, de maneira pontual, sua variação em profundidade.

É sabido que os elementos químicos presentes no solo podem influenciar a condutividade elétrica do solo, contudo, há carência de trabalhos que demonstrem, através de métodos não invasivos, isto é, métodos que não interfiram na mecânica do solo sob

estudo para avaliar qual a magnitude e o efeito dinâmico dos principais tipos de fertilizantes e ou corretivos de acidez do solo e calcário provocam na condutividade elétrica do solo. Se o método de prospecção geoeletrico escolhido for capaz de mapear, toda uma área agrícola, correlacionando a condutividade elétrica com a presença do fertilizante no solo em proporção das quantidades desse fertilizante, em cada porção desta área, então essa metodologia poderá ser aplicada para auxiliar no controle e avaliação da homogeneidade da aplicação de fertilizantes em toda a área sob estudo.

O objetivo geral deste trabalho foi estudar as melhores formas, com a utilização de método de prospecção geoeletrico por meio do arranjo de Wenner para os eletrodos, para se produzir mapas de distribuição de fertilizantes comuns à agricultura moderna. Ainda se propõe como outros objetivos: (i) desenvolver e testar uma nova metodologia para estudos em bancada laboratorial em análises de condutividade elétrica de solos; (ii) testar o comportamento geoeletrico de alguns dos principais fertilizantes utilizados na agricultura, em bancada laboratorial e em campo; (iii) testar duas formas diferentes de arranjos de Wenner e o método do Caminhamento Elétrico e o método da Estratificação em Camadas Horizontais, para verificar qual produz os melhores resultados para mapear uma área agrícola, quanto à presença e quantitativos dos fertilizantes no solo.

Este trabalho está estruturado como se segue:

No **Capítulo 2**, é apresentado o fundamento teórico para os diversos métodos de prospecção geoeletrica, onde é dado ênfase ao método geoeletrico de eletrorresistividade, com a utilização do arranjo de Wenner, que utiliza quatro eletrodos inseridos no solo, para a obtenção dos valores de resistividade e condutividade elétrica do solo, utilizando-se das técnicas de Caminhamento Elétrico e Estratificação em Camadas Horizontais X Camadas Verticais.

No **Capítulo 3**, são apresentadas as metodologias desenvolvidas no trabalho, que constitui-se em duas partes: a primeira parte em bancada laboratorial utilizando-se do arranjo de Wenner e na segunda parte em campo utilizando-se do arranjo de Wenner através do Caminhamento Elétrico e de Estratificação em Camadas Horizontais.

No **Capítulo 4**, são apresentados os principais resultados obtidos das aplicações das metodologias empregadas no capítulo 3.

No **Capítulo 5**, são apresentadas as principais conclusões do trabalho.

Após o Capítulo 5 são colocados dois anexos, contendo informações das listagens de programa utilizados para calcular as condutividades elétricas na área de campo e as referências bibliográficas utilizadas.

CAPÍTULO 2

PROSPECÇÃO GEOELÉTRICA

Neste capítulo é realizada exposição teórica de vários métodos propostos na literatura para a realização da prospecção geoeletrica, Também são apresentados os conceitos de: resistência, resistividade e condutividade elétrica aparente do solo, bem como será detalhado o princípio físico e o equacionamento matemático que fundamenta o método de prospecção geoeletrico utilizado neste trabalho: o arranjo de Wenner.

2.1 Principais Métodos de Prospecção Geoeletrica

Existem diversos métodos geoeletricos, os principais são: eletrorresistividade, eletromagnético, polarização induzida e potencial espontâneo. A investigação geofísica através de métodos geoeletricos envolve a detecção, na superfície dos terrenos, dos efeitos produzidos pelo fluxo de corrente elétrica na subsuperfície. Os métodos geoeletricos são amplamente empregados para: determinação da posição e geometria do topo rochoso; caracterização de estratos sedimentares; identificação de zonas de falhas, zonas alteradas e/ou fraturadas, contatos litológicos, cavidades e diques; caracterização de materiais impermeáveis e permeáveis, o que permite delimitar zonas potenciais de contaminação; localização de corpos condutores e corpos resistentes; e separação das diversas camadas no subsolo (OLIVEIRA; BRITO, 1998).

O uso do método da eletrorresistividade no campo é baseado na capacidade do equipamento em introduzir uma corrente elétrica no subsolo, a partir de diferentes espaçamentos entre A e B, dispostos na superfície do terreno (diferentes profundidades de investigações), e calcular as resistividades dos materiais geoeletricos a estas várias profundidades investigadas.

O método da polarização induzida baseia-se na medição das variações de tensão em função do tempo ou frequência. Conforme observado por pesquisadores desde o início desde século. Na teoria, a resposta da polarização induzida é uma quantidade com dimensões muito reduzidas, sendo na prática medida tal como uma variação de tensão em função do tempo e frequência, denominados, respectivamente, de IP – Domínio do Tempo e IP – Domínio de frequência. Como ocorre no método da eletrorresistividade, se as medidas da polarização induzida são efetuadas sobre um terreno cujo subsolo é heterogêneo, resulta que os dados de campo expressam polarizações aparentes.

O método do potencial espontâneo é baseado no fato de que em determinadas condições, heterogeneidades condutoras do subsolo se polarizam, convertendo-se em verdadeiras “pilhas” elétricas que originam, no subsolo, correntes elétricas. Estas correntes produzem uma distribuição de potenciais observáveis na superfície do terreno, e que indicariam a presença do corpo polarizado.

Os métodos de prospecção geoeletricos são resultados de análises práticas das equações de Maxwell, utilizando a curva de resistividade aparente, onde fundamenta-se toda a criatividade dos métodos de estratificação do solo em várias camadas (CALIXTO; COIMBRA, 2012).

Em geral, os arranjos de campo dos métodos geoeletricos principais, constam de quatro eletrodos cravados na superfície do terreno. Um par de eletrodos serve para introduzir a corrente elétrica no subsolo, enquanto que, o outro par, é utilizado para medir a diferença de potencial que se estabelece entre eles, como resultado da passagem desta corrente.

Uma classificação dos métodos geoeletricos proposta por BRAGA (1997), é baseada apenas em três critérios: método geofísico, técnica e arranjo de campo. Estes critérios, na prática, revelam-se de fácil entendimento e utilização, tornando claro o tipo de levantamento geofísico empregado.

Alguns métodos de estratificação estão fundamentados no levantamento da curva de resistividade do solo que pode ser obtida por alguns métodos geofísicos, como os arranjos de Wenner e o arranjo de Schlumberger (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995). As técnicas de desenvolvimento de campo dos métodos geoeletricos, podem ser de três tipos principais: sondagem, caminhamentos e perfilagens. A diferença básica entre estas técnicas, está no procedimento de campo para se obter o parâmetro físico a ser estudado, ou seja, na disposição dos eletrodos na superfície do terreno ou interior de furos de sondagens e a maneira de desenvolvimento dos trabalhos para se obter os dados de campo, ligada aos objetos da pesquisa.

Schlumberger e Wenner são dois dos arranjos de campo mais utilizados na execução da técnica, colocam-se quatro eletrodos na superfície do terreno, dispostos simetricamente em relação ao centro e sobre uma mesma reta. O Schlumberger é necessário o deslocamento de apenas um eletrodo; as leituras nos equipamentos são menos sujeitas às interferências produzidas por ruídos indesejáveis, tais como, potenciais artificiais produzidos por cabos e estações de alta tensão.

Estes métodos envolvem a detecção, na superfície dos terrenos, dos efeitos produzidos pelo fluxo de corrente elétrica na subsuperfície. Estes métodos geoeletricos são amplamente utilizados para determinação da posição e geometria do topo rochoso, caracterização de estratos sedimentares; identificação de zonas de falhas, zonas alteradas e/ou fraturas, contatos litológicos cavidades e diques; caracterização de materiais impermeáveis e permeáveis, o que permite delimitar zonas potenciais de contaminação; localização de corpos condutores e corpos resistentes e separação das diversas camadas no subsolo (OLIVEIRA; BRITO, 1998).

2.2 Principais Elementos Químicos do Solo

É interessante observar que o solo possui elementos químicos que são importantes influenciadores na dinâmica da condutividade elétrica no solo, portanto é de suma importância conhecer o comportamento dos principais elementos químicos do solo.

A composição do solo varia muito, no espaço e no tempo. A sua composição depende do material de origem do solo, do pH, das condições de oxirredução, do teor de matéria orgânica, da adição de produtos químicos (fertilizantes, herbicidas, fungicida) e do seu manejo. Os principais íons que podem estar presentes na solução de solos oxidados, com pH próximo a neutralidade, com teores médios de matéria orgânica, são Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{1+} , Na^{1+} , Fe^{2+} , Cl^{1-} , NO_3^- , SO_4^{2-} e $\text{Si}(\text{OH})_4$. Em solos ácidos, ocorrem ainda Al^{3+} e H^+ . Íons que ocorrem em menores concentrações na solução do solo são o B, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn. Em geral a quantidade de cátions e ânions presentes na solução do solo é menor do que $10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$. A composição da solução do solo varia, também, com o clima: em áreas de regiões temperadas a sua composição é diferente da composição da solução dos solos que ocorrem em regiões tropicais, onde as temperaturas são mais altas e os processos de intemperização dos solos são mais acentuados (MEURER, 2010).

O nitrogênio é o nutriente exigido em maiores quantidades pelas culturas. Esse fato é refletido no consumo mundial do elemento em fertilizantes, há muito superando as quantidades utilizadas de fósforo e potássio. Embora o nitrogênio seja um dos elementos mais difundidos na natureza, praticamente não existe nas rochas que dão origem aos solos. Assim, pode-se considerar que a fonte primária do elemento no solo é o nitrogênio do ar. O nitrogênio representa cerca de quatro quintos do volume de ar atmosférico, sendo, portanto, o elemento predominante, ocorrendo na forma molecular

altamente estável N_2 , não diretamente aproveitável pela maioria dos vegetais superiores. A grande disponibilidade do gás nitrogênio no ar atmosférico não garante a disponibilidade fácil do nutriente para a agricultura. Pelo contrário, ele é o elemento que necessita a maior parcela de energia, entre os macro nutrientes, para ser transformado em adubos minerais em formas disponíveis para as plantas. Nos solos existem quantidades consideráveis de nitrogênio, principalmente em formas orgânicas. São dois os principais mecanismos que garantem a transferência de nitrogênio para o solo, em condições naturais, ou seja, sem adubações. O primeiro é a transformação do nitrogênio elementar em óxidos nítricos, que acaba chegando ao solo pela água das chuvas, resultando em nitratos aproveitáveis pelas plantas. O segundo é a fixação direta do nitrogênio do ar por microrganismos do solo. O nitrogênio é o mais importante dos macro nutrientes, tanto em termos de uso de fertilizantes em nível mundial como em conteúdo nas culturas e nas colheitas.

O fósforo é um nutriente que tem como particularidade o alto grau de interação com o solo. Essa característica, associada à sua deficiência em vastas áreas da agricultura brasileira, fez desse elemento o mais crítico nas adubações nas últimas décadas. Contudo, com o uso crescente de fertilizantes minerais e calagem, a deficiência de fósforo foi sendo reduzida, embora não eliminada. Na situação atual, há graus de deficiência muito variáveis entre solos, o que torna a determinação das quantidades de fósforo a aplicar bastante difícil. Em decorrência disso, ao estudar o fósforo, torna-se necessário reconhecer as interações do elemento com o solo e compreender a dinâmica de suas formas disponíveis para as plantas neste ambiente. Tal conhecimento é indispensável para a avaliação da disponibilidade do nutriente no solo e para orientar a prática da adubação fosfatada. Os extratores químicos mais usados, por sua vez, removem formas químicas, sem atingir grande eficiência para medir fósforo lábil. Além de combinações complexas, o fósforo pode encontrar-se em diferentes posições na estrutura dos minerais. Assim, o elemento pode estar na superfície das partículas do solo ou, também, ocluso dentro de partículas recobertas de óxidos, o que, certamente, afeta sua disponibilidade.

O potássio é o segundo macronutriente em teor contido nas plantas. Depois do fósforo, constitui o nutriente mais consumido como fertilizante pela agricultura brasileira. O comportamento do nutriente em solos tropicais aparenta ser muito mais simples do que em solos de clima temperado. Além disso, praticamente há apenas um adubo potássico de grande importância. Por essas razões, a pesquisa acerca do potássio, quer

seja em solos, quer seja para culturas, tem recebido menos atenção do que a dedicada a nitrogênio e fósforo.

O potássio é um elemento muito abundante em rochas e em solos. Os teores totais desse elemento, em solos bem supridos, podem superar 1%. Grande parte disso encontra-se em minerais que contêm o elemento em suas estruturas cristalinas. O potássio é absorvido pelas plantas da solução do solo na forma iônica K^+ . A absorção depende, principalmente, da difusão do elemento através da solução do solo. O potássio tem algumas semelhanças com o fósforo no que diz respeito à absorção pela planta, já que os dois nutrientes dependem de difusão para chegar na superfície das raízes. Contudo, sais de potássio geralmente apresentam alta solubilidade e, assim, os teores de potássio na solução do solo podem atingir concentrações bastante elevadas, dependendo do teor de ânions presentes. Isso confere ao potássio mobilidade bem maior em comparação ao fósforo, o que também propicia seu esgotamento mais facilmente em decorrência da absorção pelas plantas. Na maioria dos países, o potássio trocável é o índice mais comumente usado para avaliar a disponibilidade do nutriente (MEURER, 2010).

2.3 Condutividade Elétrica Aparente do Solo

A condutividade elétrica é uma propriedade intrínseca de todo material condutor de corrente elétrica. Em geoprospecção, o condutor é o solo, no qual a corrente elétrica circula graças à presença de sais livres na solução do solo (fase líquida) e também devido aos íons trocáveis na superfície das partículas (FRIEDMAN, 2005).

No entanto, diferente do que ocorre com um fio condutor de eletricidade, a corrente elétrica no solo pode percorrer diversos caminhos. Em solos suficientemente úmidos, a condução de corrente se dá principalmente através do conteúdo de sal na água do solo que ocupa os poros maiores.

Entretanto, também há contribuição da fase sólida para a condutividade elétrica em solos úmidos principalmente através de cátions trocáveis associados com minerais de argila. Um terceiro caminho para a corrente elétrica no solo existe por meio de partículas em contato direto e contínuo uma com a outra. Estes três caminhos do fluxo de corrente contribuem para a condutividade elétrica global do solo, conhecida como condutividade elétrica aparente do solo σ_a , medida em siemens por metro [$S.m^{-1}$] (CORWIN; LESCH, 2003).

A condutividade elétrica σ_a é influenciada por diversos fatores do solo como a porosidade, concentração de eletrólitos dissolvidos, textura, quantidade e composição dos coloides, matéria orgânica, teor de umidade, teor de argila e compactação (RHOADES; PRATHER, 1976). Solos com textura arenosa apresentam menor condutividade elétrica do que solos com textura argilosa, pois as partículas de areia são geralmente constituídas de quartzo, que é isolante elétrico (FAULIN, 2005). Além disto, as partículas de argila apresentam maior condutividade elétrica devido à presença de dupla camada entre a interface sólido-líquido (GIMENEZ, 2013). Outro fator que influencia σ_a é a temperatura. A condutividade eletrolítica aumenta à taxa de aproximadamente 1,9% por grau centígrado. Costumeiramente, σ_a é expressa a temperatura de referência de 25°C (CORWIN; LESCH, 2003).

O levantamento dos valores da condutividade elétrica do solo é realizado através de medições em campo, utilizando métodos de prospecção geoeletricos dentre os quais o mais conhecido e utilizado é o que utiliza o arranjo de Wenner (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995). O cálculo da resistividade e da condutividade elétrica aparente do solo é realizado a partir de um instrumento que mede a resistência R_m do solo e através de uma modelagem matemática calcula-se a condutividade elétrica.

O conhecimento dos valores da condutividade elétrica aparente do solo é particularmente adequado para estudo da variabilidade espacial de uma área de estudo das propriedades do solo por ser medida rápida, fácil e confiável que integra dentro de suas medidas as influências de muitas propriedades do solo, que contribuem na condutância elétrica do solo (RABELLO, 2009).

2.4 Princípios Básicos para Medição da Condutividade Elétrica Aparente do Solo

Para mensurar a σ_a são utilizados o sistema de indução eletromagnética e o de contato direto. A indução eletromagnética é técnica para medir a condutividade elétrica em solos sem contato com o mesmo. O sistema por contato direto, por sua vez, penetra no solo, geralmente utilizando como eletrodos de fluxo de corrente elétrica, eletrodos de metal, e capta a condutividade elétrica a uma profundidade diretamente proporcional aos espaçamentos entre os eletrodos (MOLIN; RABELLO, 2011). Para isso são necessários quatro eletrodos, dois para a injeção de corrente elétrica e dois para as medições de diferença de potencial resultante do fluxo de corrente elétrica no solo. Os eletrodos podem ser arrançados em diferentes configurações: com os eletrodos de potencial localizados

entre os eletrodos de corrente, como no caso do arranjo de Wenner e o de Wenner-Schlumberger, ou consecutivos a eles, como no caso do arranjo Polo-polo e Dipolo-dipolo.

Em geral, métodos magnéticos são mais sensíveis para camadas com maior condutividade, enquanto que os métodos resistivos são mais suscetíveis para camadas com baixa condutividade. Métodos resistivos (contato direto) têm sido indicados na literatura como mais adequados para aplicações em AP (GIMENEZ, 2013) e (MOLIN *et al.*, 2005).

Como na prática o subsolo não pode ser considerado um meio homogêneo, a quantia medida representa uma média ponderada de todas as resistividades verdadeiras em um volume de material em subsuperfície relativamente grande; portanto, ao se efetuar os cálculos pertinentes, obtém-se uma resistividade aparente.

2.5 Arranjo de Wenner

No método de Wenner, os eletrodos são cravados e espaçados igualmente no solo, formando assim um quadripolo que pode ser colocado ao longo de uma linha no solo. Todos os possíveis espaçamentos podem ser usados para as medições, iniciando do menor espaçamento ao maior espaçamento possível, de acordo com a distância total da linha de medição (SAMOÛELIAN, 2005).

A Figura 1 ilustra a aplicação do método de F. Wenner, através de um instrumento que mede a resistência elétrica do solo.

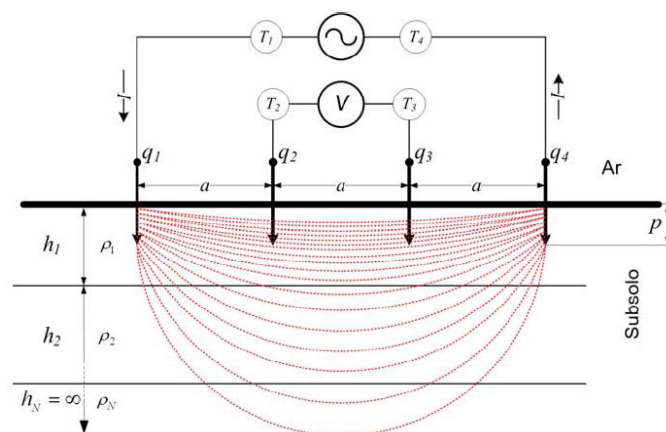


Figura 1 - Ilustração do Arranjo de Wenner.

Este instrumento possui quatro terminais, T_1 , T_2 , T_3 e T_4 , os quais são ligados através de fios a quatro hastes inseridas no solo. As quatro hastes são cravadas a profundidade p e igualmente espaçadas, pelo comprimento a , sobre os pontos q_1 , q_2 , q_3 e q_4 , (SILVA; CRUZ, 2012).

A profundidade de penetração da corrente elétrica no solo homogêneo depende do espaço entre os eletrodos de corrente. Para o arranjo de Wenner, na profundidade $\frac{3a}{2}$, geralmente, utilizam-se correntes alternadas de baixas frequências para evitar a formação de potenciais elétricos indesejados e também devido ao fato de correntes em altas frequências não apresentarem condutividade elétrica constante. Entre kilohertz e megahertz, a condutividade aumenta com o aumento da frequência (FRIEDMAN, 2005).

No método proposto por Wenner, a corrente elétrica I é injetada no terminal T_1 e coletada no terminal T_4 . Esta corrente, passando pelo solo entre os pontos q_1 e q_4 , produz potencial nos pontos q_2 e q_3 . Pode-se calcular os potenciais nos pontos q_2 e q_3 , através de (1) e (2) e respectivamente:

$$V_{q_2} = \frac{\rho I}{4\pi} \left[\frac{1}{a} + \frac{2}{\sqrt{a^2 + (2P)^2}} - \frac{1}{2a} - \frac{2}{\sqrt{(2a)^2 + (2P)^2}} \right] \quad (1)$$

$$V_{q_3} = \frac{\rho I}{4\pi} \left[\frac{1}{2a} + \frac{2}{\sqrt{(2a)^2 + (2P)^2}} - \frac{1}{a} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + (2P)^2}} \right] \quad (2)$$

A diferença de potencial entre os pontos q_2 e q_3 é obtido através de (3):

$$V_{23} = \frac{\rho I}{4\pi} \left[\frac{1}{a} + \frac{2}{\sqrt{a^2 + (2P)^2}} - \frac{2}{\sqrt{(2a)^2 + (2P)^2}} \right] \quad (3)$$

O valor da resistência R_m é encontrado dividindo-se V_{23} pela corrente I , através de (4).

$$R_m = \frac{V_{23}}{I} = \frac{\rho}{4\pi} \left[\frac{1}{a} + \frac{2}{\sqrt{a^2 + (2P)^2}} - \frac{2}{\sqrt{(2a)^2 + (2P)^2}} \right] \quad (4)$$

A resistividade elétrica do solo $\rho_a(a)$ [$\Omega \cdot m$](Ohms.metro) é dada por (5).

$$\rho_a(a) = \left[\frac{4\pi a R_m}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + (2P)^2}} - \frac{2a}{\sqrt{(2a)^2 + (2P)^2}}} \right] \quad (5)$$

A condutividade elétrica aparente do solo, $\sigma_a(a)$ [S.m⁻¹] (siemens/metro) é obtida a partir da expressão (CALIXTO W.P.; COIMBRA, 2012), em (6).

$$\sigma_a(a) = \frac{1}{\rho_a(a)} \quad (6)$$

É importante ressaltar que no arranjo de Wenner o ponto de medição da corrente é diferente do ponto de medição da tensão. O valor de R_m medido no equipamento de teste de aterramento é dimensionalmente igual a resistência elétrica, mas não é a resistência elétrica fornecida pela lei de Ohm (CALIXTO, 2012).

No arranjo de Wenner os quatro eletrodos apresentam uma separação a crescente e constante durante todo o desenvolvimento do ensaio, sendo deslocados simultaneamente.

2.5.1 Método do Caminhamento Elétrico

O método do Caminhamento Elétrico, também conhecido como Prospecção Lateral (do inglês Lateral Profiling), é uma técnica de investigação geoeletrica utilizada no mapeamento horizontal de σ_a , que consiste na recolocação dos eletrodos em pontos seguintes a cada medição mantendo fixa a distância entre as hastes. Pode ser utilizado tanto o arranjo de Wenner como o de Schlumberger para aplicação desta técnica. Em ambas as situações, a condutividade elétrica aparente do solo σ_a é determinada no ponto central do arranjo, entre os eletrodos de potencial. Dessa forma, pode-se mapear toda área, identificando estes pontos e, conseqüentemente, delimitando regiões de condutividade distintas (TELFORD; GELDART, 1990). A técnica do caminhamento elétrico tem se mostrado eficaz no auxílio aos estudos arqueológicos (CAMARÃO; MOURA, 2010) e (FURLAN, 2008).

A técnica do Caminhamento Elétrico se baseia na análise e interpretação de um parâmetro físico, obtido a partir de medidas efetuadas na superfície do terreno, investigando, ao longo de uma seção, sua variação na horizontal a uma ou mais

profundidades determinadas. Os resultados obtidos se relacionam entre si através de mapas (a uma ou mais profundidades determinadas), ou de seções (com várias profundidades de investigação).

A Figura 2 ilustra a técnica do Caminhamento Elétrico de investigação do solo, na qual os pontos A, B, C e D representam os pontos de medição da condutividade elétrica aparente sobre a linha 1. Neste exemplo utiliza-se o método de Wenner para aplicação do Caminhamento Elétrico, onde os eletrodos de corrente são os dois eletrodos externos e os eletrodos de tensão os eletrodos internos. Com a aplicação deste método, mede-se um valor de resistência elétrica R_m , para cada posição dos quatros eletrodos, que se desloca linearmente, com uma distância constante “ a ” entre eles. A partir desse valor obtido, através das equações (4), (5) e (6), calcula-se os valores de resistividade e da condutividade aparente do solo nos pontos médios das distâncias entre os eletrodos de tensão, pontos: A, B, C e D, a uma profundidade $\frac{3a}{2}$, para a coluna 1. Repete-se os procedimentos para as colunas 2, 3 4 e com isso tem-se uma matriz (4x4) de valores de ρ_a [$\Omega \cdot m$] e $\sigma_a(a)$ [$S \cdot m^{-1}$] mapeando-se horizontalmente toda a área da Figura 2.

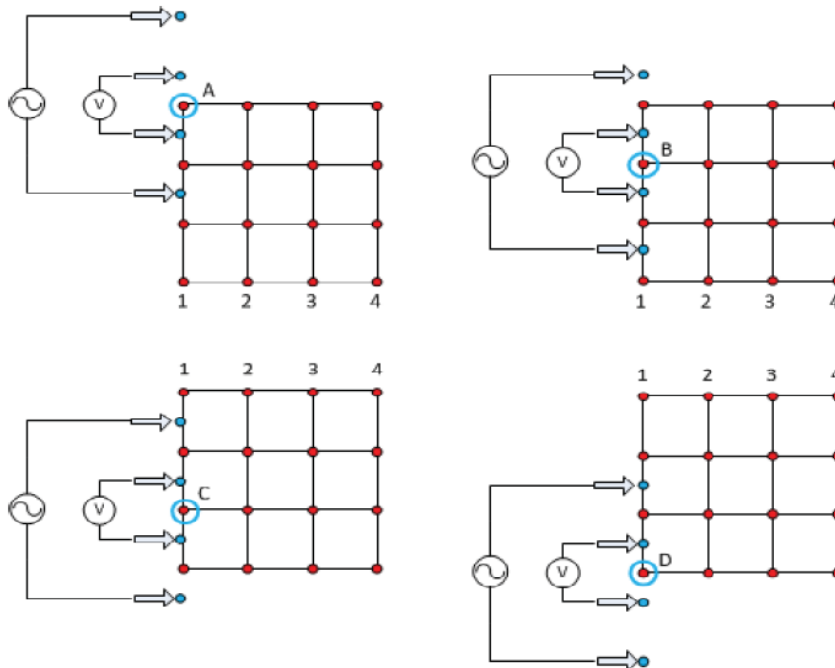


Figura 2 – Ilustração do Método do Caminhamento Elétrico.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Tendo em vista que este trabalho propõe observar, através de medições, o comportamento dinâmico dos elementos químicos presentes no solo, que em geral, vão influenciar os parâmetros das grandezas elétricas: resistência elétrica, resistividade e condutividade elétrica, na interação eletroquímica entre fertilizante, água e solo, é proposto uma metodologia que é desenvolvida em duas partes:

1. Desenvolvimento experimental em bancada, utilizando o método de prospecção geolétrico com arranjo de Wenner para os eletrodos;
2. Desenvolvimento experimental diretamente no solo, em área agrícola, utilizando arranjo de Wenner para os eletrodos, através dos métodos:
 - Caminhamento Elétrico;
 - Estratificação em Camada Horizontais.

Para medir a resistência elétrica aparente do solo R_m , em todos os arranjos, é utilizado o terrômetro digital microcontrolado modelo EM-4055 da Megabras. O aparelho opera na frequência de 270Hz, apresenta capacidade de medição de resistividades entre 0 e 50 k Ω .m e de 0 a 20 k Ω para medição da resistência. A precisão do aparelho é de $\pm 2\%$ do valor medido tanto para a resistência como para medições de resistividade. Para as medições de umidade utilizou-se o TDR, modelo Field Scout TDR-300 com precisão de $\pm 3\%$ e resolução 0,1%.

3.1 Desenvolvimento Experimental em Bancada

Nesta parte, o experimento foi montado em uma bancada laboratorial nas dependências do IFG – Campus Goiânia com a seguinte estrutura: 9 vasos de plástico de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), com superfície interna de 0,26m de diâmetro e 0,27m de altura, cada um com aproximadamente 0,009m³ de solo, dispostos sobre uma bancada de madeira, em local coberto, de modo que se tornasse possível controlar a quantidade de água aplicada, porém sem prejuízo da incidência de luz natural.

Os vasos foram identificados como F₁, F₂, F₃, F₄, F₅, F₆, F₇, F₈ e F₉. No solo dos vasos F₂ e F₆ foram feitas aplicações de fertilizante do tipo (N: P: K - 05:30:15). No solo dos vasos F₃ e F₉ foram feitas aplicações com fertilizante a base de sulfato de amônia.

Já no solo dos vasos F₄ e F₇ foram aplicados fertilizante do tipo (N: P: K-20:00:20) e no solo dos vasos F₅ e F₈, aplicação de corretivo a base de calcário. O solo do vaso F₁ não recebeu aplicação de fertilizante e corretivo, apenas serviu como referência. Cada tipo de fertilizante e calcário foram aplicados em dois vasos, porém um recebia o dobro da aplicação de insumo do outro, ou seja, um recebia a quantidade de 35ml de fertilizante enquanto outro 70ml do mesmo. Isso foi realizado para verificar a influência de cada fertilizante em proporção no solo.

O solo utilizado nos vasos foi coletado na região sul do município de Goiânia-GO a um metro de profundidade da superfície. Devido ao solo utilizado ter um teor significativo de argila, este foi peneirado em peneira de malha de 2,80mm e em seguida misturado com 10% de areia fina, também peneirada na mesma peneira. Esse procedimento foi realizado para evitar a formação de torrões e selagem do solo, pois nessas condições poderia haver a má distribuição dos fertilizantes no perfil do solo, dos vasos, durante a lixiviação dos mesmos pela aplicação de água. Durante o experimento os vasos recebiam o mesmo volume de água, aproximadamente 180ml a cada dois dias.

A Figura 3 ilustra, mostra o tipo de vaso utilizado e a metodologia para a colocação dos fertilizantes, do calcário e dos instrumentos de medição.

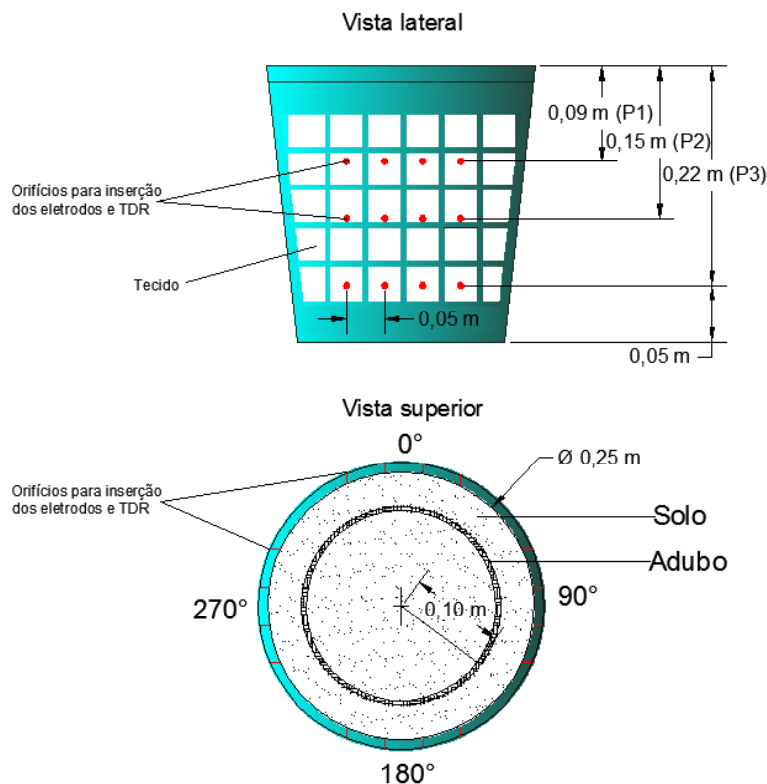


Figura 3 - Dimensões dos vasos e esquema de aplicação de fertilizantes e calcário.

Em cada vaso foram feitos orifícios ao longo dos quatro quadrantes do perímetro 0° , 90° , 180° e 270° , em três diferentes profundidades, $P_1= 0,09\text{m}$; $P_2= 0,15\text{m}$ e $P_3= 0,22\text{m}$.

3.1.1 Coleta de Dados

A Figura 4 ilustra os procedimentos adotados para a colocação das hastes do terrômetro e para as conexões elétricas do aparelho, para aplicação do método de Wenner, que utiliza quatro hastes. As hastes foram confeccionadas em cobre, na forma circular, com área da secção circular de 10mm^2 , inseridas no solo com espaçamento entre elas de $0,05\text{m}$, e a uma profundidade de $0,07\text{m}$. O TDR utiliza-se de duas hastes de liga metálica circular com comprimento de $0,12\text{m}$, em posições próximas aquelas em que foram inseridas as hastes do terrômetro. Os fertilizantes e o corretivo foram aplicados no solo na profundidade de $0,025\text{m}$ em círculo a uma distância de $0,03\text{m}$ da borda dos vasos, para melhor distribuição desses insumos.

Os dados de resistência elétrica e umidade foram coletados em cada quadrante dos vasos em três profundidades (P_1 , P_2 e P_3). Esse procedimento foi realizado para prevenir possíveis erros na coleta de dados. Dos quatro valores coletados de umidade volumétrica e resistência elétrica em cada altura, a cada dia de coleta de dados, calculava-se a média dos quatro valores, desprezando as medidas em condições de acentuado desvio padrão

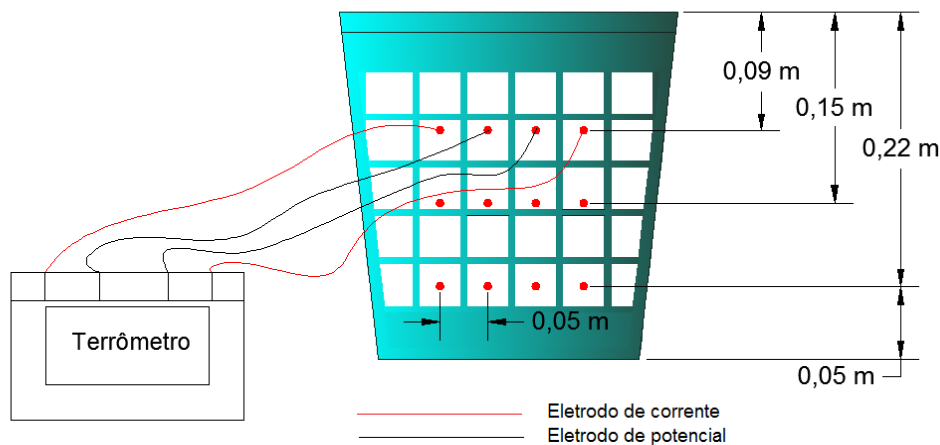


Figura 4 - Aplicação do arranjo de Wenner para coleta de dados de resistência elétrica e umidade do solo nos vasos.

3.1.2 Procedimentos Para Isolar o Efeito da Umidade nas Medições dos Parâmetros Elétricos do Solo

Para verificar somente o efeito dos fertilizantes e do calcário no solo, foi necessário verificar o efeito da umidade, pois esta também afeta as medidas dos parâmetros elétricos do solo. Conhecendo-se como a umidade afeta as medidas dos parâmetros elétricos do solo, pode-se isolar o efeito da umidade, nas medidas realizadas, para se obter somente a dinâmica do efeito geoeletrico resultante da aplicação dos fertilizantes, no tempo considerado para os estudos.

A cada dois ou três dias, no período compreendido entre 11/03/2015 a 16/04/2015, de acordo com seção 3.1.1, os procedimentos para isolar os efeitos da umidade, nas medidas dos parâmetros elétricos do solo com os fertilizantes, seguem a seguinte ordem:

- Mediu-se a resistência elétrica no vaso do solo padrão, vaso F_1 , isto é, o vaso contendo o solo sem a adição de fertilizantes, para variadas condições de umidade, registrando os valores da resistência elétrica e da umidade, de acordo com os procedimentos da seção 3.1.1;
- Mediu-se os valores das resistências elétrica e da umidade, para cada um dos vasos contendo fertilizantes, F_2 , F_3 , F_4 , F_5 , F_6 , F_7 , F_8 e F_9 ;
- Desenvolveu-se uma função matemática que expresse, aproximadamente, o efeito que a variação da umidade exerce na resistência elétrica do solo padrão. Fez-se uma correlação entre as variações de umidade e as variações nas leituras de resistência elétrica no solo padrão;
- Escolheu-se um valor de umidade, dentro dos limites observados, de umidade para as avaliações da dinâmica do fertilizante no solo, para os vasos, F_2 , F_3 , F_4 , F_5 , F_6 , F_7 , F_8 e F_9 ;
- A partir da correlação obtida, entre resistência elétrica e umidade, no vaso padrão, corrigiu-se os valores medidos da resistência elétrica nos vasos com fertilizante para o valor da umidade de referência, U_{Ix} , escolhida, para as avaliações da dinâmica do fertilizante no solo. Obteve-se, a partir deste procedimento, os parâmetros elétricos do solo com fertilizante isolando-se os efeitos da umidade.

A Figura 5, ilustra a metodologia para se obter uma função, que correlaciona umidade e resistência elétrica no solo padrão do vaso F_1 . No eixo das abscissas são

registrados os valores médios das umidades medidas com o TDR e no eixo das ordenadas os valores médios das resistências elétricas, para as profundidades P_1 , P_2 e P_3 .

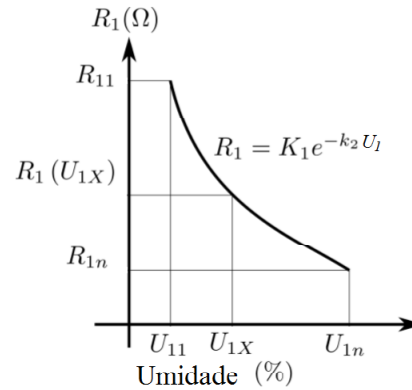


Figura 5 - Aproximação exponencial para o solo padrão (sem adubo) com umidade variável no período de amostragem.

Uma vez registrados os valores das medições de resistências em correlação com a umidade, no vaso F_1 , para uma faixa de umidade, percentual, observada entre 1 e 11%, testa-se, utilizando-se dos recursos do Software *EXCEL*, uma função que melhor faz a aproximação dos pontos obtidos. Desses testes pôde-se concluir que, a função exponencial representa de forma satisfatória a correlação dos pontos.

Pode-se conhecer a influência da umidade na resistência elétrica do solo padrão através das relações (7), (8) e (9).

$$R_1(U_{1X}) = K_1 e^{-k_2 U_{1X}} \quad (7)$$

$$R_1(U_{1i}) = K_1 e^{-k_2 U_{1i}} \quad (8)$$

$$\Delta R_1 = R_1(U_{1X}) - R_1(U_{1i}) \quad (9)$$

Onde:

$R_1(U_{1X})$, é o valor da resistência elétrica do solo para o valor de umidade de referência, U_{1X} , e $R_1(U_{1i})$, é o valor da resistência elétrica do solo para um valor de umidade qualquer, U_{1i} , dentro do intervalo $(U_{11} - U_{1n})$, que são as umidades medidas através do *TDR* para cada amostra em correlação com os valores das resistências elétricas do solo $(R_{11} - R_{1n})$.

Tem-se que ΔR_1 , é quanto se varia na resistência elétrica do solo, quando a umidade varia de U_{1i} para U_{1X} , estando $(1 < i < n)$.

Pode-se, desta forma conhecer os efeitos das variações da umidade na resistência elétrica do solo, dentro dos limites $(U_{11} - U_{1n})$. Com isso é possível isolar esse

efeito, na avaliação do mesmo solo, para um outro fator de interesse, por exemplo, o efeito da dinâmica da resistência elétrica no tempo, sob o efeito da adição de um fertilizante qualquer.

Considere a seguir um vaso contendo solo, com a adição de um fertilizante, no qual são realizadas medições de resistência elétrica, R_{2i} , e umidade, U_{2i} , nas datas de amostragem, d_1, d_2, \dots, d_n .

Para se obter os valores de resistência elétrica do solo adubado, de tal forma que o único parâmetro variável seja apenas as resistências elétricas solo, em cada instante de avaliação, para o valor de umidade de referência (U_{1X}), levando-se em conta os efeitos que as variações de umidade provocam na resistência do solo R_{2i} , deve-se calcular $R_3 = f(U_{1X})$.

A Figura 6 apresenta $R_3 = f(U_{1X})$ para a umidade de referência considerada. Onde R_{3i} são as resistências elétricas do solo adubado, obtidas para cada parâmetro lido (R_{2i}, U_{2i}), isolando-se o efeito da umidade. No eixo das abscissas (d_1, d_2, \dots, d_n) são os dias nos quais foram realizadas as medições.

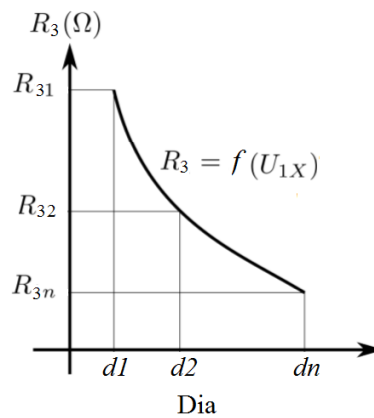


Figura 6 - Resistência do solo, com fertilizante, para a umidade de referência U_{1X} no período de amostragem.

Calcula-se $R_3 = f(U_{1X})$ de acordo com (10).

$$R_{3i} = R_{2i} \pm \Delta R_i \quad (10)$$

Para $i=1, d=d_1$, obtém-se R_{31} , através de (7), (11), (12) e (13).

$$R_{31} = R_{21} \pm \Delta R_1 \quad (11)$$

$$\Delta R_1 = R_1(U_{1X}) - R_1(U_{21}) \quad (12)$$

$$R_1(U_{21}) = K_1 e^{-k_2 U_{21}} \quad (13)$$

Para $i=2, d=d_2$, obtém-se R_{32} , através de (7), (14), (15) e (16).

$$R_{32} = R_{22} \pm \Delta R_2 \quad (14)$$

$$\Delta R_2 = R_1(U_{1X}) - R_1(U_{22}) \quad (15)$$

$$R_1(U_{22}) = K_1 e^{-k_2 U_{22}} \quad (16)$$

Para $i=n$, $d=d_n$, obtém-se R_{3n} , através de (7), (16), (18) e (19).

$$R_{3n} = R_{2n} \pm \Delta R_2 \quad (17)$$

$$\Delta R_n = R_1(U_{1X}) - R_2(U_{2n}) \quad (18)$$

$$R_1(U_{2n}) = K_1 e^{-k_2 U_{2n}} \quad (19)$$

Se a umidade U_{1X} for maior que U_{2i} , então a resistência elétrica para U_{1X} será menor que a resistência para U_{2i} , então para “levar” a resistência elétrica do solo de R_{2i} para R_{3i} o sinal de ΔR_i deverá ser negativo, caso contrário o sinal de ΔR_i deverá ser positivo em (10), (11), (14) e (17).

3.2 Desenvolvimento Experimental em Campo, Diretamente em Área Agrícola

O experimento de campo deste trabalho foi realizado nas dependências da Universidade Federal de Goiás – Campus Samambaia/Faculdade de Agronomia. Para a realização dos experimentos, uma área de $9m^2$ foi delimitada. Dentro dessa área foram delimitados 9 quadrados de $(0,80 \times 0,80)m$, isto é, $(0,64m^2)$, espaçados entre si em todos os lados por $0,40m$. Em cada quadrado delimitado foi aplicado uma quantidade de determinado insumo agrícola e em três quadrados foi adicionado calcário. Os testes, em campo, foram desenvolvidos no período compreendido entre os dias 04/07/2015 a 01/08/2015. Primeiramente uma área foi escolhida em local plano e aparentemente de solo homogêneo, com boa insolação e recentemente gradeado, a uma profundidade de aproximadamente $0,20m$, em período totalmente seco, isto é, não se observou nenhuma chuva durante o período considerado. A primeira medição foi realizada no dia 04/07/2015, antes da colocação dos fertilizantes. Logo após a primeira medição, os fertilizantes foram adicionados ao solo, sendo espalhados nos quadros de forma aproximadamente homogênea, em toda a sua extensão, a seguir, com a utilização de um regador manual, foi aplicada água sob a área adubada. Estes procedimentos foram repetidos a cada série de medições, que se realizava a aproximadamente a cada 7 dias, isto é: (i) realizava-se as medições; (ii) aplicava água com um regador manual.

Para estes estudos foram utilizadas duas sequências de medições associadas ao método de Wenner:

- Medições com a utilização do método do caminhamento elétrico;
- Medições para estratificação tridimensional (3D) em camadas horizontais.

A Figura 7 mostra a área escolhida, já com os quadros delimitados, contendo os fertilizantes.



Figura 7 - Área de estudo delimitada para o experimento de campo.

3.2.1 Medições com a Utilização do Método do Caminhamento Elétrico

A Figura 8 apresenta detalhes de como área agrícola, sob teste, foi subdividida e de que forma os fertilizantes foram colocados em cada parte desta área, para a aplicação do método do caminhamento elétrico.

Conforme pode ser observado, através da Figura 8, o arranjo, para a aplicação dos fertilizantes, utilizou-se como critério separar porções do mesmo tipo, porém em quantidades diferentes, por um quadro contendo calcário, isto é, o quadro 1, N: P:K-05:30:15, no quadro 2 calcários e no quadro 3 o mesmo fertilizante do quadro 1, porém em quantidade dobrada. O mesmo critério foi adotado para os quadros 4, 5 e 6 contendo Amônia, e para os quadros 7, 8 e 9, contendo o fertilizante N: P:K - 20:00:20.

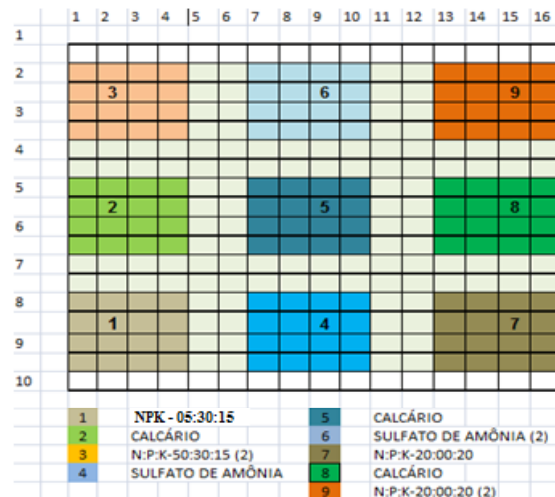


Figura 8 - Metodologia para o do Caminhamento Elétrico.

Para a utilização do arranjo de Wenner, na aplicação do método do Caminhamento Elétrico, a área delimitada foi dividida em quadrículas de 0,20mx 0,20m. O espaçamento, para a inserção dos eletrodos, no sentido vertical, foi de 0,20m e o sentido horizontal, foi de 0,40m, ao longo de toda área delimitada, constituindo-se em um arranjo matricial (16x10). Para as medições os eletrodos foram realocados ao longo das linhas, como ilustra a Figura 2, porém o deslocamento foi realizado no sentido horizontal. A profundidade dos eletrodos cravados no solo foi de 0,20m.

Após a coleta de dados foi calculada a condutividade elétrica aparente do solo σ_a utilizando os dados de resistência elétrica. Em seguida foi verificada a variação temporal da condutividade elétrica ao longo do período do experimento.

Para os cálculos dos valores de resistividade e condutividade elétrica aparente (ρ_a , σ_a), para cada ponto medido, foram utilizadas as equações da Seção (2.2.1).

3.2.2 Método 3D para Análise do Solo

A Figura 9 ilustra a aplicação do método de Wenner, para a estratificação em camadas horizontais.

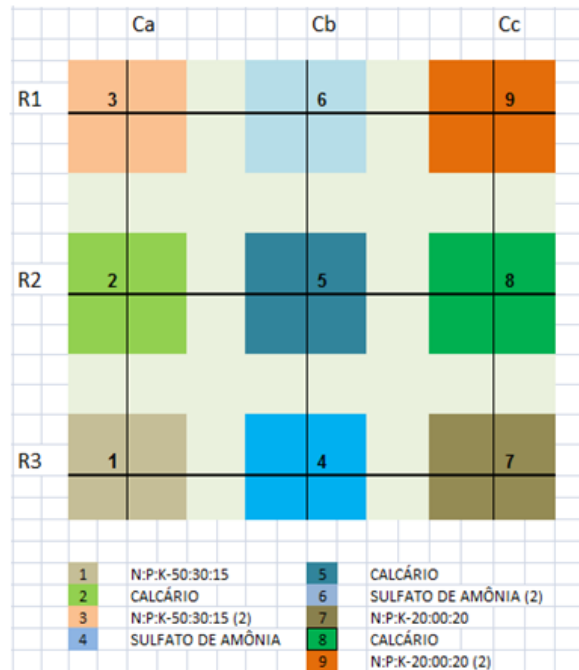


Figura 9 - Metodologia para o método de estratificação em camadas horizontais do solo.

Para a utilização do arranjo de *Wenner*, foram delimitados nove pontos nos centros das nove áreas. O arranjo de *Wenner* foi aplicado, a partir de cada um dos nove pontos centrais, seguindo as direções das linhas, R₁, R₂ e R₃ e das colunas Ca, Cb e Cc, com as distâncias entre as hastes variável: $a_1=0,30\text{m}$, $a_2=0,50\text{m}$, $a_3=0,70\text{m}$ e $a_4=1,00\text{m}$. A profundidade dos eletrodos cravados no solo foi de 0,20m. Considerando-se que foram realizadas 8 medições de resistência elétrica, a partir de cada um dos pontos centrais, em duas direções ortogonais, foram ao todo coletado o resultado de 72 medições de resistência elétrica. Para os estudos realizados neste trabalho, foi determinado uma avaliação para três camadas horizontais.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos pela aplicação da metodologia apresentada no Capítulo 3.

4.1 Desenvolvimento Experimental em Bancada

A Tabela 1 e Tabela 2 apresentam os resultados das medições dos parâmetros medidos para o vaso Padrão F₁. Na tabela, R_I , são os valores medidos para as resistências elétricas do solo, em K Ω . U_I são os valores das umidades percentuais, nas posições POS (0°, 90°, 180° e 270°). R_{Im} e U_{Im} , são os valores médios das resistências e umidades, respectivamente, para as quatro posições indicadas. P₁, P₂ e P₃, são as profundidades em que as medições foram realizadas nos vasos.

Tabela 1 - Resultados das medições no vaso - Padrão F₁.

		P1 - 9 cm				P2 - 15 cm				P3 - 22 cm			
DIA	POS	R_I K Ω	U_I %	R_{Im}	U_{Im}	R_I	U_I	R_{Im}	U_{Im}	R_I	U_I	R_{Im}	U_{Im}
11/mar	0	2,26	3,3	3,36	4,2	1,23	9,1	1,05	8,82	1,19	10,5	1,11	10,6
	90	2,79	4,0			1,26	8,4			1,78	11,3		
	180	3,87	5,1			0,60	9,1			0,92	10,5		
	270	4,52	4,4			1,1	8,7			1,23	10,9		
16/mar	0	5,24	2,6	7,08	2,5	1,17	7,3	1,74	7,1	2,05	9,1	2,06	8,7
	90	7,22	2,6			2,5	6,9			2,51	8,4		
	180	5,93	2,9			1,73	6,9			1,62	8,7		
	270	9,92	1,9			1,55	7,3			3,94	9,5		
19/mar	0	2,99	5,0	2,99	5,3	4,83	6,0	2,02	6,1	2,14	6,2	1,72	6,3
	90	2,12	6,2			1,25	6,0			1,92	5,8		
	180	2,54	5,2			0,67	6,4			0,30	5,8		
	270	4,32	4,8			1,34	6,0			1,12	7,0		
23/mar	0	14,15	1,1	14,8	1,1	3,98	3,7	5,57	3,0	6,36	3,7	5,35	4,1
	90	9,75	1,1			6,45	3,3			4,98	4,4		
	180	15,32	1,1			7,02	2,9			5,17	3,7		
	270	15,10	1,1			4,85	2,3			4,89	4,4		

26/mar	<i>0</i>	14,19	1,1	13,9	1,1	1,08	1,9	8,81	1,95	14,56	2,6	17,04	3,1
	90	17,42	1,1	13,5	1,3	7,93	2,2			18,45	2,9		
	180	12,26	1,9			9,01	1,5			18,11	1,9		
	270	10,27	1,1			7,46	2,2			11,44	1,9		

Tabela 2 - Resultados das medições no vaso - Padrão F₁.

DIA	POS	P₁ - 9 cm				P₂ - 15 cm				P₃ - 22 cm			
		R_l KΩ	U_l%	R_{lm}	U_{lm}	R_l	U_l	R_{lm}	U_{lm}	R_l	U_l	R_{lm}	U_{lm}
30/mar	0	4,20	2,2	4,11	2,1	2,80	1,9	5,02	2,4	13,17	2,9	13,63	2,9
	90	3,74	1,9			6,72	2,9			14,09	2,9		
	180	4,40	2,2			4,48	2,2			17,24	2,2	16,28	2,4
	270	6,00	1,9			6,09	2,6			15,33	2,6		
01/abr	0	5,00	3,3	6,04	3,6	6,22	2,2	8,81	2,4	11,88	2,6	14,64	2,6
	90	6,32	2,2			10,5	2,6	6,92	2,4	16,72	2,6		
	180	7,38	3,7			10,2	2,2			15,69	2,2		
	270	5,74	3,7			8,30	2,6			14,28	2,9		
06/abr	0	4,74	3,3	4,98	3,1	3,09	4,8	3,32	4,5	4,85	3,7	5,95	3,6
	90	2,98	1,9			3,52	4,4			6,10	2,6		
	180	6,34	1,9			3,91	4,0			8,06	2,9		
	270	5,22	2,9			2,77	4,8			4,79	5,3		
13/abr	0	5,84	3,3			2,17	4,4			8,22	3,7		
	90	3,92	2,2			1,68	5,1			12,35	3,3		
	180	7,93	1,5	6,33	1,9	3,63	4,4	2,79	4,48	7,54	2,9	10,65	3,20
	270	5,21	1,1			3,67	4,4			14,51	2,9		
16/abr	0	1,16	3,7			3,46	3,7			8,03	2,9		
	90	6,04	2,9			2,31	3,7			8,83	3,3		
	180	9,82	2,2	7,93	2,5	5,26	3,7	3,85	3,88	11,58	1,9	9,13	2,85
	270	4,18	2,6			4,39	4,4			8,10	3,3		

A Figura 10 mostra a representação, através de uma função exponencial, que correlaciona, resistência elétrica do solo padrão, R_{lm} , em relação a umidade, U_{lm} , na profundidade $P_1=9\text{cm}$. Foi observado que a exponencial representa satisfatoriamente o comportamento dinâmico da resistência elétrica aparente do solo, para variados valores de umidade, a aproximação foi de 0,9188.

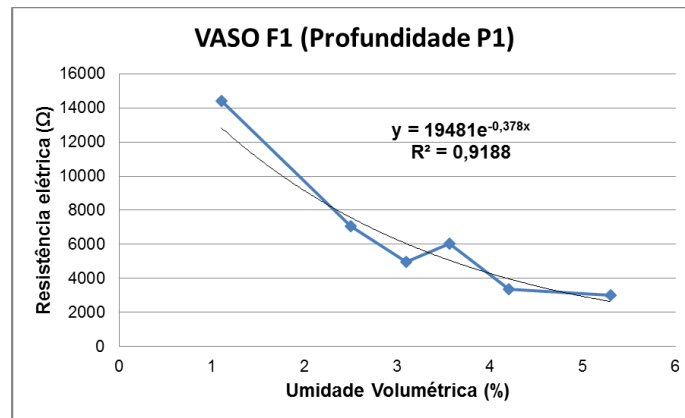


Figura 10 - Correlação entre a umidade e resistência elétrica do solo na profundidade P₁ do vaso F₁.

A Figura 11 mostra a representação, através de uma função exponencial, que correlaciona, resistência elétrica do solo padrão, R_{1m} , em relação a umidade, U_{1m} , na profundidade P₂= 15cm, a aproximação foi de 0,9331.

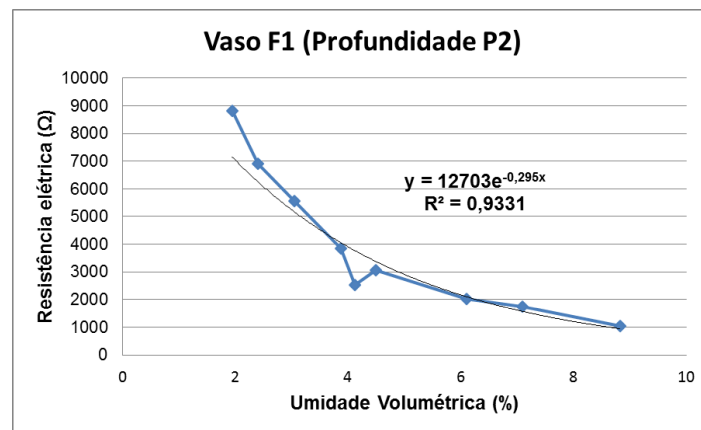


Figura 11 - Correlação entre a umidade e resistência elétrica do solo na profundidade P₂ do vaso F₁.

A Figura 12 mostra a representação, através de uma função exponencial, que correlaciona, resistência elétrica do solo padrão, R_{1m} , em relação a umidade, U_{1m} , na profundidade P₂= 15cm, a aproximação foi de 0,8727.

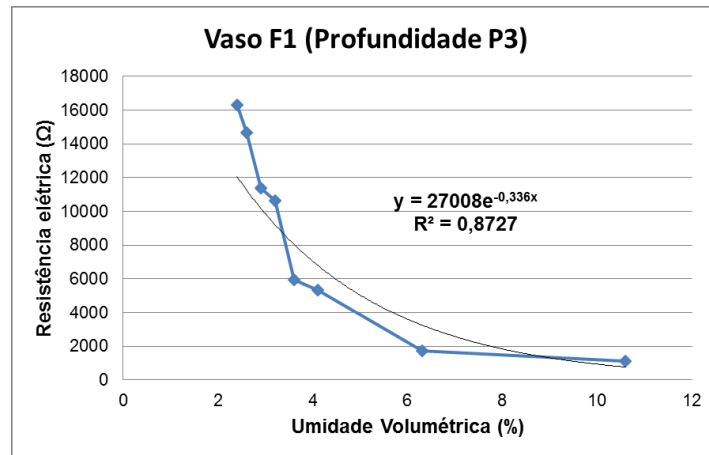


Figura 12 - Correlação entre a umidade e resistência elétrica do solo na profundidade P_3 do vaso F_1 .

As três figuras demonstraram que a função exponencial é adequada para expressar, através de uma função, os parâmetros discretos de resistências elétricas em relação os valores das umidades. Os índices de aproximação foram melhores para as menores profundidades, ultrapassando a 90%.

Observa-se nas Figuras 10, 11 e 12, que a resistência elétrica do solo diminui com o aumento da umidade volumétrica nas três profundidades. Os valores limites medidos de resistência elétrica do vaso F_1 variaram de 1051Ω a 16285Ω , e a umidade de 1 a 11%.

Através das Equações (7) a (19), resultantes da aplicação da metodologia indicadas nas Figuras 5 e 6, foram calculados novos valores de resistência elétrica para cada profundidade dos vasos com fertilizantes e corretivo, em função da umidade padrão escolhida para avaliar o efeito dos fertilizantes.

As Tabela 3, 4 e 5, apresentam os resultados da aplicação da metodologia, que isola o efeito da umidade, para encontrar o valor das resistências do solo, no vaso F_2 , com a aplicação do fertilizante (N: P: K- 05:30:15), para as profundidades: 9cm, 15cm e 22cm, respectivamente.

A umidade base escolhida, para os resultados das análises apresentadas a nesta seção, $R_1(U_{1x})$, foi de 2,0 %. Dia são os dias em que as medições foram realizadas no ano de 2015, U_{2i} são os valores percentuais das umidades registradas no momento das medições, $R_1(U_{1i})$, são os respectivos valores de resistências para as umidades medidas, AR_1 , são os parâmetros que indicam a influência das umidades na resistência elétrica do solo em relação a umidade base. R_{2i} , são os valores das resistências elétrica do solo para

as umidades U_{2i} . R_{3i} , são os valores corrigidos das resistências R_{2i} , para a umidade base ($U_{1x} = 2,0\%$).

Tabela 3 - Correlação entre a umidade e resistência elétrica do solo na profundidade P_3 do vaso F_1 .

P1 =9cm						
DIA	U_{2i} %	$R_1(U_{1i})$ $K\Omega$	$R_1(U_{1x})$ $K\Omega$	ΔR_1 $K\Omega$	R_{2i} $K\Omega$	R_{3i} $K\Omega$
11/mar	2,1	8,909	9,261	0,352	5,990	6,342
16/mar	1,6	10,811	9,261	1,550	3,803	2,253
19/mar	6	1,970	9,261	7,291	0,148	7,439
23/mar	2,7	7,063	9,261	2,197	5,163	7,360
26/mar	5,7	2,212	9,261	7,049	0,921	7,970
30/mar	2,1	8,909	9,261	0,352	4,880	5,232
01/abr	3,1	6,051	9,261	3,210	5,687	8,897
06/abr	2,7	7,063	9,261	2,197	5,433	7,630
09/abr	8,1	0,874	9,261	8,387	0,149	8,536
13/abr	5,8	2,170	9,261	7,091	0,761	7,852
16/abr	8,7	0,684	9,261	8,577	0,358	8,935

Tabela 4 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F_2 - (N: P: K - 05:30:15).

P2= 15 cm						
DIA	U_{2i} %	$R_1(U_{1i})$ $K\Omega$	$R_1(U_{1x})$ $K\Omega$	ΔR_1 $K\Omega$	R_{2i} $K\Omega$	R_{3i} $K\Omega$
11/mar	2,6	5,835	6,960	1,125	5,250	6,375
16/mar	2,1	6,758	6,960	0,202	4,935	5,137
19/mar	4,0	3,866	6,960	3,094	3,485	6,579
23/mar	1,9	7,168	6,960	0,208	15,223	15,015
26/mar	2,0	6,960	6,960	0,000	18,098	18,098
30/mar	2,8	5,501	6,960	1,459	6,645	8,104
01/abr	2,5	6,009	6,960	0,951	6,165	7,116
06/abr	9,5	0,768	6,960	6,193	0,274	6,467
09/abr	12,3	0,337	6,960	6,623	0,154	6,777
13/abr	13,8	0,217	6,960	6,743	0,126	6,869
16/abr	15,1	0,148	6,960	6,812	0,177	6,989

Tabela 5 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₂ - (N: P: K - 05:30:15).

P3 = 22 cm						
DIA	U_{2i}	$R_I(U_{1i})$	$R_I(U_{1x})$	ΔR_I	R_{2i}	R_{3i}
	%	K Ω	K Ω	K Ω	K Ω	K Ω
11/mar	6	3,713	14,581	10,868	2,027	12,895
16/mar	3,6	8,436	14,581	6,144	4,260	10,404
19/mar	3,7	8,153	14,581	6,428	5,578	12,006
23/mar	2,5	12,289	14,581	2,292	16,325	18,617
26/mar	2,7	11,477	14,581	3,104	20,240	23,344
30/mar	2,7	11,477	14,581	3,104	19,877	22,981
01/abr	2,1	14,091	14,581	0,490	17,298	17,788
06/abr	3,1	10,010	14,581	4,571	5,110	9,681
09/abr	2,6	11,876	14,581	2,705	3,943	6,648
13/abr	3,6	8,436	14,581	6,144	3,033	9,177
16/abr	3,5	8,730	14,581	5,851	3,433	9,284

As Tabela 6, 7 e 8, apresentam os resultados da aplicação da metodologia, que isola o efeito da umidade, para encontrar o valor das resistências do solo com a aplicação do fertilizante (N: P: K- 05:30:15), no vaso F₆, com a quantidade dobrada de fertilizante do vaso F₂, para as profundidades: 9cm, 15cm e 22cm, respectivamente. Pode-se observar, nestas tabelas, que os valores de resistência elétrica do solo, do vaso F₆, foram maiores que os valores do vaso F₂, portanto, a aplicação dobrada de N: P: K – 05:30:15, aumentou a resistividade elétrica do solo nas três profundidades do vaso F₆.

Tabela 6 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₆ - (N: P: K - 05:30:15 - dobrado).

P1 = 9cm						
DIA	U_{2i}	$R_I(U_{1i})$	$R_I(U_{1x})$	ΔR_I	R_{2i}	R_{3i}
	%	K Ω	K Ω	K Ω	K Ω	K Ω
11/mar	13,93	0,09157227	9,261	9,169	0,821	9,990
16/mar	20,65	0,00679888	9,261	9,254	0,077	9,331
19/mar	11,05	0,27910079	9,261	8,982	0,064	9,046
23/mar	13,15	0,12383589	9,261	9,137	0,08	9,217

26/mar	35,05	0,00002585	9,261	9,261	0,034	9,295
30/mar	30,43	0,00015448	9,261	9,261	0,053	9,314
01/abr	45,2	0,00000051	9,261	9,261	0,045	9,306
06/abr	51,58	0,00000004	9,261	9,261	0,033	9,294
09/abr	38,33	0,00000726	9,261	9,261	0,036	9,297
13/abr	39,45	0,00000471	9,261	9,261	0,058	9,319
16/abr	27,63	0,00045647	9,261	9,260	0,125	9,385

Tabela 7 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₆ - (N: P: K - 05:30:15 - dobrado).

P2 = 15cm						
DIA	U_{2i} %	$R_I(U_{Ii})$ K Ω	$R_I(U_{Ix})$ K Ω	ΔR_I K Ω	R_{2i} K Ω	R_{3i} K Ω
11/mar	23,55	0,01234065	6,960	6,948	0,475	7,423
16/mar	22,47	0,01695200	6,960	6,943	0,270	7,213
19/mar	14,1	0,19852417	6,960	6,762	0,273	7,035
23/mar	12,93	0,28001837	6,960	6,680	0,345	7,025
26/mar	19,25	0,04368339	6,960	6,916	0,247	7,163
30/mar	18,23	0,05895749	6,960	6,901	0,280	7,181
01/abr	18,33	0,05724955	6,960	6,903	0,129	7,032
06/abr	29,83	0,00194794	6,960	6,958	0,063	7,021
09/abr	41,87	0,00005655	6,960	6,960	0,034	6,994
13/abr	56,57	0,00000075	6,960	6,960	0,039	6,999
16/abr	48,25	0,00000867	6,960	6,960	0,080	7,040

Tabela 8 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₆ - (N:P:K - 05:30:15 - dobrado).

P3 = 22cm						
DIA	U_{2i} %	$R_I(U_{Ii})$ K Ω	$R_I(U_{Ix})$ K Ω	ΔR_I K Ω	R_{2i} K Ω	R_{3i} K Ω
11/mar	25	0,0056	14,581	14,575	0,481	15,056
16/mar	27	0,0028	14,581	14,578	0,539	15,117
19/mar	17	0,0863	14,581	14,494	0,519	15,013
23/mar	15	0,1710	14,581	14,410	0,402	14,812
26/mar	19	0,0436	14,581	14,537	0,668	15,205

30/mar	20	0,0309	14,581	14,550	0,762	15,312
01/abr	18	0,0613	14,581	14,519	0,696	15,215
06/abr	19	0,0436	14,581	14,537	0,461	14,998
09/abr	20	0,0309	14,581	14,550	0,499	15,049
13/abr	21	0,0220	14,581	14,559	0,496	15,055
16/abr	19	0,0436	14,581	14,537	0,434	14,971

As Tabela 9, 10 e 11 apresentam resultados da aplicação da metodologia, que isola o efeito da umidade, para encontrar o valor das resistências do solo com a aplicação fertilizante Sulfato de Amônia, no vaso F₃, para as profundidades: 9cm, 15cm e 22cm, respectivamente.

Tabela 9 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₃ - (Sulfato de Amônia).

P1 = 9cm						
DIA	U_{2i}	$R_l(U_{li})$	$R_l(U_{lx})$	ΔR_l	R_{2i}	R_{3i}
	%	KΩ	KΩ	KΩ	KΩ	KΩ
11/mar	8,3	0,809	9,261	8,452	1,279	9,731
16/mar	10,6	0,332	9,261	8,929	0,074	9,003
19/mar	18,4	0,016	9,261	9,245	0,039	9,284
23/mar	14,9	0,063	9,261	9,198	0,096	9,294
26/mar	13,9	0,093	9,261	9,168	0,055	9,223
30/mar	20,2	0,008	9,261	9,253	0,087	9,340
01/abr	26,9	0,001	9,261	9,260	0,055	9,315
06/abr	22	0,004	9,261	9,257	0,049	9,306
09/abr	21	0,006	9,261	9,255	0,049	9,304
13/abr	17	0,028	9,261	9,233	0,763	9,996
16/abr	19	0,013	9,261	9,248	0,218	9,466

Tabela 10 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₃ - (Sulfato de Amônia).

P2 = 15cm						
DIA	U_{2i}	$R_l(U_{li})$	$R_l(U_{lx})$	ΔR_l	R_{2i}	R_{3i}
	%	KΩ	KΩ	KΩ	KΩ	KΩ
11/mar	15,8	0,120	6,960	6,840	0,407	7,247

<i>16/mar</i>	13,8	0,217	6,960	6,743	0,482	7,225
<i>19/mar</i>	10	0,663	6,960	6,297	0,500	6,797
<i>23/mar</i>	10,2	0,625	6,960	6,335	0,737	7,072
<i>26/mar</i>	8	1,193	6,960	5,767	0,644	6,411
<i>30/mar</i>	7,3	1,465	6,960	5,495	1,215	6,710
<i>01/abr</i>	5,9	2,212	6,960	4,748	0,968	5,716
<i>06/abr</i>	9,8	0,703	6,960	6,257	0,267	6,524
<i>09/abr</i>	9,1	0,863	6,960	6,097	0,420	6,517
<i>13/abr</i>	10,4	0,589	6,960	6,371	0,389	6,760
<i>16/abr</i>	10,8	0,524	6,960	6,436	0,272	6,708

Tabela 11 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₃ - (Sulfato de Amônia).

P3= 22cm						
<i>DIA</i>	<i>U_{2i}</i>	<i>R₁(U_{1i})</i>	<i>R₁(U_{1x})</i>	<i>ΔR₁</i>	<i>R_{2i}</i>	<i>R_{3i}</i>
	%	KΩ	KΩ	KΩ	KΩ	KΩ
11/mar	16,9	0,089	14,581	14,491	0,581	15,072
16/mar	16,8	0,092	14,581	14,488	0,653	15,141
19/mar	10,6	0,770	14,581	13,811	0,799	14,610
23/mar	11,3	0,606	14,581	13,975	1,085	15,060
26/mar	9,9	0,978	14,581	13,602	1,386	14,988
30/mar	8,1	1,811	14,581	12,770	2,207	14,977
01/abr	6,2	3,468	14,581	11,113	2,510	13,623
06/abr	6	3,713	14,581	10,868	1,927	12,795
09/abr	5,7	4,114	14,581	10,467	3,385	13,852
13/abr	4,9	5,409	14,581	9,172	4,170	13,342
16/abr	3,5	8,730	14,581	5,851	3,635	9,486

A Tabela 12, 13 e 14 apresentam os resultados da aplicação da metodologia, que isola o efeito da umidade, para encontrar o valor das resistências do solo com a aplicação do fertilizante Sulfato de Amônia, no vaso F₉, com porção dobrada em relação ao vaso F₃, para as profundidades: 9cm, 15cm e 22cm, respectivamente.

Tabela 12 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₉ - (Sulfato de Amônia - dobrado).

P1= 9cm						
DIA	U_{2i} %	$R_I(U_{1i})$ KΩ	$R_I(U_{1x})$ KΩ	ΔR_I KΩ	R_{2i} KΩ	R_{3i} KΩ
11/mar	20,03	0,00864233925985	13,119	13,110	0,3890	13,499
16/mar	81,77	0,000000000000036	13,119	13,119	0,0077	13,127
19/mar	60,73	0,00000000124972	13,119	13,119	0,0146	13,134
23/mar	50,28	0,00000007128227	13,119	13,119	0,0116	13,131
26/mar	36,33	0,00001575224073	13,119	13,119	0,0252	13,144
30/mar	42	0,00000175579218	13,119	13,119	0,0368	13,156
01/abr	39,23	0,00000512842702	13,119	13,119	0,0300	13,149
06/abr	35,63	0,00002065287501	13,119	13,119	0,0333	13,152
09/abr	25,63	0,00098975088225	13,119	13,118	0,0393	13,157
13/abr	13,33	0,11550391793383	13,119	13,004	0,2063	13,210
16/abr	33,4	0,00004894880984	13,119	13,119	0,0610	13,180

Tabela 13 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₉ - (Sulfato de Amônia - dobrado).

P2 = 15cm						
DIA	U_{2i} %	$R_I(U_{1i})$ KΩ	$R_I(U_{1x})$ KΩ	ΔR_I KΩ	R_{2i} KΩ	R_{3i} KΩ
11/mar	30,43	0,00163295	9,068	9,066	0,280	9,346
16/mar	59,73	0,00000030	9,068	9,068	0,020	9,088
19/mar	58,4	0,00000044	9,068	9,068	0,023	9,091
23/mar	53,27	0,00000198	9,068	9,068	0,018	9,086
26/mar	41,87	0,00005655	9,068	9,068	0,056	9,124
30/mar	39,6	0,00011022	9,068	9,068	0,023	9,091
01/abr	40,33	0,00008893	9,068	9,068	0,038	9,106
06/abr	34,95	0,00043242	9,068	9,068	0,062	9,130
09/abr	22,04	0,01923618	9,068	9,049	0,073	9,122
13/abr	13,98	0,20565237	9,068	8,862	0,274	9,136
16/abr	11,15	0,47253931	9,068	8,596	0,286	8,882

Tabela 14 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₉ - (Sulfato de Amônia - dobrado).

P3= 22cm						
DIA	U_{2i} %	$R_I(U_{Ii})$ K Ω	$R_I(U_{Ix})$ K Ω	ΔR_I K Ω	R_{2i} K Ω	R_{3i} K Ω
11/mar	30,95	0,000732	19,835	19,835	0,480	20,315
16/mar	33,38	0,000319	19,835	19,835	0,216	20,051
19/mar	25,1	0,005409	19,835	19,830	0,146	19,976
23/mar	27,37	0,002489	19,835	19,833	0,031	19,864
26/mar	30,3	0,000914	19,835	19,835	0,131	19,966
30/mar	30,4	0,000883	19,835	19,835	0,133	19,968
01/abr	27,03	0,002796	19,835	19,833	0,118	19,951
06/abr	23,5	0,009349	19,835	19,826	0,166	19,992
09/abr	19,88	0,032238	19,835	19,803	0,217	20,020
13/abr	13,9	0,249157	19,835	19,586	0,546	20,132
16/abr	10,07	0,923163	19,835	18,912	0,842	19,754

A Tabela 15, 16 e 17 apresentam os resultados da aplicação da metodologia, que isola o efeito da umidade, para encontrar o valor das resistências do solo com a aplicação do fertilizante, N: P: K – 20:00:20, no vaso F₄, para as profundidades: 9cm, 15cm e 22cm, respectivamente.

Tabela 15 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₄ - (N: P: K – 20:00:20).

P1 = 9cm						
DIA	U_{2i} %	$R_I(U_{Ii})$ K Ω	$R_I(U_{Ix})$ K Ω	ΔR_I K Ω	R_{2i} K Ω	R_{3i} K Ω
11/mar	8,3	0,809	9,261	8,452	7,448	15,900
16/mar	2,9	6,537	9,261	2,724	7,007	9,731
19/mar	6,8	1,445	9,261	7,816	0,060	7,876
23/mar	4,9	3,015	9,261	6,246	5,217	11,463
26/mar	13,8	0,096	9,261	9,165	1,006	10,171
30/mar	17,6	0,022	9,261	9,239	0,091	9,330
01/abr	22,7	0,003	9,261	9,258	0,083	9,341

06/abr	17,6	0,022	9,261	9,239	0,088	9,327
09/abr	18,97	0,013	9,261	9,248	0,103	9,351
13/abr	15,37	0,052	9,261	9,208	0,236	9,445
16/abr	14,27	0,080	9,261	9,181	0,175	9,356

Tabela 16 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₄ - (N: P: K – 20:00:20).

P₂ = 15cm						
DIA	U_{2i} %	R_I(U_{2i}) KΩ	R_I(U_{1x}) KΩ	ΔR_I KΩ	R_{2i} KΩ	R_{3i} KΩ
11/mar	15,78	0,121	6,960	6,839	4,1570	10,996
16/mar	2,93	5,295	6,960	1,665	6,0500	7,715
19/mar	4,25	3,592	6,960	3,368	2,9450	6,313
23/mar	2,8	5,501	6,960	1,459	10,6320	12,091
26/mar	2,47	6,062	6,960	0,898	19,5630	20,461
30/mar	3,77	4,137	6,960	2,824	4,9270	7,751
01/abr	4,6	3,241	6,960	3,719	4,8400	8,559
06/abr	21,48	0,023	6,960	6,937	0,0680	7,005
09/abr	26,1	0,006	6,960	6,954	0,0619	7,016
13/abr	25,78	0,006	6,960	6,954	0,0955	7,049
16/abr	32,5	0,001	6,960	6,959	0,0623	7,021

Tabela 17 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₄ - (N: P: K – 20:00:20).

P₃ = 22cm						
DIA	U_{2i} %	R_I(U_{2i}) KΩ	R_I(U_{1x}) KΩ	ΔR_I KΩ	R_{2i} KΩ	R_{3i} KΩ
11/mar	18,2	0,057	14,581	14,524	1,053	15,577
16/mar	4,3	6,640	14,581	7,940	3,248	11,188
19/mar	3,8	7,879	14,581	6,702	3,370	10,072
23/mar	3,3	9,348	14,581	5,233	10,283	15,516
26/mar	2,6	11,876	14,581	2,705	18,847	21,552
30/mar	2,3	13,159	14,581	1,422	19,243	20,665
01/abr	2,2	13,617	14,581	0,964	12,980	13,944

06/abr	4	7,358	14,581	7,223	2,973	10,196
09/abr	4,2	6,872	14,581	7,709	2,805	10,514
13/abr	4,85	5,502	14,581	9,079	2,117	11,196
16/abr						

A Tabela 18, 19 e 20 apresentam os resultados da aplicação da metodologia, que isola o efeito da umidade, para encontrar o valor das resistências do solo com a aplicação do fertilizante, N: P: K – 20:00:20, no vaso F₇, com porção dobrada em relação ao vaso F₄, para as profundidades: 9cm, 15cm e 22cm, respectivamente.

Tabela 18 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₇ - (N: P: K – 20:00:20 - dobrado).

P1= 9cm						
DIA	U_{2i}	$R_I(U_{Ii})$	$R_I(U_{Ix})$	ΔR_I	R_{2i}	R_{3i}
	%	KΩ	KΩ	KΩ	KΩ	KΩ
11/mar	1,63	10,686	9,261	1,426	13,473	12,047
16/mar	19,2	0,012	9,261	9,249	0,0727	9,322
19/mar	10,7	0,320	9,261	8,941	0,0414	8,983
23/mar	7,8	0,982	9,261	8,279	0,609	8,888
26/mar	24,73	0,001	9,261	9,260	0,164	9,424
30/mar	19	0,013	9,261	9,248	0,063	9,311
01/abr	26,47	0,001	9,261	9,260	0,05	9,310
06/abr	17,8	0,020	9,261	9,240	0,054	9,294
09/abr	17,5	0,023	9,261	9,238	0,092	9,330
13/abr	11	0,285	9,261	8,976	0,178	9,154
16/abr	12,33	0,170	9,261	9,091	0,151	9,242

Tabela 19 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₇ - (N: P: K – 20:00:20 - dobrado).

P2 = 15cm						
DIA	U_{2i}	$R_I(U_{Ii})$	$R_I(U_{Ix})$	ΔR_I	R_{2i}	R_{3i}
	%	KΩ	KΩ	KΩ	KΩ	KΩ
11/mar	23,55	0,0123	6,960	6,948	0,020	6,968
16/mar	22,47	0,0170	6,960	6,943	0,265	7,208
19/mar	4,2	3,6454	6,960	3,315	9,220	12,535

23/mar	4	3,8661	6,960	3,094	12,243	15,337
26/mar	2,7	5,6656	6,960	1,294	12,330	13,624
30/mar	5,97	2,1665	6,960	4,794	2,232	7,026
01/abr	12,3	0,3370	6,960	6,623	0,223	6,846
06/abr	33,57	0,0006	6,960	6,959	0,048	7,007
09/abr	32,43	0,0009	6,960	6,959	0,055	7,014
13/abr	29,53	0,0021	6,960	6,958	0,090	7,048
16/abr	39,1	0,0001	6,960	6,960	0,065	7,025

Tabela 20 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₇ - (N: P: K – 20:00:20 - dobrado).

P3= 22cm						
DIA	U_{2i} %	$R_I(U_{1i})$ K Ω	$R_I(U_{1x})$ K Ω	ΔR_I K Ω	R_{2i} K Ω	R_{3i} K Ω
11/mar	25	0,0056	14,581	14,575	0,0176	14,5928
16/mar	27	0,0028	14,581	14,578	0,5390	15,1170
19/mar	4,13	7,0380	14,581	7,543	20,4530	27,9958
23/mar	3,9	7,6139	14,581	6,967	18,5500	25,5169
26/mar	1,98	14,6809	14,581	0,100	19,3020	19,2019
30/mar	2,2	13,6169	14,581	0,964	20,4330	21,3969
01/abr	2,2	13,6169	14,581	0,964	18,5250	19,4889
06/abr	4,2	6,8715	14,581	7,709	2,4250	10,1343
09/abr	4,75	5,6934	14,581	8,887	2,2110	11,0984
13/abr	5,3	4,7172	14,581	9,864	1,1810	11,0446
16/abr	7,03	2,6107	14,581	11,970	0,7120	12,6821

A Tabela 21, 22 e 23 apresentam os resultados da aplicação da metodologia, que isola o efeito da umidade, para encontrar o valor das resistências do solo com a aplicação do calcário, no vaso F₅, para as profundidades: 9cm, 15cm e 22cm, respectivamente.

Tabela 21 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₅ - (calcário).

P1 = 9cm						
DIA	U_{2i}	$R_I(U_{Ii})$	$R_I(U_{Ix})$	ΔR_I	R_{2i}	R_{3i}
	%	K Ω	K Ω	K Ω	K Ω	K Ω
11/mar	19,8	0,009	9,261	9,251	0,5670	9,818
16/mar	14,2	0,082	9,261	9,178	0,2920	9,470
19/mar	10	0,419	9,261	8,842	0,5320	9,374
23/mar	7,5	1,102	9,261	8,158	0,7610	8,919
26/mar	7,5	1,102	9,261	8,158	0,5820	8,740
30/mar	7,4	1,146	9,261	8,115	1,2720	9,387
01/abr	6,75	1,474	9,261	7,787	1,5350	9,322
06/abr	6,2	1,823	9,261	7,438	1,2500	8,688
09/abr	5,57	2,326	9,261	6,934	1,5600	8,494
13/abr	5,83	2,104	9,261	7,157	1,9080	9,065
16/abr	5,5	2,390	9,261	6,871	2,7800	9,651

Tabela 22 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₅ - (calcário).

P2 = 15cm						
DIA	U_{2i}	$R_I(U_{Ii})$	$R_I(U_{Ix})$	ΔR_I	R_{2i}	R_{3i}
	%	K Ω	K Ω	K Ω	K Ω	K Ω
11/mar	27,38	0,004	6,960	6,956	0,230	7,186
16/mar	22,23	0,018	6,960	6,942	0,290	7,232
19/mar	14,55	0,174	6,960	6,786	0,387	7,173
23/mar	12,3	0,337	6,960	6,623	0,534	7,157
26/mar	16,1	0,110	6,960	6,850	0,426	7,276
30/mar	15,6	0,128	6,960	6,832	1,103	7,935
01/abr	12,57	0,311	6,960	6,649	0,767	7,416
06/abr	11,27	0,456	6,960	6,504	0,721	7,225
09/abr	11,63	0,410	6,960	6,550	1,331	7,881
13/abr	11,45	0,433	6,960	6,527	1,854	8,381
16/abr	11,55	0,420	6,960	6,540	1,403	7,943

Tabela 23 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₅ - (calcário).

P3= 22cm						
DIA	U_{2i}	$R_l(U_{1i})$	$R_l(U_{1x})$	ΔR_l	R_{2i}	R_{3i}
	%	K Ω	K Ω	K Ω	K Ω	K Ω
11/mar	29,33	0,001	14,581	14,580	0,499	15,079
16/mar	25,97	0,004	14,581	14,577	0,413	14,990
19/mar	15,83	0,129	14,581	14,452	0,697	15,149
23/mar	16,37	0,107	14,581	14,474	0,715	15,189
26/mar	18,87	0,046	14,581	14,535	0,634	15,169
30/mar	19	0,044	14,581	14,537	1,688	16,225
01/abr	15,33	0,153	14,581	14,428	1,212	15,640
06/abr	15,43	0,148	14,581	14,433	1,489	15,922
09/abr	15,78	0,131	14,581	14,450	1,749	16,199
13/abr	14,98	0,172	14,581	14,409	2,116	16,525
16/abr	14,7	0,190	14,581	14,391	1,862	16,253

A Tabela 24, 25 e 26 apresentam os resultados da aplicação da metodologia, que isola o efeito da umidade, para encontrar o valor das resistências do solo com a aplicação de calcário, no vaso F₈, vaso com o dobro da porção de Calcário do vaso F₅, para as profundidades: 9cm, 15cm e 22cm, respectivamente.

Tabela 24 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₈ - (calcário - dobrado).

P1 = 9cm						
DIA	U_{2i}	$R_l(U_{1i})$	$R_l(U_{1x})$	ΔR_l	R_{2i}	R_{3i}
	%	K Ω	K Ω	K Ω	K Ω	K Ω
11/mar	15,68	0,05	9,261	9,214	0,504	9,718
16/mar	13,53	0,11	9,261	9,154	0,672	9,826
19/mar	9,7	0,47	9,261	8,790	0,815	9,605
23/mar	7,83	0,97	9,261	8,291	0,825	9,116
26/mar	7,63	1,05	9,261	8,213	1,120	9,333
30/mar	6,67	1,52	9,261	7,741	1,253	8,994
01/abr	6,07	1,92	9,261	7,344	1,362	8,706
06/abr	4,03	4,22	9,261	5,039	2,055	7,094

09/abr	4,63	3,35	9,261	5,914	2,205	8,119
13/abr	1,2	12,62	9,261	3,360	4,919	1,559
16/abr	3,3	5,60	9,261	3,661	4,420	8,081

Tabela 25 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₈ - (calcário - dobrado).

P2 = 15cm						
DIA	U_{2i} %	$R_l(U_{1i})$ K Ω	$R_l(U_{1x})$ K Ω	ΔR_l K Ω	R_{2i} K Ω	R_{3i} K Ω
11/mar	27,53	0,0038	6,960	6,956	0,290	7,246
16/mar	22,7	0,0158	6,960	6,944	0,357	7,301
19/mar	15,2	0,1437	6,960	6,816	0,393	7,209
23/mar	12,47	0,3206	6,960	6,639	0,579	7,218
26/mar	14,88	0,1578	6,960	6,802	0,610	7,412
30/mar	12,63	0,3058	6,960	6,654	0,767	7,421
01/abr	10,9	0,5086	6,960	6,451	0,899	7,350
06/abr	8,97	0,8969	6,960	6,063	0,959	7,022
09/abr	8,87	0,9237	6,960	6,036	1,337	7,373
13/abr	4,63	3,2125	6,960	3,748	1,785	5,533
16/abr	5,73	2,3249	6,960	4,635	2,603	7,238

Tabela 26 - Resistência elétrica do solo, para umidade 2%, no vaso F₈ - (calcário - dobrado).

P3= 30cm						
DIA	U_{2i} %	$R_l(U_{1i})$ K Ω	$R_l(U_{1x})$ K Ω	ΔR_l K Ω	R_{2i} K Ω	R_{3i} K Ω
11/mar	27,48	0,0024	14,581	14,578	0,694	15,272
16/mar	26,73	0,0031	14,581	14,578	0,573	15,151
19/mar	16,93	0,0884	14,581	14,492	0,775	15,267
23/mar	14,35	0,2136	14,581	14,367	0,649	15,016
26/mar	19,23	0,0403	14,581	14,541	0,855	15,396
30/mar	16,7	0,0956	14,581	14,485	1,189	15,674
01/abr	14,5	0,2029	14,581	14,378	1,053	15,431
06/abr	11,45	0,5759	14,581	14,005	1,023	15,028
09/abr	11,08	0,6536	14,581	13,927	1,821	15,748
13/abr	8,15	1,7800	14,581	12,801	2,170	14,971

16/abr	7,3	2,3805	14,581	12,200	3,043	15,243
---------------	-----	--------	--------	--------	-------	--------

A Figura 13 mostra os resultados, calculados, das resistências elétrica R_{3i} , do solo no vaso F2, N: P: K- 05:30:15, para o período avaliado. Analisando os resultados da Figura 13, observa-se que houve um súbito aumento das resistências elétricas, a partir do início da segunda semana, do período de avaliação, produzindo um pico no final desta semana, e finalmente acomodando-se aos valores observados no período inicial, por volta do início da quarta semana. Os maiores valores de resistência elétrica do solo foram observados na maior profundidade, P₃ e os menores na menor profundidade, P₁.

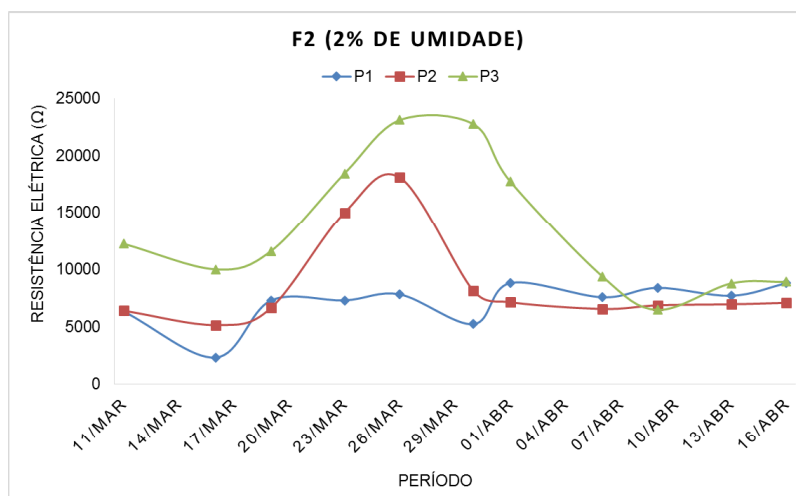


Figura 13 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F₂ - (N: P: K - 05:30:15).

A Figura 14 mostra os resultados, calculados, das resistências elétrica R_{3i} , do solo no vaso F₆, fertilizante N: P: K- 05:30:15, com o dobro da quantidade aplicada no vaso F₂, para o período avaliado. Curiosamente a curva de variação da resistência elétrica do solo teve comportamento diferente do apresentado pelo vaso F₂, com pouca variação dos valores, para todo o período considerado. Os maiores valores de resistência elétrica do solo, a exemplo, do que foi observado no vaso F₂, foram na profundidade P₃, porém foi observado menores valores de resistência elétrica para a profundidade intermediária P₂.

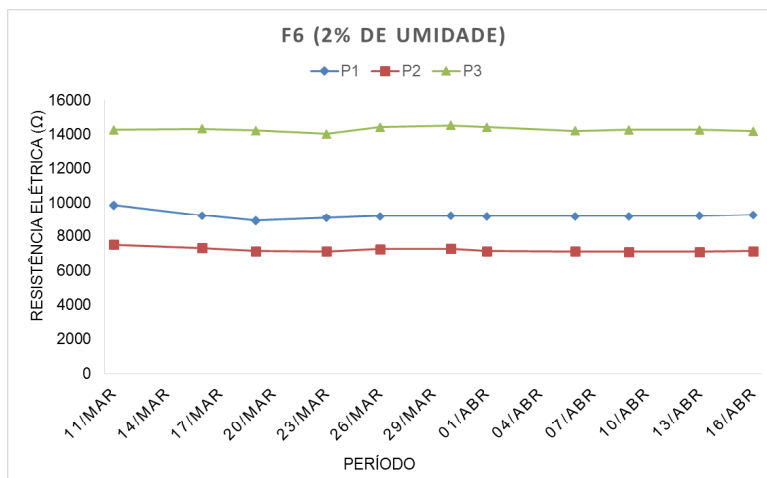


Figura 14 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F₆ - (N: P: K- 05:30:15 dobrado).

A Figura 15 mostra os resultados, calculados, das resistências elétrica R_{3i} , do solo no vaso F₃, contendo Sulfato de Amônia, para o período avaliado. Analisando os resultados da Figura 15, observa-se que não houve grandes variações dinâmicas, dos valores das resistências elétricas, em todo o período avaliado, nas profundidades P₁ e P₂, porém, na profundidade P₃, houve uma significativa diminuição das resistências elétricas no período final de teste. Os maiores valores de resistência elétrica do solo foram observados na maior profundidade, P₃ e os menores na menor profundidade, P₂.

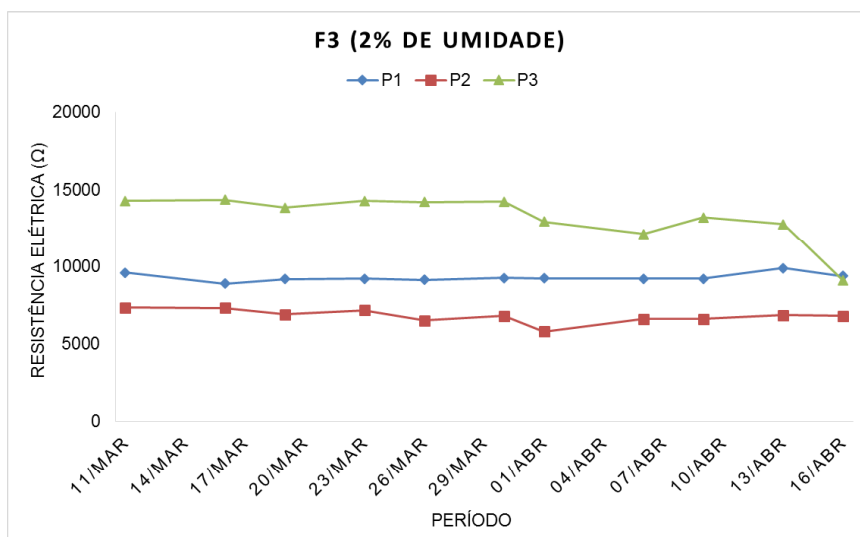


Figura 15 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F₃ - (Sulfato de Amônia).

A Figura 16 mostra os resultados, calculados, das resistências elétrica R_{3i} , do solo no vaso F₉, contendo Sulfato de Amônia, com o dobro da porção do vaso F₃, para o

período avaliado. Analisando os resultados da Figura 16, observa-se que não houve variações, consideráveis, na dinâmica das resistências elétricas, em todo o período avaliado, em todas as profundidades, porém, observa-se, porém, um significativo aumento de intensidade em todas as camadas, em comparação com o vaso F₃. Percebe-se ainda que, em comparação com F₃, que a profundidade P₃ também apresentou as maiores intensidades de resistência elétrica, e as menores, na menor profundidade, P₂.

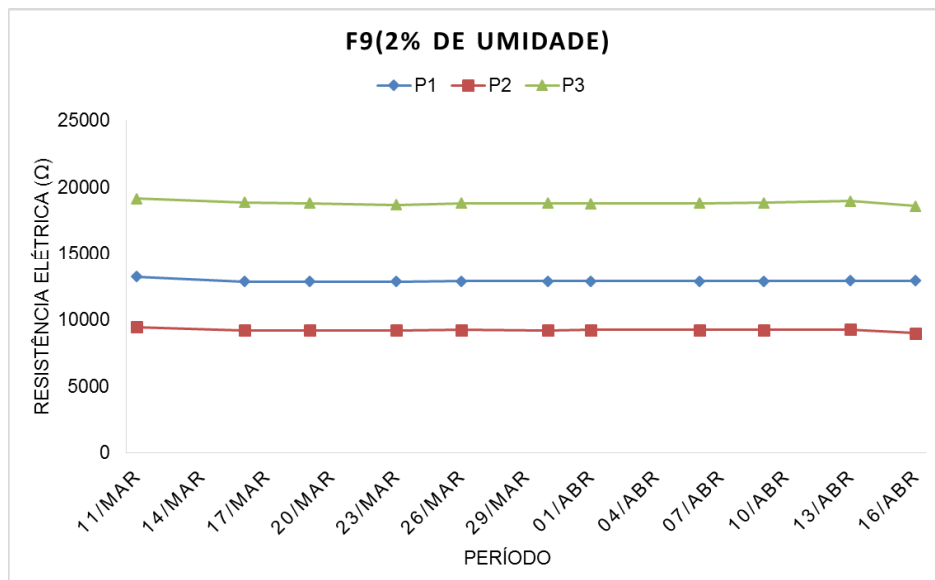


Figura 16 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F₉ - (Sulfato de Amônia - dobrado).

A Figura 17 mostra os resultados, calculados, das resistências elétrica R_{3i} , do solo no vaso F₄, contendo o fertilizante, N: P: K – 20:00:20, para o período avaliado. Analisando os resultados da Figura 17, observa-se que houve uma diminuição gradativa, da resistência elétrica, na primeira semana de testes, seguida de um súbito aumento das destas resistências, a partir do final desta semana, produzindo um pico no final da segunda semana. Durante toda a terceira semana, segue-se uma brusca diminuição das resistências elétricas, finalmente acomodando-se aos valores observados no período inicial, por volta do início da quarta semana. Os maiores valores de resistência elétrica do solo foram observados na maior profundidade, P₃ e os menores na menor profundidade, P₂.

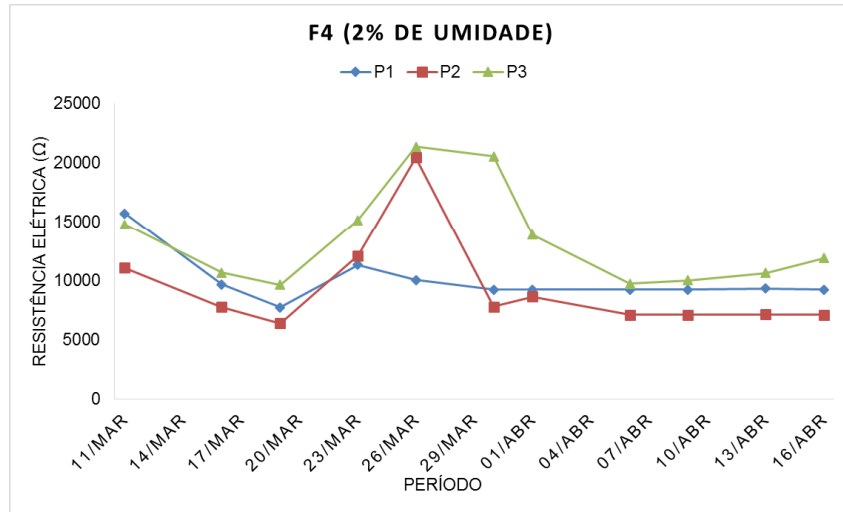


Figura 17 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F₄ - (N: P: K – 20:00:20).

A Figura 18 mostra os resultados, calculados, das resistências elétrica R_{3i} , do solo no vaso F₇, contendo o fertilizante, N: P: K – 20:00:20, com o dobro da porção do vaso F₄, para o período avaliado. Analisando os resultados da Figura 18, observa-se que houve um súbito incremento, da resistência elétrica, no início da segunda semana de testes, produzindo um pico no final desta semana. Durante toda a terceira semana, segue-se uma brusca diminuição das resistências elétricas, finalmente acomodando-se aos valores, aproximadamente constantes, porém, diferentes dos observados no período inicial, por volta do início da quarta semana. Os maiores valores de resistência elétrica do solo foram observados na maior profundidade P₃ e os menores, na menor profundidade, P₂, como no caso da porção padrão, do vaso F₄, e nos testes com o vaso F₂.

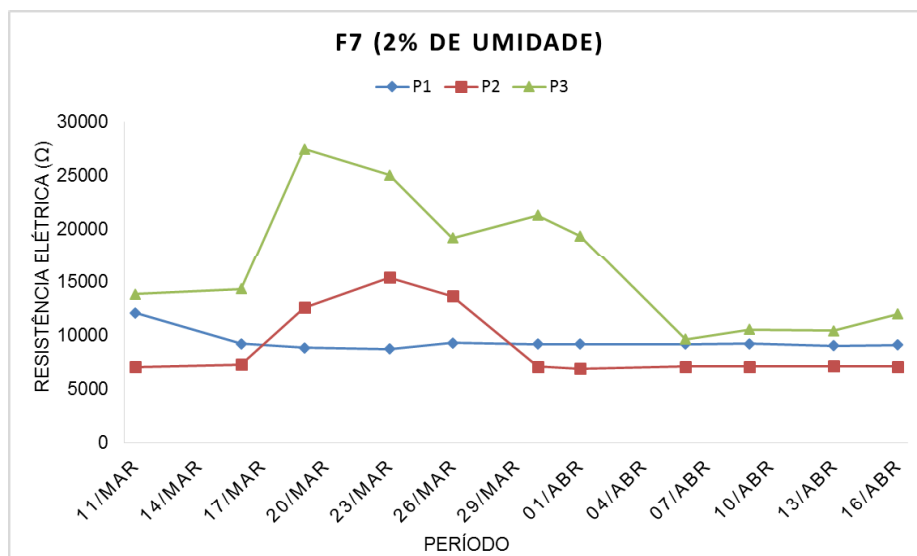


Figura 18 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F₇ - (N: P: K – 20:00:20 - dobrado).

A Figura 19 mostra os resultados, calculados, das resistências elétrica R_{3i} , do solo no vaso F₅, contendo o Calcário, para o período avaliado. Analisando os resultados da Figura 19, observa-se que houve variações pequenas e gradativas na dinâmica da resistência elétrica, em todo o período considerado, com tendência de aumento à medida que o tempo ia passando. Os maiores valores de resistência elétrica do solo foram observados na maior profundidade, P₃ e os menores na menor profundidade, P₂, a exemplo do comportamento dos fertilizantes analisados.

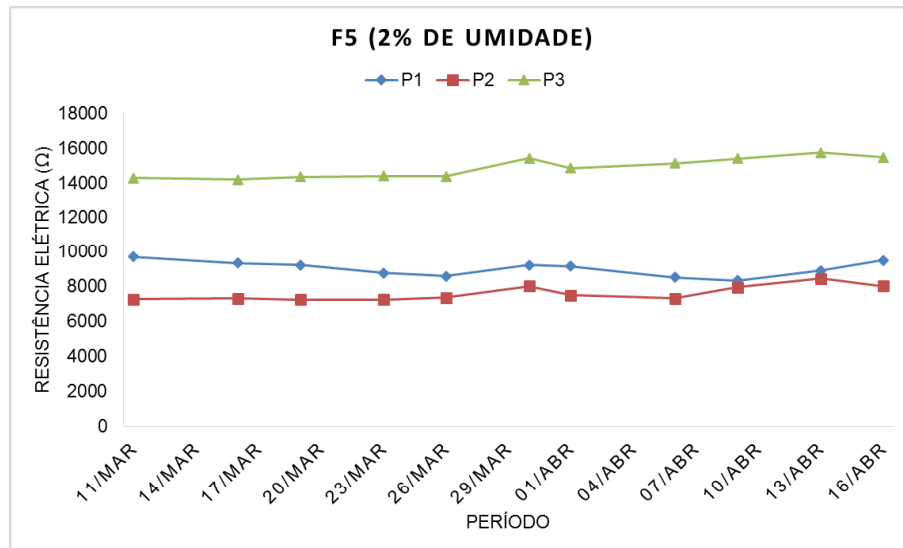


Figura 19 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F₅ - (calcário).

A Figura 20 mostra os resultados, calculados, das resistências elétrica R_{3i} , do solo no vaso F₈, contendo o Calcário, com uma porção dobrada em relação ao vaso F₅, para o período avaliado. Analisando os resultados da Figura 20, observa-se que houve variações muito pequenas, em relação ao que foi apresentado no vaso F₅, atribui-se a principal mudança observada no final do período, na profundidade P₂, a um provável erro de medição. Os maiores valores de resistência elétrica do solo foram observados na maior profundidade, P₃ e os menores na menor profundidade, P₂, a exemplo do comportamento dos fertilizantes analisados.

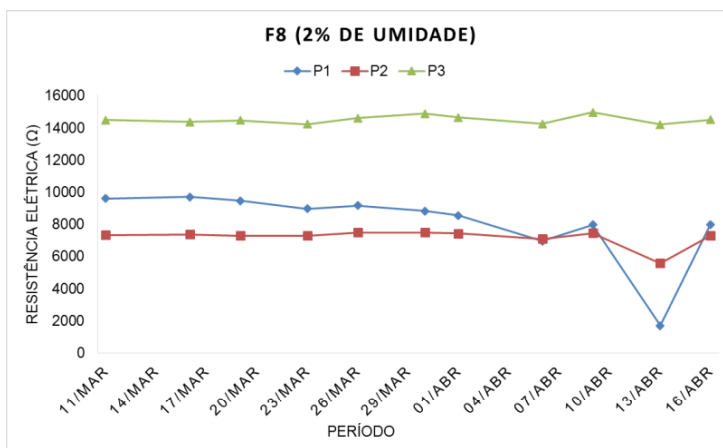


Figura 20 - Resistência elétrica, para umidade 2%, do solo do vaso F₈ - (calcário - dobrado).

4.1 Desenvolvimento Experimental Diretamente no Solo, em Área Agrícola

Os resultados expostos nesta seção apresentam os resultados da aplicação do método de Wenner com os arranjos do caminhamento elétrico e para estratificação em camadas horizontais. Conforme detalhado no capítulo 3, o experimento de campo deste trabalho foi realizado nas dependências da Universidade Federal de Goiás – Campus Samambaia/Faculdade de Agronomia. Para a realização dos experimentos, uma área de $9m^2$ foi delimitada. Dentro dessa área foram delimitados 9 quadrados de $(0,80 \times 0,80)m$, isto é, $(0,64m^2)$, espaçados entre si em todos os lados por 0,40m. Em cada quadrado delimitado foi aplicado uma quantidade de determinado insumo agrícola e em três quadrados foi adicionado calcário. Os testes, em campo, foram desenvolvidos no período compreendido entre os dias 04/07/2015 a 01/08/2015. A Figura 21 apresenta como os fertilizantes foram aplicadas na área, sob testes.

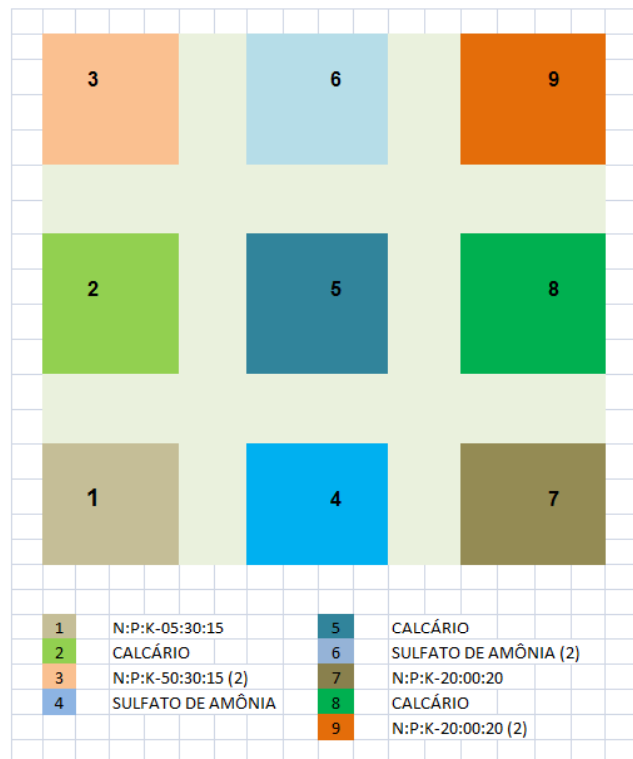


Figura 21 - Distribuição dos fertilizantes na área sob estudo.

4.2.1 Arranjo do Caminhamento Elétrico

Nesta seção serão apresentadas algumas figuras com os resultados de um mapeamento bidimensional, com parâmetros de condutividade elétrica, para toda a área sob teste. As figuras retratam os resultados dos testes relativos a dias, dentro do intervalo de testes, escolhidos considerando, aproximadamente, os intervalos de tempo que realçaram os efeitos dinâmicos observados nos testes da bancada laboratorial. Nas figuras X e Y são as dimensões horizontal e vertical da área e as paletas de cores indicam os valores relativos de condutividade elétrica para cada microrregião dentro da área considerada, sendo que as cores mais quentes: vermelho, amarelo, etc., são os valores com maior condutividade elétrica e as cores mais frias: azul escuro, azul claro, são os valores com menor condutividade elétrica.

A Figura 22 apresenta o mapeamento bidimensional da área com os parâmetros de condutividade elétrica, nos testes realizados entre os dias 04/07/2015 a

01/08/2015. A listagem do programa em MATLAB para cálculo da condutividade elétrica utilizada neste trabalho está no APENDICE A.

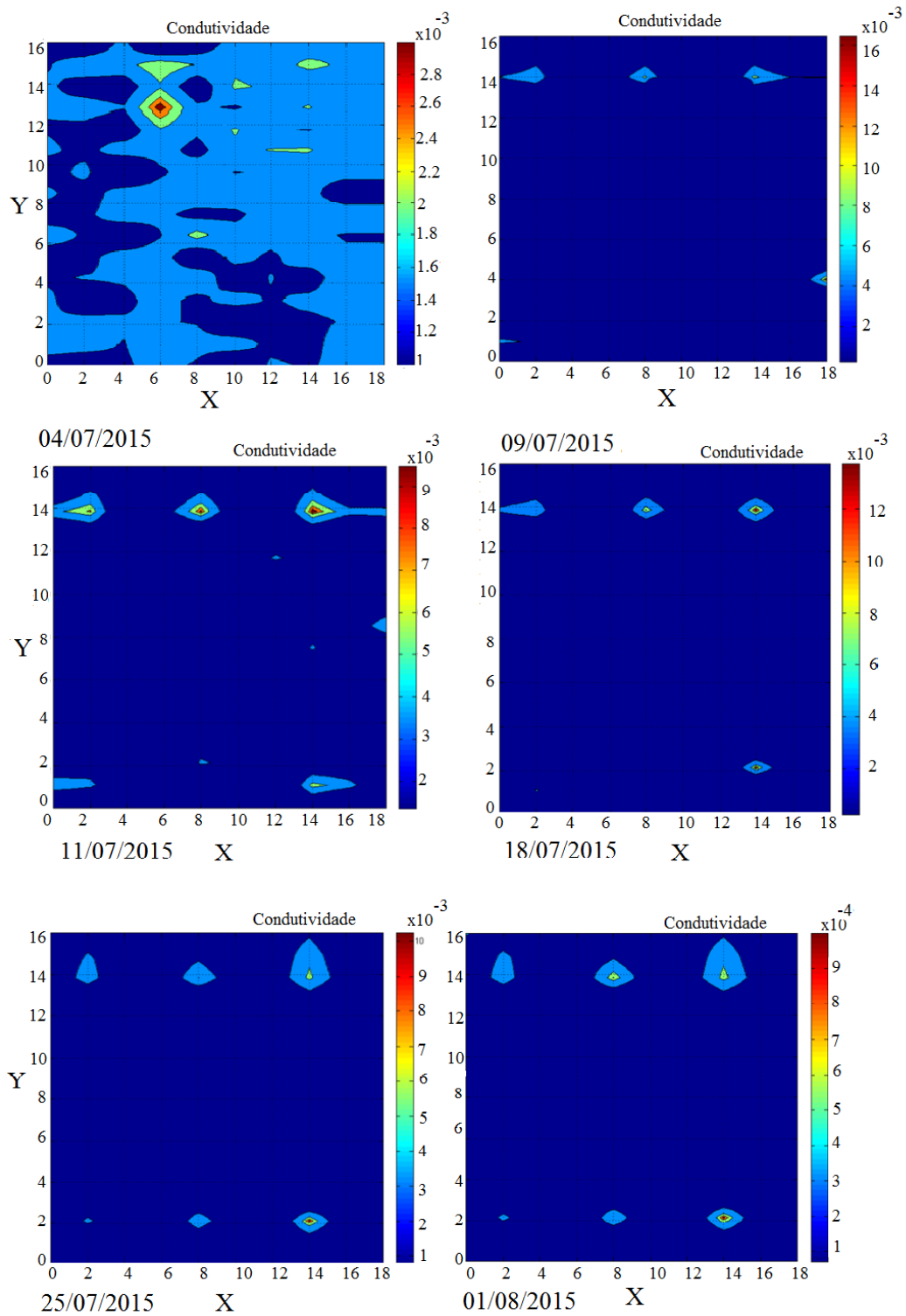


Figura 22 - Condutividade elétrica (método do caminhamento) para os testes realizados de 04/07/2015 a 01/08/2015.

Avaliação dos resultados da Figura 22, método do Caminhamento Elétrico, apresentando condutividade elétrica:

- **Testes do dia 04/07/2015** - nestes testes a área estava sem a adição dos fertilizantes, condição inicial. Observa-se que há, apenas, uma pequena variação, nos dados de condutividade elétrica, em toda a área. Destacando-se apenas uma pequena região com condutividade mais acentuada, que pode ser um erro de leitura do aparelho ou uma alteração pontual provocada por um meio externo, ou um elemento estranho sob o solo. Pode-se a partir dos resultados da Figura 22, considerar a área sob testes, do ponto de vista geoeletrico, relativamente homogênea, isto é muito bom para os testes, pois as alterações pontuais serão melhor destacadas;
- **Testes realizados no dia 09/07/2015** - já com a presença dos fertilizantes. Pode-se observar que a parte alta da figura, os quadros 3, 6 e 9, correspondentes aos quadros, em que foram aplicadas as quantidades dobradas de fertilizantes: NPK- 05:30:15-(2), Sulfato de Amônia (2), e NPK - 20:00:20-(2), respectivamente, destacam-se dos demais. Neste momento, ainda não foi possível identificar o efeito que porções menores de fertilizantes, Quadros: 1, 4 e 7, produz na condutividade elétrica do solo. Não foi possível identificar, neste momento, o efeito que as porções do calcário, nos Quadros: 2, 5 e 8, produz na condutividade elétrica do solo;
- **Testes realizados no dia 11/07/2015** - (final da primeira semana). Pode-se observar que a parte alta da figura, os Quadros 3, 6 e 9, correspondentes aos quadros, em que foram aplicadas as quantidades dobradas de fertilizantes: NPK- 05:30:15-(2), Sulfato de Amônia (2), e NPK - 20:00:20-(2), respectivamente, se destacaram mais ainda, isto é, maior condutividade elétrica. Os quadros da parte baixa, Quadros: 1, 4 e 7, os mesmos fertilizantes da parte alta, porém, com quantidade menores, também apresenta destaque, todavia menor. Neste momento, ainda não foi possível identificar o efeito que as porções do calcário, nos Quadros: 2, 5 e 8, produz na condutividade elétrica do solo;

- **Testes realizados no dia 18/07/2015** - (final da segunda semana). Pode-se observar nesta figura que não houve mudanças significativas, na condutividade elétrica, com aquelas apresentadas no dia 11/07;
- **Testes realizados no dia 25/07/2015** - (final da terceira semana). Pode-se observar que, tanto os quadros, parte alta da figura, os Quadros: 3, 6 e 9, e os quadros da parte baixa, os Quadros: 1, 4 e 7, contendo fertilizantes, se destacam das demais áreas, e dos quadros com porções de Calcário, Quadros: 2, 5 e 8, em relação a condutividade elétrica do solo;
- **Testes realizados no dia 01/08/2015** - (final da quarta semana). Pode-se observar variações muito sutis em relação aos resultados apresentados no dia 25/07, se mantendo aproximadamente constante os parâmetros calculados da condutividade elétrica, para toda a área.

4.2.2 Arranjo para Estratificação em Camadas Horizontais

Nesta seção são apresentados os resultados da aplicação do método de Wenner. As figuras apresentam os resultados das estratificações do solo, na área sob estudo, em três camadas horizontais. É importante ressaltar que a área sob estudo é a mesma, os dias de testes os mesmos e apenas o arranjo para aplicação do método é que mudou.

Para todas as figuras apresentadas nesta Seção, a primeira camada é representada pela superfície no topo da figura, a segunda camada é a superfície logo abaixo da primeira e a terceira camada é uma região indefinida, que se estende abaixo da segunda. As espessuras da primeira camada, em um ponto qualquer da área, são as distâncias entre os pontos de interseção de segmentos lineares ortogonais a uma área plana delimitada pelo eixos x, y, z , que passa pela origem, $(0,0,0)$, e os pontos correspondentes, que estes segmentos lineares ortogonais encontram a superfície logo abaixo, (superfície da primeira camada). As espessuras da segunda camada são as distâncias entre os pontos da superfície da primeira camada e os pontos da superfície logo abaixo, superfície da segunda camada. As espessuras da terceira camada são as distâncias entre os pontos da superfície da segunda camada e um ponto, teoricamente, para o centro da terra.

A Figura 23, apresenta os resultados da estratificação 3D, para as medições da condutividade elétrica do solo, para a segunda série medições, realizada entre os dias

04/07/2015 a 01/08/2015 e as Tabelas 27 e 28 apresentam, para todo o período de testes, a profundidade das três camadas (camada), em metros h (metro), para um ponto selecionado no centro de cada um dos quadros.

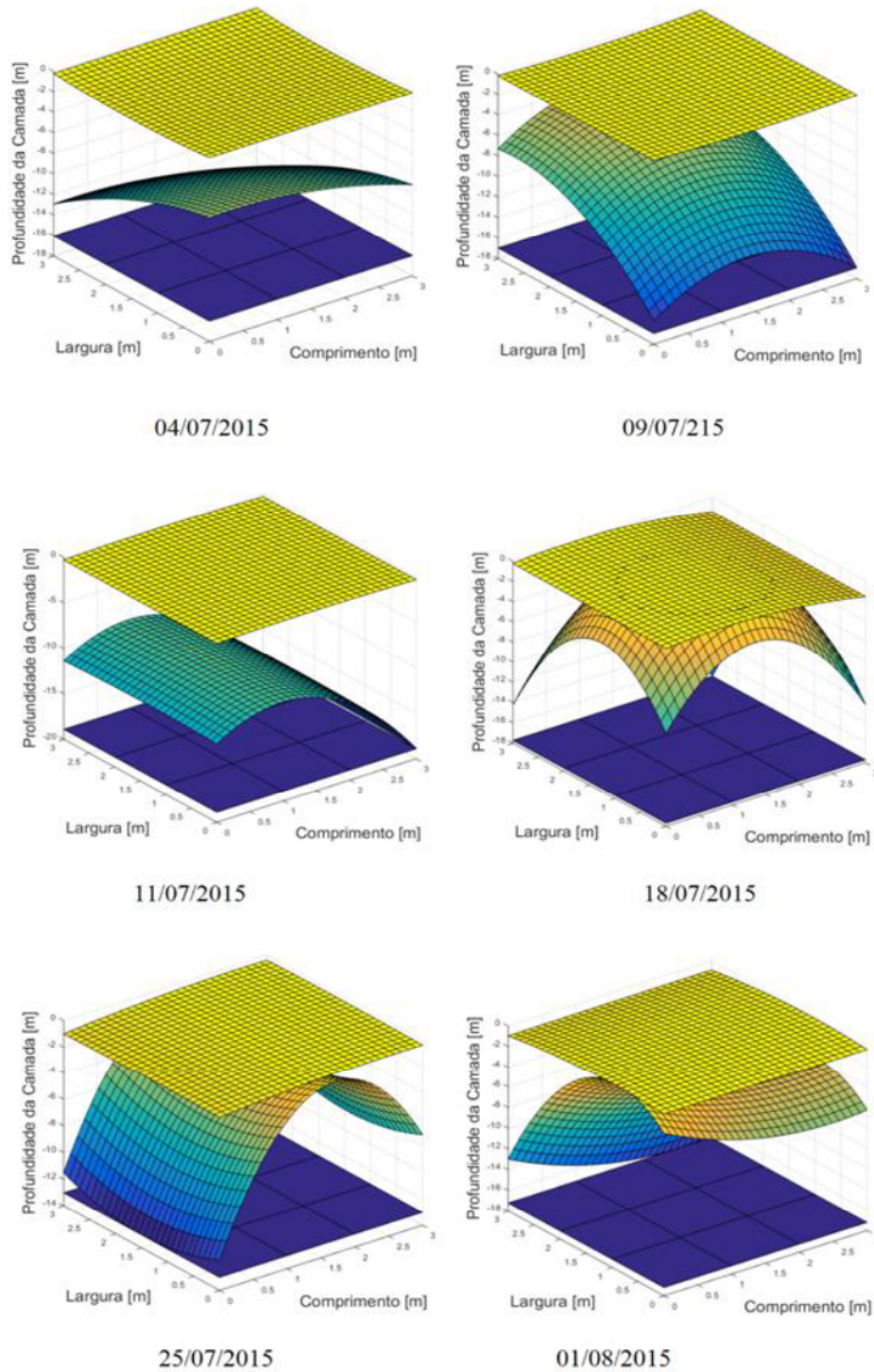


Figura 23 - Estratificação horizontal do solo da área de estudo - 04/07/2015 a 01/08/2015.

Tabela 27 - Detalhamento das espessuras das camadas - Dias 04/07/2015 a 11/07/2015.

DIA (04/07/2015)					
Quadro 1 - NPK 05:30:15 h(metro)		Quadro 4 -Sulfato de Amônia h(metro)		Quadro 7- NPK 20:00:20 h(metro)	
1° Camada	-0,22221	1° Camada	-0,21139	1° Camada	-0,20771
2° Camada	-1,8715	2° Camada	-4,0734	2° Camada	-4,8235
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
Quadro 2 -Calcário h(metro)		Quadro 5 - Calcário (2) h(metro)		Quadro 8 - Calcário h(metro)	
1° Camada	-0,16567	1° Camada	-0,15485	1° Camada	-0,15117
2° Camada	-2,1091	2° Camada	-4,3110	2° Camada	-5,0612
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
Quadro 3 - NPK 05:30:15 (2) h(metro)		Quadro 6-Sulfato de amônia (2) h(metro)		Quadro 9 - NPK 20:00:20 (2) h(metro)	
1° Camada	-0,5693	1° Camada	-0,55848	1° Camada	-0,55479
2° Camada	-8,6357	2° Camada	-10,8380	2° Camada	-11,5880
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
DIA (09/07/2015)					
Quadro 1 - NPK 05:30:15 h(metro)		Quadro 4 -Sulfato de Amônia h(metro)		Quadro 7- NPK 20:00:20 h(metro)	
1° Camada	-0,22221	1° Camada	-0,21139	1° Camada	-0,20771
2° Camada	-1,8715	2° Camada	-4,0734	2° Camada	-4,8235
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
Quadro 2 -Calcário h(metro)		Quadro 5 - Calcário (2) h(metro)		Quadro 8 - Calcário h(metro)	
1° Camada	-0,16567	1° Camada	-0,15485	1° Camada	-0,15117
2° Camada	-2,1091	2° Camada	-4,3110	2° Camada	-5,0612
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
Quadro 3 - NPK 05:30:15 (2) h(metro)		Quadro 6-Sulfato de amônia (2) h(metro)		Quadro 9 - NPK 20:00:20 (2) h(metro)	
1° Camada	-0,5693	1° Camada	-0,55848	1° Camada	-0,55479
2° Camada	-8,6357	2° Camada	-10,8380	2° Camada	-11,5880
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
DIA (11/07/2015)					
Quadro 1 - NPK 05:30:15 h(metro)		Quadro 4 -Sulfato de Amônia h(metro)		Quadro 7- NPK 20:00:20 h(metro)	
1° Camada	-0,22221	1° Camada	-0,21139	1° Camada	-0,20771
2° Camada	-1,8715	2° Camada	-4,0734	2° Camada	-4,8235
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
Quadro 2 -Calcário h(metro)		Quadro 5 - Calcário (2) h(metro)		Quadro 8 - Calcário h(metro)	
1° Camada	-0,21139	1° Camada	-0,15485	1° Camada	-0,15117
2° Camada	-4,0734	2° Camada	-4,3110	2° Camada	-5,0612
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
Quadro 3 - NPK 05:30:15 (2) h(metro)		Quadro 6-Sulfato de amônia (2) h(metro)		Quadro 9 - NPK 20:00:20 (2) h(metro)	
1° Camada	-0,5693	1° Camada	-0,55848	1° Camada	-0,55479
2° Camada	-8,6357	2° Camada	-10,8380	2° Camada	-11,5880
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞

Tabela 28 - Detalhamento da espessura das camadas - Dias 18/07/2015 a 01/08/2015.

DIA (18/07/2015)					
Quadro 1 - NPK 05:30:15 h(metro)		Quadro 4 -Sulfato de Amônia h(metro)		Quadro 7- NPK 20:00:20 h(metro)	
1° Camada	-0,15463	1° Camada	-0,17118	1° Camada	-0,90664
2° Camada	-2,4875	2° Camada	-0,1712	2° Camada	-4,1478
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
Quadro 2 -Calcário h(metro)		Quadro 5 - Calcário (2) h(metro)		Quadro 8 - Calcário h(metro)	
1° Camada	-0,10105	1° Camada	-0,11441	1° Camada	-0,84878
2° Camada	-0,1692	2° Camada	-0,1144	2° Camada	-1,8295
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
Quadro 3 - NPK 05:30:15 (2) h(metro)		Quadro 6-Sulfato de amônia (2) h(metro)		Quadro 9 - NPK 20:00:20 (2) h(metro)	
1° Camada	-0,05085	1° Camada	-0,06681	1° Camada	-0,80208
2° Camada	-0,1692	2° Camada	-2,5675	2° Camada	-7,1307
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
DIA (25/07/2015)					
Quadro 1 - NPK 05:30:15 h(metro)		Quadro 4 -Sulfato de Amônia h(metro)		Quadro 7- NPK 20:00:20 h(metro)	
1° Camada	-0,7498	1° Camada	-0,43155	1° Camada	-0,30949
2° Camada	-7,7993	2° Camada	-1,9229	2° Camada	-3,8907
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
Quadro 2 -Calcário h(metro)		Quadro 5 - Calcário (2) h(metro)		Quadro 8 - Calcário h(metro)	
1° Camada	-0,72483	1° Camada	-0,40658	1° Camada	-0,2845
2° Camada	-8,4734	2° Camada	-2,5970	2° Camada	-4,5648
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
Quadro 3 - NPK 50:30:15 (2) h(metro)		Quadro 6-Sulfato de amônia (2) h(metro)		Quadro 9 - NPK 20:00:20 (2) h(metro)	
1° Camada	-0,76407	1° Camada	-0,44581	1° Camada	-0,32376
2° Camada	-7,8027	2° Camada	-1,9263	2° Camada	-3,8941
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
DIA (01/08/2015)					
Quadro 1 - NPK 05:30:15 h(metro)		Quadro 4 -Sulfato de Amônia h(metro)		Quadro 7- NPK 20:00:20 h(metro)	
1° Camada	-0,22221	1° Camada	-0,21139	1° Camada	-0,20771
2° Camada	-1,8715	2° Camada	-4,0734	2° Camada	-4,8235
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
Quadro 2 -Calcário h(metro)		Quadro 5 - Calcário (2) h(metro)		Quadro 8 - Calcário h(metro)	
1° Camada	-0,21139	1° Camada	-0,15485	1° Camada	-0,1512
2° Camada	-4,0734	2° Camada	-4,3110	2° Camada	-5,0612
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Camada	∞
Quadro 3 - NPK 05:30:15 (2) h(metro)		Quadro 6-Sulfato de amônia (2) h(metro)		Quadro 9 - NPK 20:00:20 (2) h(metro)	
1° Camada	-0,55848	1° Camada	-0,55848	1° Cam	-0,55479
2° Camada	-10,8380	2° Camada	-10,8380	2° Cam	-11,5880
3° Camada	∞	3° Camada	∞	3° Cam	∞

A Tabela 29 apresenta resultados do comportamento dinâmico para cada um dos fertilizantes, no período considerado de testes, onde cam(1) é a espessura da primeira camada, para o fertilizante na quantidade padrão e cam(2) é o mesmo fertilizante com a quantidade dobrada.

Tabela 29 - Detalhamento dinâmico das espessuras das camadas no período de testes.

	NPK 50:30:15		NPK 50:30:15 (2)		Sulfato de Amônia		Sulfato de amônia (2)	
	1° cam(1)	2° cam(1)	1° cam(2)	2° cam(2)	1° cam(1)	2° cam(1)	1° cam(2)	2° cam(2)
04/jul	0,22221	1,8715	0,5693	8,6357	0,21139	4,0734	0,55848	10,8380
09/jul	0,22221	1,8715	0,5693	8,6357	0,21139	4,0734	0,55848	10,8380
11/jul	0,22221	1,8715	0,5693	8,6357	0,21139	4,0734	0,55848	10,8380
18/jul	0,15463	2,4875	0,050847	0,1692	0,17118	0,1712	0,066814	2,5675
25/jul	0,7498	7,7993	0,76407	7,8027	0,43155	1,9229	0,44581	1,9263
01/ago	0,22221	1,8715	0,55848	10,8380	0,21139	4,0734	0,55848	10,8380
	Calcário		Calcário (2)		NPK 20:00:20		NPK 20:00:20 (2)	
	1° cam(1)	2° cam(1)	1° cam(2)	2° cam(2)	1° cam(1)	2° cam(1)	1° cam(2)	2° cam(2)
04/jul	0,16567	2,1091	0,15485	4,3110	0,20771	4,8235	0,55479	11,5880
09/jul	0,16567	2,1091	0,15485	4,3110	0,20771	4,8235	0,55479	11,5880
11/jul	0,21139	4,0734	0,15485	4,3110	0,20771	4,8235	0,55479	11,5880
18/jul	0,10105	0,1692	0,11441	0,1144	0,90664	4,1478	0,80208	7,1307
25/jul	0,72483	8,4734	0,40658	2,5970	0,30949	3,8907	0,32376	3,8941
01/ago	0,21139	4,0734	0,15485	4,3110	0,32376	4,8235	0,55479	11,5880

A Figura 24 apresenta os gráficos com o comportamento dinâmico dos quatro tipos de fertilizantes nas quantidades padrão (1) e dobrada (2), para as duas primeiras camadas: primeira camada 1° cam e segunda camada 2° cam.

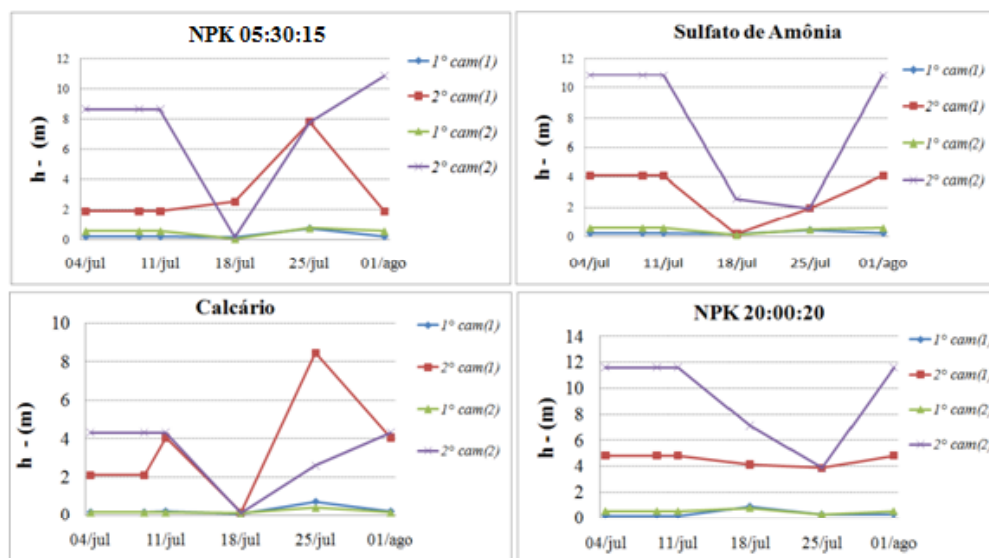


Figura 24 - Comportamento dinâmico das espessuras das camadas do solo.

Fazendo as análises para os resultados apresentados na Tabela 29 e na Figura 24, seguem as observações:

1. Para o **NPK 05:30:15, Medida Padrão**, as espessuras da primeira camada sofreram pequenas alterações, durante todo o período de testes, com valores menores do que um metro, já as espessuras da segunda camada tiveram um comportamento dinâmico diferente, ficando constantes na primeira semana, com valores em torno de dois metros, entre o início da segunda semana e o fim da terceira semana apresentaram uma elevação gradativa e acentuada, com um pico no final da terceira semana, para logo a seguir cair e voltar aos patamares iniciais;
2. Para o **NPK 05:30:15**, na medida dobrada, as espessuras da primeira camada se comportaram aproximadamente como na condição de medida padrão, porém as espessuras da segunda camada foram fortemente influenciados pela quantidade de fertilizante, na primeira semana ficaram constantes, com valores em torno de oito metros, entre o início e o fim da primeira semana tiveram uma queda muito acentuada, indo a valores próximo de zero, para, a seguir, entre o início da terceira semana e quarta semana subir acentuadamente. Os testes demonstraram que o período de análise foi curto, porém é possível perceber que haverá uma tendência a estabilização para um período próximo;
3. As análises para o **calcário** demonstram que a primeira camada se comportaram da mesma forma que as áreas com o fertilizante NPK 05:30:15, porém analisando as espessuras da segunda camada, tem-se que para a medida padrão, entre o início e o final da primeira semana, apresentaram espessuras constantes de dois metros, subindo acentuadamente no final da primeira semana para valores acima de quatro metros, entre o início e final da segunda semana as espessuras caíram para aproximadamente zero metros, para a seguir, durante toda a terceira semana subir para cerca de oito metros, voltando a cair durante o período da quarta semana. Para o Calcário na medida dobrada, o comportamento dinâmico da segunda camada é aproximadamente igual ao comportamento da condição de porção padrão, porém com espessuras aproximadamente o dobro daquela.

4. As análises para o **Sulfato de Amônia**, nas condições dinâmicas muito parecidas com as do calcário, porém, as espessuras da segunda camada para a condição inicial, com a medida padrão, ficaram em torno de quatro metros e na condição dobrada aproximadamente onze metros. Pode-se admitir, que o Sulfato de Amônia provoca mudanças nos valores das espessuras da segunda camada, aproximadamente duas vezes as provocadas pelo calcário. Para o Sulfato de Amônia, também, o período considerado foi insuficiente para uma análise mais completa.
5. As análises para o **NPK 20:00:20**, mostram um comportamento dinâmico, para as duas camadas, muito parecido com os comportamentos de todos os outros fertilizantes, com espessuras da primeira camada próximo de zero e espessuras da segunda camada, em condição de medida padrão aproximadamente igual a cinco metros, neste caso há uma diferença, em relação ao que se observou nos outros fertilizantes, pois essa camada permanece praticamente invariável durante todo o período. Para a condição de medida dobrada as condições, a segunda camada, apresentou dinâmica similar às condições dos outros fertilizantes, incluindo o calcário, com valores iniciais estáveis em cerca de onze metros.

4.3 Comparação dos Resultados dos Três Métodos

A Figura 25 mostra uma associação entre os resultados do método do caminhamento elétrico, apresentando dados de condutividade elétrica com os resultados da estratificação em camadas verticais. Das análises percebe-se que as áreas de maior condutividade elétrica também estão associadas com maiores valores da espessura da segunda camada, em especial. A estratificação tridimensional demonstrou ser um método eficaz para avaliar a presença de qualquer um dos insumos agrícolas testados, tendo em vista que provou que há uma associação aproximadamente linear para, verificar a presença do calcário, o que não foi possível verificar no caso do método do caminhamento elétrico. Pode-se perceber que no caso dos fertilizantes há uma associação aproximadamente direta entre condutividade elétrica e espessura da segunda camada.

A associação dos resultados do caminhamento elétrico e da estratificação tridimensional, com o método de bancada, demonstraram a utilidade bem como

confirmaram os resultados, tendo em vista que uma variação brusca de condutividade para baixo, nos períodos que compreendem a segunda e terceira semanas de testes, nos métodos em campo, foi observado como uma variação brusca na resistência elétrica dos solos, nos vasos, sob estudo em bancada. Nos testes de bancada também não foi possível verificar o efeito do calcário, tal como no método do caminhamento elétrico.

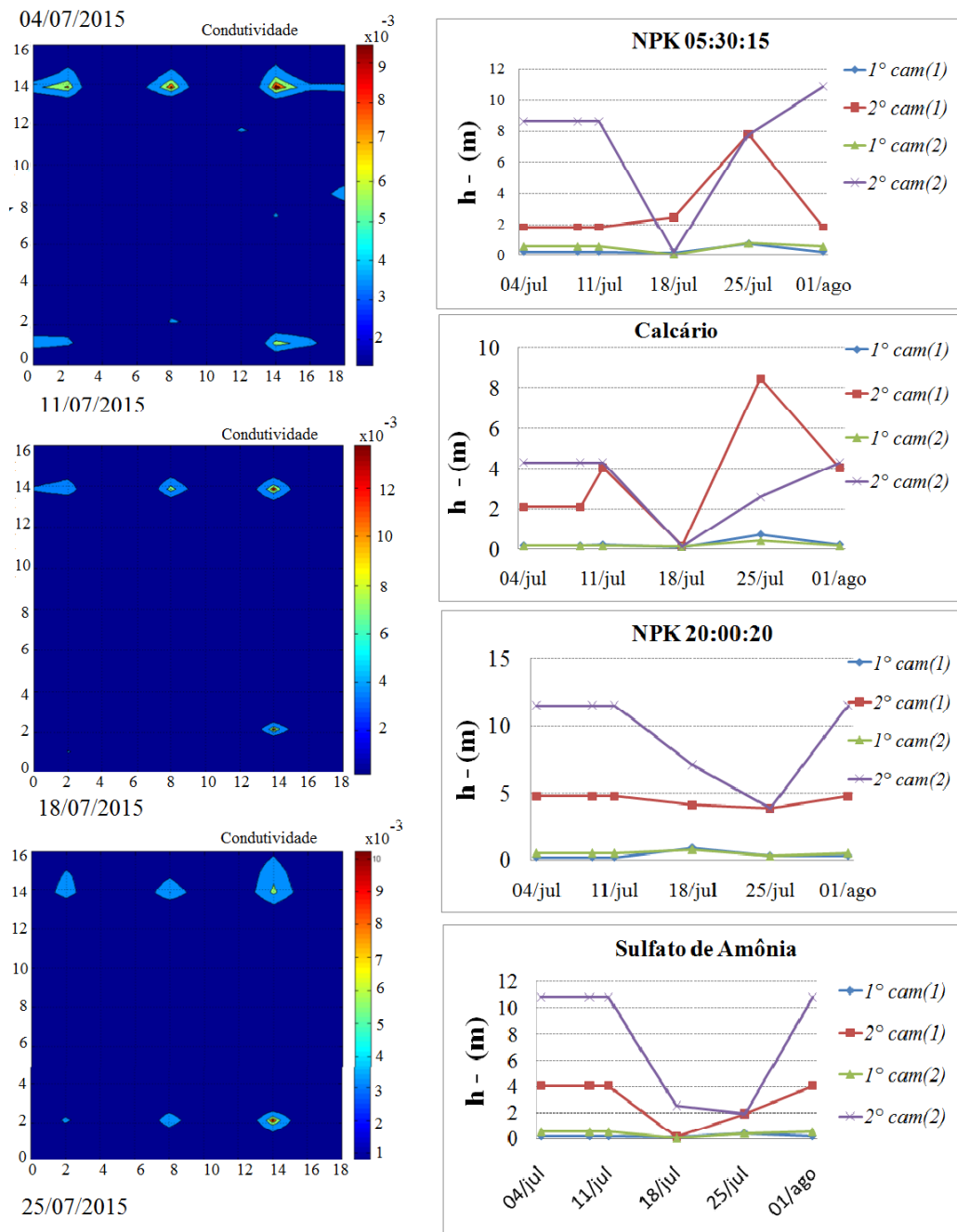


Figura 25 - Comportamento dinâmico das espessuras das camadas do solo.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que os métodos de prospecção geelétricos adotado neste trabalho, os métodos de Wenner do caminhamento elétrico e da estratificação em camadas verticais, se mostraram adequados para o monitoramento dos efeitos dinâmicos das reações eletroquímicas e mecânicas do solo, na presença de alguns dos mais comuns tipos de fertilizantes e do calcário, normalmente utilizados na agricultura, que influenciam nos parâmetros elétricos do solo, tais como: resistência elétrica, resistividade e condutividade elétrica.

Os resultados, da aplicação da metodologia do arranjo de Wenner em bancada laboratorial, se mostraram satisfatórios, para o propósito daquele estudo, em especial na necessidade de isolar o efeito que a umidade provoca nos parâmetros elétricos do solo, com a utilização da metodologia demonstrou que, mesmo para variações de umidade na ordem de 10%, as resistências do solo padrão, usado para aferir a metodologia, permaneceu praticamente invariáveis. Do solo padrão foi possível identificar uma função que pode encontrar o efeito que a água produz nos parâmetros elétricos do solo, e com isso permitiram, para as amostras contendo água, fertilizante e solo, estudar o efeito exclusivo dos fertilizantes no solo.

Foram observados efeitos considerados, dinamicamente iguais, porém, eletricamente opostos, em parte das amostras de bancada, com as mesmas amostras em campo. Os efeitos dinâmicos são semelhantes porque acontecerem no mesmo período, para os dois sistemas, bancada e campo, porém, eletricamente opostos, isto é, enquanto na bancada houve picos de resistências elétricas, no campo observou-se picos de condutividade elétrica. As condições de "contorno", isto é, as obvias limitações da amostra em vaso, cercadas pelo ar, acima e em volta, e a bancada logo abaixo, seguramente são a justificativas para esta inversão observada no aparato laboratorial.

Os testes de bancadas, onde foi utilizado um arranjo de Wenner, ajudaram a compreender, antecipadamente, o que poderia se esperar das dinâmicas envolvidas nas referidas reações químicas com efeitos nos parâmetros elétricos. O período destes testes foi de 45 dias, onde foi observado que após 30 dias, da aplicação dos insumos, a resistência elétrica aparente do solo se manteve constante, ou seja, com pouca variação. A partir das observações do teste em bancada, em específico do tempo para a estabilização dos parâmetros elétricos do solo, decidiu realizar os testes por um período de 30 dias, o

que veio a se mostrar um tempo curto demais, para se verificar os efeitos, esperados, da estabilização dos parâmetros elétricos no campo de testes.

Considerando-se que houve, uma relativa coerência, nas associações dos efeitos dinâmicos dos parâmetros elétricos do solo, nos dois processos metodológicos, o de bancada e o de campo, e que no caso da avaliação dos resultados de campo, pode-se inferir que haverá estabilização destes parâmetros geoeletricos, condutividade elétrica e espessura da segunda camada no solo a partir de um período superior a 30 dias.

Diante do exposto não se recomenda realizar avaliações, da distribuição dos insumos, em um período compreendido, entre o final da primeira semana e o início da quinta, tendo em vista que os resultados não se mostraram confiáveis.

Verificou-se que as amostras de fertilizantes alteraram as resistências elétricas do solo, de forma relativamente iguais, e proporcionais, às quantidades aplicadas, porém os resultados da estratificação em camadas verticais, estratificação 3D, mostraram resultados bem diferentes, em especial nas análises das espessuras das segundas camadas, que não só mostraram, variações peculiares para cada um dos fertilizantes, como também identificaram as variações produzidas pelo calcário, no caso deste, em particular, não foi identificado nas análises de condutividade elétrica do método do caminhamento elétrico.

Para o experimento em campo, os métodos geoeletricos, não invasivos, propostos neste trabalho, demonstraram de forma bastante sólida, que estes métodos de estudos de condutividade elétrica do solo, podem ser utilizados, como opção aos métodos invasivos tradicionais, em especial ao se considerar que, enquanto os mais conhecidos métodos tradicionais, mapeiam regiões discretas, na área sob estudo, os métodos geoeletrico, aqui estudados, podem mapear toda uma área, de forma contínua, produzindo resultados que podem ser eletronicamente armazenados e posteriormente ser confeccionados mapas, que permitirão analisar cada parte da área sob estudo.

REFERÊNCIAS

- BANTON, O.; SEGUIN, M. K.; CIMON, M. A. **Mapping Field-Scale Physical Properties of Soil with Electrical Resistivity**. 1ª.ed. SSSAJ: Soil Science Societies American Journal, v. 61, 1997.
- BRAGA, A. C. O. **Métodos Geométricos aplicados à hidrogeologia**. Universidade Estadual Paulista. Campus de Rio Claro. 1997.
- CAMINHA JUNIOR, I. C.; SEREPHIM, O. J.; GABRIEL, L. R. A. **Caracterização de uma área irrigada com efluente industrial através de análises químicas e da resistividade do solo**. Energia na Agricultura, Botucatu, v.13, n.4, p.40-54, 2000.
- CALIXTO, W. P. **Método Matemático e Computacional Aplicados a Prospecção Geométrica**. Tese de Doutorado, UFU, 2012.
- CALIXTO W. P.; COIMBRA, A. A. **3-D Soil Stratification Methodology for Geoelectrical Prospection**. IEEE Transactions on Power Delivery, 2012.
- CAMARÃO K. F.; MOURA, H. P. **Medidas Elétricas no Sítio Arqueológico AP - MA - 05: UNIFAP**. 62ª Reunião Anual da SBPC, Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 2010.
- CARDOSO R.A.; BENTO A. S.; MORESKI H. M. **Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da cultura de soja**. Ciências Biológicas e da Saúde, Londrina, v. 35, n. 2, p. 51-60, jul./dez. 2014.
- COSTA G. D.; SILVA M. A.; GILBERTO BUENO DEMÉTRIO G. B. **Influência da adubação nos atributos microbiológicos do solo na produção de milho silagem**. Synergismus Scientifica. UTFPR, Pato Branco. 2014.
- CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. **Application of soil electrical conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines**. Agronomy Journal, v. 95, n. 3, 2003.
- CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. **Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture**. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 46, n°. 1–3, p. 11–43, 2005.
- DE FARIA, C. M. B.; MENDES, A. M. S.; SILV, D. J. **Sistema de Produção de Melão**. Sistemas de Produção 5. EMBRAPA, 2010.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

EISENREICH, E. L. and M. **Electrical Conductivity Mapping for Precision on Agriculture**. Proceedings. Montpellier, Ecole National Superiure Agronomique: European Conference on Precision Agriculture, v. 3, 2001.

FAULIN, G. D. C. **Variabilidade Espacial do teor de água e sua influência na condutividade elétrica do solo**. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Dissertação de mestrado. 2005.

FRIEDMAN, S. P. **Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review**. Computers and Electronics in Agriculture, Amsterdam, v. 54, p.45-70, sept. 2005.

FURLAN, M. **Avaliação da utilização de ensaios geelétricos 2D para estudos arqueológicos em locais controlados**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo - USP, 2008.

GIMENEZ, L. M. **Relação da condutividade elétrica aparente com algumas propriedades físico-hídricas e com a variabilidade espacial dos solos**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz- ESALQ/USP. 2013.

JAYNES, D.B. **Improved soil mapping using electromagnetic induction surveys**. In: P.C. ROBERT, R.H. RUST and W.E. LARSON. International Conference on Precision Agriculture. Minneapolis, p.169-79, 1996.

KACHANOSKI, R. G.; GREGORICH, E. G.; WESENBECK, I. J. V. **Estimating spatial variation of soil water content using no contacting electromagnetic inductive methods**. Canadian Journal of Soil Science, v.48, p.715-22, Toronto, 1988.

KINDERMANN G.; CAMPAGNOLO, J. M. **Aterramento Elétrico**. Porto Alegre: Sagra - D.C. Luzzato, 1995.

McBRIDE, R. A.; GORDON, A. M.; SHRIVE, S. C. **Estimating forest soil quality from terrain. Measurement of apparent electrical conductivity**. Soil Science Society of American journal, v.54, p.255-260, 1990.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Editora Evangraf. 2010.

MOLIN, J. P. **Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção**. Engenharia Agrícola, v.25, n.2, p.420-426. Jaboticabal. Mai/ago. 2005.

MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; HAMMER, J. **Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção**. Engenharia Agrícola, v. 25 n.2, 2005.

MOLIN J.P.; RABELLO, L. M. **Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.31, n.1, 2011.

OLIVEIRA A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

RABELLO, L. M. **Condutividade elétrica do solo, tópicos e equipamentos**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. **Física do Solo**. Sociedade brasileira de Ciências do solo — Quirijin de Jong Van Lier. Viçosa, 298p. 2010.

RHOADES, J. D.; INGVALSON, R. D. **Determining Salinity in Soils with Soil Resistance Measurements**. Proceedings. SSAP: Soil Science of American Proceedings, v. 35, 1971.

RHOADES, J. D.; MANTEGHI, N.A.; SHOUSE, P. J.; ALVES, W. J. **Soil electrical conductivity and salinity: new formulations and calibrations**. Soil Science Society of American Journal. Madison, v.53, n.2, p.433-9, 1984.

RHOADES, J. D.; MANTEGHI, N. A.; SHOUSE, P. J.; ALVES, W. J. **Soil electrical conductivity and soil salinity: new formulations and calibrations**. Soil Science Society of America Journal. Madison, v. 53, p. 433-439, Dec. 1989.

RHOADES, P. A. C. R. J. D.; PRATHER, R. J. **Effects of liquid-phase electrical conductivity, water Content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity**. Soil Science Society of America Journal, v.40, p. 651-655. 1976.

ROZA, D. **Novidade no campo: Geotecnologias renovam a agricultura**. Revista InfoGEO, n.11 - jan/fev, 2000.

SAMOÜELIAN, A.; COUSIN, I.; TABBAGH, A; BRUAND, A; RICHARD, G. **Electrical resistivity survey in soil science: a review**. Soil and Tillage Research, vol. 83, n°2, p. 173–193, 2005.

SILVA C. L. B.; CRUZ, W. S. P. **Prospecção geométrica com mapeamento tridimensional**. IX Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão da UFG. 2012.

SOUZA FILHO O. A.; OLIVEIRA, R. G. **Interpretação e modelagens de dados de eletrorresistividade para locações de poços tubulares no aquífero fissural da área-piloto Juá, Irauçuba - Ceará**. Revista de Geologia, Universidade Federal do Ceará, v. 19, n. 1, p. 7-21, 2006.

TELFORD W.M.; GELDART, L. S. R. **Applied Geophysics**. Cambridge University Press, 1990.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. **Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens**. Ciência Rural, v.32, n.1, p.159-163, 2002.

VALENTE D. S. M.; QUEIROZ D. M.; PINTO F. A. C. **Relação entre condutividade elétrica aparente e propriedades do solo.** Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 4, p. 683-690, out-dez, 2012.

WENNER, F. A. **Method of Measuring Earth Resistivity.** 1. ed. Washington D.C.: Bulletin of the National Bureau of Standards, v. 12, 1916.

WILLIAMS, B. G.; HOEY, D. **The use of electromagnetic Induction to Detect the Spatial Variability of the Salt and Clay Content of Soil.** Australian Journal of Research, v.25, n.1, p.21-7, Melbourne, 1987.

APENDICE A
LISTAGEM DO PROGRAMA PARA PRODUIR MAPAS DE
CONDUTIVIDADE/RESISTIVIDADE ELÉTRICA NO MÉTODO DO
CAMINHAMENTO

```

all

%calculo das resistividades*****
%numero de linhas iso-resistividade
%espaçamento entre as hastes
%profundidade das hastes
b = sqrt(a^2 + 4*p^2);

%Zm = (4*pi*a*R)/(1+(2*a/b)-(2*a/c));
%Resistividade MEDIDA
%04/07
Rsm = [337 356 330 281 328 437 300 328 287 287;
290 288 319 253 281 255 349 354 266 266;
313 288 305 309 322 438 336 338 307 307;
298 372 336 285 340 283 326 294 292 292;
330 311 305 284 245 375 311 364 263 263;
380 351 263 273 403 289 332 272 305 305;
261 329 414 320 212 290 287 301 321 321;
378 340 254 297 344 332 283 285 237 237;
290 382 252 267 255 267 267 263 408 408;
371 285 469 330 267 319 308 293 277 277;
295 350 261 284 343 258 233 228 296 296;
326 339 384 246 301 228 308 320 290 290;
306 281 311 135 297 326 274 230 296 296;
302 354 367 246 388 224 251 291 248 248;
323 263 264 190.1 241 261 270 222 248;

%ResistênciaMEDIDA

Rs = interp2(Rsm,n);

Zs = (4*pi*a*Rs)/(1+(2*a/b)-          %Resistividade Zcs =
%condutividade MEDIDA
% %18/07
% Rmm = [372 344 288 262 290 270 354 225 277 274;
% 232 119.7 269 247 139.8 218 427 393 291 548;
% 220 284 304 305 230 317 318 30.1 268 476;
% 331 267 294 236 241 229 339 347 287 526;
% 283 270 281 325 330 292 386 299 296 399;
% 316 294 317 203 207 258 249 286 296 615;
% 261 267 267 311 250 238 268 280 304 400;
% 317 233 448 242 306 262 311 218 249 511;
% 260 260 314 592 218 236 278 293 341 468;
% 311 257 256 240 276 237 279 196.1 295 430;
% 250 263 273 365 289 298 270 288 300 660;
% 285 232 326 260 255 208 247 233 267 326;
% 258 286 216 310 279 304 264 237 279 619;
% 119.5 74.8 282 284 44.6 217 234 27.5 242 412;
% 236 201 273 255 206 250 275 226 238 455;
% 239 202 249 305 290 309 261 152 241 463];
%Resistência MEDIDA
%25/07/2015

```

```

Rmm = [296 243    290 265 213    256 325 221    290 335;
       253 313    241 232 261    280 276 236    255 652;
       319 128.9 274 300 90.8 268 291 37.4 256 410;
       268 274    309 220 263    210 276 296    254 483;
       316 245    228 279 222    302 236 253    290 501;
       333 255    291 248 185.3 250 248 217    296 504;
       158.8      251 271 264    237 240 265    263 280 407;
       355 266    268 215 180.3 252 237 217    256 400;
       245 225    245 249 245    251 238 286    315 376;
       286 222    268 286 234    265 252 196.1 291 465;
       302 271    260 239 215    269 253 248    250 350;
       240 217    227 291 284    239 203 204    270 546;
       306 276    254 248 272    281 277 210    266 546;
       245 105.3 266 239 84.6 224 218 73.5 210 378;
       239 145.1 211 237 174.3 268 226 102.4 234 416;
       152 206    304 257 268    353 222 166.2 261 415];

Rm = interp2(Rmm,n);

Zm = (4*pi*a*Rm)/(1+(2*a/b)-          %Resistividade CALCULADA
      %condutividade CALCULADA

                                     % divisoes em x alterei de (Rm,2) para
(Rm,1)

                                     % divisoes em y

%grafico resistividade*****
figure(1)
subplot(1,3,1);
[C,h] = contourf(X,Y,Zs,n); colorbar;
on;
square
%set(h,'ShowText','on','TextStep',get(h,'LevelStep')*2);
'Resistividade-04/07/2015' 'FontSize',16);
'X' 'FontSize',16);
'Y' 'FontSize',16);

subplot(1,3,2);
[C,h] = contourf(X,Y,Zm,n); colorbar;
on;
square
%set(h,'ShowText','on','TextStep',get(h,'LevelStep')*2);
'Resistividade- 25/07/2015' 'FontSize',16);
'X' 'FontSize',16);
'Y' 'FontSize'

% subplot(1,3,3);
% [C,h] = contourf(X,Y,abs(Zs-Zm),n); colorbar;
% grid on;
% axis square;
% %set(h,'ShowText','on','TextStep',get(h,'LevelStep')*2);
% title('Subtração Resistividade','FontSize',16);
% xlabel('X','FontSize',16);
% ylabel('Y','FontSize',16);
%grafico condutividade*****

figure(2);

```



```

subplot(1,3,1);
[C,h] = contourf(X,Y,Zcs,n); colorbar;
on;
square
%set(h,'ShowText','on','TextStep',get(h,'LevelStep')*2);
'Condutividade-04/07' 'FontSize',16);
'X' 'FontSize',16);
'Y' 'FontSize',16);

subplot(1,3,2);
[C,h] = contourf(X,Y,Zcm,n); colorbar;
on;
square
%set(h,'ShowText','on','TextStep',get(h,'LevelStep')*2);
'Condutividade-25/07/2015' 'FontSize',16);
'X' 'FontSize',16);
'Y' 'FontSize'

% subplot(1,3,3);
% [C,h] = contourf(X,Y,abs(Zcs-Zcm),n); colorbar;
% grid on;
% axis square;
% %set(h,'ShowText','on','TextStep',get(h,'LevelStep')*2);
% title('Subtração Condutividade','FontSize',16);
% xlabel('X','FontSize',16);
% ylabel('Y','FontSize',16);

```

APENDICE B
LISTAGEM DO PROGRAMA PARA PRODUIZIR MAPAS DE
ESTRATIFICAÇÃO EM CAMADAS HORIZONTAIS - 3D

```

all          off          all;

%
% A      = [0      2      3];
% Cam1 = -[0.17  0.16  0.15;
%          0.51  0.50  0.49;
%          0.19  0.17  0.17];
%
% Cam2 = -[6.01  7.23  9.13;
%          9.67  10.89 12.79;
%          12.92 14.14 16.04];%dia 04/07
%
% A      = [0      2      3];
% Cam1 = -[0.16  0.35  0.15;
%          0.17  0.36  0.16;
%          0.16  0.35  0.15];
%
% Cam2 = -[15.73 13.16 16.97
%          7.73  5.15  8.96
%          7.32  4.74  8.55];%dia 09/07
%
% % A      = [0      2      3];
% Cam1 = -[0.28  0.155  0.32;
%          0.29  0.17  0.33;
%          0.29  0.17  0.33];
%
% Cam2 = -[11.36 11.60 18.875;
%          11.20 11.44 18.71;
%          11.39 11.63 18.91];%dia 11/07
%
% A      = [0      2      3];
% Cam1 = -[0.37  0.50  1.57;
%          0.27  0.39  1.46;
%          0.22  0.35  1.42];
%
% Cam2 = -[8.80  4.15  12.29;
%          5.30  0.65  8.79;
%          14.23 9.58 17.72];%dia 18/07
%
% A      = [0      2      3];
% Cam1 = -[0.96  0.37  0.35;
%          0.92  0.33  0.31;
%          0.99  0.40  0.38];
%
% Cam2 = -[11.70 1.35  7.17
%          12.83 2.48  8.30
%          11.51 1.16  6.98];%dia 25/07

A      = [0      2      3];
Cam1 = -[0.38  0.36  0.36;
         0.33  0.31  0.31];

```

```

        0.95 0.93 0.93];

Cam2 = - [2.25  6.32  6.32;
          3.52  7.59  7.59;

%dia 01/08

%Primeira Camada
for ia = 1:size(Cam1,1)
    Zh1(ia,:) = 'spline' %horizontal 1
end

for ib = 1:size(Zh1,2)
    'spline'
end

%Segunda Camada
for ia = 1:size(Cam2,1)
    'spline' %horizontal 1
end

for ib = 1:size(Zh2,2)
    'spline'
end

for
for
if z1(ic,id) > 0

end
if z2(ic,id) > z1(ic,id)

end
end
end

%numero de área mais 1
Zmin = ones(Na,Na)*min(min(z2));
B = linspace(A(1),A(end),Na);
[X,Y] = meshgrid(B);

[x,y] = meshgrid(a);
    % primeira camada
on;
    % intermediaria
    % Ultima camada
% title('Resistividade aparente - Solo Molhado','FontSize',16);
    'Comprimento [m]' 'FontSize',18);
    'Largura [m]' 'FontSize',18);
    'Profundidade da Camada [m]' 'FontSize',18);

off
% x=xdata(1,:);
% y=ydata(:,1)';

```