

Universidade de São Paulo – USP

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ

Correlação da condutividade elétrica com atributos físico-químicos do solo

Relatório Final – Bolsa de Iniciação Científica
PIBIC/USP/CNPq

Orientador: Prof. Dr. José Paulo Molin
Aluno: Marston Hércules Domingues Franceschini

PIRACICABA
Estado de São Paulo – Brasil
Agosto – 2007

1. Introdução

A agricultura de precisão pode ser definida como o gerenciamento da produção levando em consideração a variabilidade espacial tanto da produtividade quanto dos fatores relacionados a ela (Faulin, 2005). Visto que a fertilidade do solo tem sido apontada como principal promotora da variabilidade espacial da produtividade, a determinação das características do solo é essencial na averiguação das causas da variação espacial da produção. Para que seja efetuada a avaliação das características de fertilidade é necessário amostragem em grande quantidade, especialmente se o objetivo for detectar de maneira confiável a variação dos fatores que afetam a produção. A análise de grande quantidade de amostras de solo tem custo proibitivo, o que tem estimulado o desenvolvimento de sensores, para monitoramento das propriedades físico-químicas dos solos, que possibilitem amostragens de menor custo.

Neste contexto os sensores de condutividade elétrica surgem como uma forma barata e rápida de coletar grande quantidade de dados, os quais abrangem diversas causas da variabilidade espacial da produtividade ligadas às características do solo. Os valores de condutividade elétrica do solo podem ser relacionados a vários fatores, como o teor de água, o teor de argila, a composição química do solo, os íons trocáveis e a interação entre íons trocáveis e não trocáveis (Nadler & Frenkel, 1980). São citados também, por diferentes autores, como fatores que exercem influência sobre a condutividade elétrica de um solo a temperatura, a densidade, a quantidade e composição de colóides, a concentração dos eletrólitos na água dos poros e o teor de matéria orgânica do solo (Rhoades et al., 1976; Cook et al., 1992).

Dois principais métodos podem ser utilizados para a medição da condutividade elétrica do solo: indução eletromagnética e contato direto (Rhoades & Corwin, 1984). O primeiro método, segundo Castro (2004), utiliza um sensor por indução eletromagnética, o qual não entra em contato com o solo, medindo a condutividade elétrica em duas profundidades, até 1,20m ou até 0,30m, dependendo da posição adotada pelo sensor em relação ao solo, vertical (profundo) ou horizontal (superficial). Já o segundo método, por contato direto, utiliza pelo menos quatro eletrodos que entram em contato direto com o solo, dois injetando uma corrente no solo e os outros medindo a voltagem resultante (Lund et al., 2000). A condutividade elétrica é medida, por contato direto, a profundidades que são determinadas pelo espaçamento entre os sensores em contato com o solo (Fritz et al., 1998). O método de mensuração da condutividade elétrica por indução eletromagnética do solo requer cuidados no manuseio, pois não pode sofrer interferência de metais durante a sua operação; deve-se atentar para os trajés do operador e para o veículo no qual é fixado o aparelho, os quais se contiverem metais, devem ser mantidos a uma distância que não interfira no sinal (Faulin, 2005). Já o método do contato direto utiliza equipamentos de construção robusta, livres de

interferência por metais e que não necessitam de calibração diária, fazendo com que fosse difundido na agricultura (Hartsock et al., 2000).

A capacidade de armazenamento de água e do seu fornecimento para as plantas exerce grande influência sobre a variação da produtividade em uma lavoura (Morgan et al., 2000). A variabilidade da produção também pode ocorrer devido ao conteúdo de argila de um solo devido à atuação desta característica sobre a capacidade de armazenar água e nutrientes (Jaynes, 1996). Considerando estes fatos observa-se a grande necessidade da avaliação da variação da umidade e textura de um solo para identificar as causas da variabilidade espacial da produção. A condutividade elétrica apresenta relação direta com o conteúdo de água e de argila de um solo, logo os sensores de condutividade elétrica podem ser de grande utilidade na detecção da variação espacial da produtividade. Entretanto, atualmente os valores de condutividade elétrica só podem ser interpretados com o auxílio de amostras de umidade do solo como parâmetro. Evidencia-se assim a necessidade da determinação da intensidade da relação entre a condutividade elétrica e os fatores que a afetam para que seja possível a utilização desta fonte de dados de maneira mais acurada e precisa na determinação das características físico-químicas do solo, relacionadas à produção e à sua variabilidade.

Através deste trabalho pretende-se medir a intensidade com que as variações de umidade e textura do solo afetam os valores de condutividade elétrica do mesmo, assim como avaliar a interferência dos valores de textura na umidade do solo.

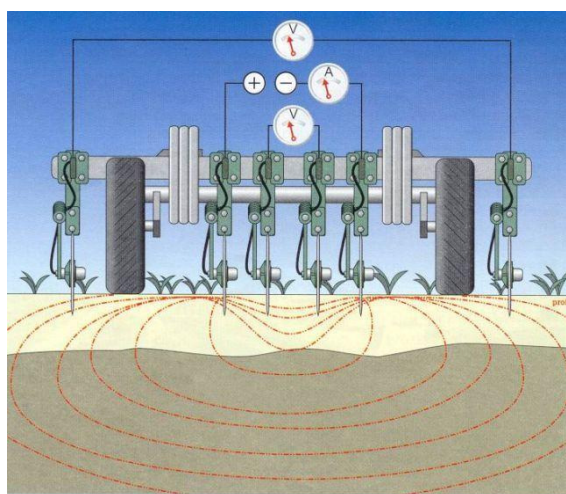
2. Material e Métodos

Para a coleta dos dados foram delimitadas seis áreas, de 30m² cada uma (3m por 10m), em um talhão localizado no campus “Luiz de Queiroz” (ESALQ) da USP, Piracicaba, SP. As áreas foram delimitadas no local de tal forma que apresentassem grande variação textural entre elas (Tabela 3.1) e as mensurações de condutividade elétrica e umidade do solo foram efetuadas em três datas distintas (04/10/2006, 10/11/2006 e 07/12/2006), visando obter condições de umidade diferentes no ambiente.

Para a coleta dos dados de condutividade elétrica do solo foi utilizado o equipamento Veris[®] 3100 (Figura 2.1), que mede a condutividade elétrica pelo contato direto inferindo valores para camada superficial (0m a 0,30m) e profunda (0m a 0,90m). Para este estudo consideraram-se apenas as mensurações na camada superficial (0m a 0,30m). O equipamento é constituído de seis discos de corte lisos que cortam resíduos vegetais e penetram no solo funcionando como eletrodos. Assim, devidamente espaçados, possibilitam a medição da condutividade elétrica nas respectivas camadas, pois dois emitem a corrente elétrica que percorre o solo e os quatro discos restantes, um par para

cada profundidade, medem a voltagem resultante. O equipamento possui um coletor de dados próprios com microprocessador e visor que possibilita a leitura de dados mensurados, assim como gravar e exportar os mesmos.

A condutividade elétrica foi medida em onze pontos espaçados de modo semelhante dentro de cada uma das seis áreas, nas três visitas efetuadas. Os valores de condutividade elétrica foram obtidos de modo estacionário, ou seja, com o aparelho parado durante a mensuração para determinado ponto, sendo lidos e anotados, em tempo real, pelo operador. Antes de iniciar as mensurações o equipamento passava por uma série de testes recomendados pelo fabricante a fim de certificar-se o isolamento dos eletrodos e seu correto funcionamento.



a



b



c

Figura 2.1 - Esquema de funcionamento do equipamento Veris[®] 3100 para mensuração da condutividade elétrica, configurado no estudo para realizar leituras em duas camadas, de 0m a 0,30m e de 0m a 0,90m (a); foto do coletor de dados do aparelho (b); foto do aparelho coletando informações numa das áreas estabelecidas para o estudo (c).

A umidade das áreas foi medida pelo método direto de mensuração denominado método gravimétrico (EMBRAPA, 1999). Para isto uma amostra composta de três sub-amostras foi coletada em cada área, logo após cada uma das mensurações de condutividade elétrica, utilizando um trado de rosca. As amostras obtidas foram colocadas em cápsulas de alumínio, vedadas com fita crepe e levadas ao laboratório para que a umidade presente fosse extraída com o auxílio de uma estufa, a 105°C por vinte e quatro horas, efetuando-se a pesagem antes e depois do processo de retirada de água das amostras e desta forma medindo-se o teor de água contido em cada amostra de solo. Para a caracterização da textura do solo na profundidade estudada (0m a 0,30m) uma amostra única, composta por três sub-amostras, foi obtida em cada área, utilizando-se um trado de rosca, sendo submetida ao método granulométrico de determinação da textura.

Os dados obtidos em campo através das amostras de condutividade elétrica, umidade e textura do solo foram organizados utilizando-se o programa computacional Microsoft® Office Excel 2003 para que fossem eliminados possíveis valores negativos de leitura, os quais podem ser observados durante as medições de condutividade elétrica, sendo cada valor negativo, apresentado pelo aparelho, correspondente, segundo o manual do fabricante, a um fator que impossibilitou a leitura, como a falta de contato dos discos com o solo, voltagens acima ou abaixo dos limites. O programa computacional Microsoft® Office Excel 2003 foi utilizado também para efetuar a estatística descritiva dos dados reunidos (Tabela 3.2); para obter os gráficos de regressão polinomiais de primeiro e segundo grau, entre as características do solo estudadas; para realizar a análise de variância do conjunto de dados, como proposto por Pimentel-Gomes & Garcia (2002), pelo teste F de Snedecor, teste das hipóteses a um nível de significância de 5% e 1%, quando adotadas equações polinomiais do primeiro grau, a fim de avaliar a significância dos coeficientes de determinação (R^2) obtidos como resultado da análise de regressão (Figura 3.1, Figura 3.2 e Figura 3.3). O programa computacional SAS (Statistical Analysis System) foi utilizado, como proposto também por Pimentel-Gomes & Garcia (2002), para realizar a análise de variância nos casos de regressão polinomial do segundo grau, pelo teste F de Snedecor, possibilitando a escolha entre o melhor modelo de representação dos dados a ser adotado, ou seja, permitiu a comparação dos modelos de regressão polinomial, do primeiro e segundo grau, sendo escolhidos os modelos, significativos, com maior coeficiente de determinação (Figura 3.1, Figura 3.2 e Figura 3.3).

3. Resultados e Discussão

A análise da textura do solo das áreas estudadas foi efetuada e os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 3.1. Percebe-se a grande variação textural entre as áreas, um dos fatores

atuantes na variação da condutividade elétrica quando comparados os valores obtidos para as diferentes áreas em uma visita.

Tabela 3.1 - Resultado da análise da textura das áreas estudadas.

Áreas	Argila	Silte (g/1000g)	Areia
1	370,00	140,90	489,10
2	302,50	153,40	544,10
3	239,00	190,80	570,20
4	268,40	123,40	608,20
5	110,60	142,00	747,40
6	91,90	73,40	834,70

Nenhum resultado negativo de condutividade elétrica foi registrado durante as mensurações, talvez isto se deva ao fato da coleta de dados ter ocorrido de modo diferente do normal, ou seja, a obtenção de dados não foi feita de modo dinâmico e sim de modo estacionário, o que permitiu maior controle sobre os dados obtidos em cada área, evitando-se a perda do contato dos discos com o solo. Após assegurar-se de que não havia valores negativos de condutividade elétrica nos dados coletados foi feita a estatística descritiva das informações resultantes (Tabela 3.2).

Através de dados de umidade relativa do ar, obtidos no site da web do Posto Meteorológico Automatizado do Departamento de Ciências Exatas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (2007), para os dias em que foram efetuadas as mensurações, foi possível observar que houve aquisição de dados sob três condições de umidade do ambiente diferentes. Na primeira mensuração (condição de umidade 1), realizada no dia 04/10/2006, a umidade relativa média do ar registrada foi de 86,7%; já na segunda mensuração (condição de umidade 2), realizada no dia 10/11/2006, a umidade relativa média do ar foi de 74,1%; e na terceira e última mensuração (condição de umidade 3), efetuada no dia 07/12/2006, a umidade relativa média do ar foi de 92,9%.

Tabela 3.2 - Estatística descritiva dos valores de condutividade elétrica do solo obtidos ao longo do experimento e valores de umidade gravimétrica do solo

		(Continua)							
		Condutividade elétrica ($\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$)							
Tratamentos Aplicados		Média Aritmética	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)	Assimetria	Curtose	Umidade Gravimétrica (%)
Áreas	Condições de umidade								
	1	12,04	14,0	10,0	1,24	10,31	-0,279	-0,650	12,54
1	2	6,90	9,2	3,0	1,94	28,17	-0,826	0,175	12,39
	3	13,35	18,1	10,4	2,42	18,10	0,604	0,002	16,26

Tabela 3.2 - Estatística descritiva dos valores de condutividade elétrica do solo obtidos ao longo do experimento e valores de umidade gravimétrica do solo

Tratamentos Aplicados		Condutividade elétrica (mS.m ⁻¹)							(Conclusão)
Áreas	Condições de umidade	Média Aritmética	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)	Assimetria	Curtose	Umidade Gravimétrica (%)
2	1	5,84	6,7	4,6	0,75	12,83	-0,514	-0,857	11,59
	2	3,09	4,3	2,4	0,50	16,01	1,325	3,240	8,10
	3	10,46	11,6	8,8	0,86	8,17	-0,475	-0,215	16,74
3	1	8,31	10,8	6,8	1,16	13,94	1,143	1,127	10,49
	2	3,66	5,1	2,8	0,66	17,95	0,833	1,056	9,42
	3	9,2	10,0	8,2	0,62	6,75	-0,523	-1,191	14,61
4	1	5,87	7,3	4,9	0,67	11,43	0,939	0,944	8,41
	2	3,28	4,2	2,3	0,53	16,06	0,020	0,266	6,69
	3	7,75	8,3	7,2	0,27	3,53	0,132	2,031	13,28
5	1	3,53	4,2	3,0	0,42	11,90	0,689	-0,982	5,69
	2	1,85	2,5	1,5	0,28	15,01	1,353	2,297	2,85
	3	4,28	5,0	3,6	0,37	8,79	0,063	0,627	11,19
6	1	2,31	2,6	2,0	0,22	9,38	-0,142	-1,159	4,78
	2	1,61	2,0	1,3	0,22	13,46	0,363	-0,787	2,05
	3	3,06	3,5	2,6	0,29	9,42	-0,242	-0,330	7,91

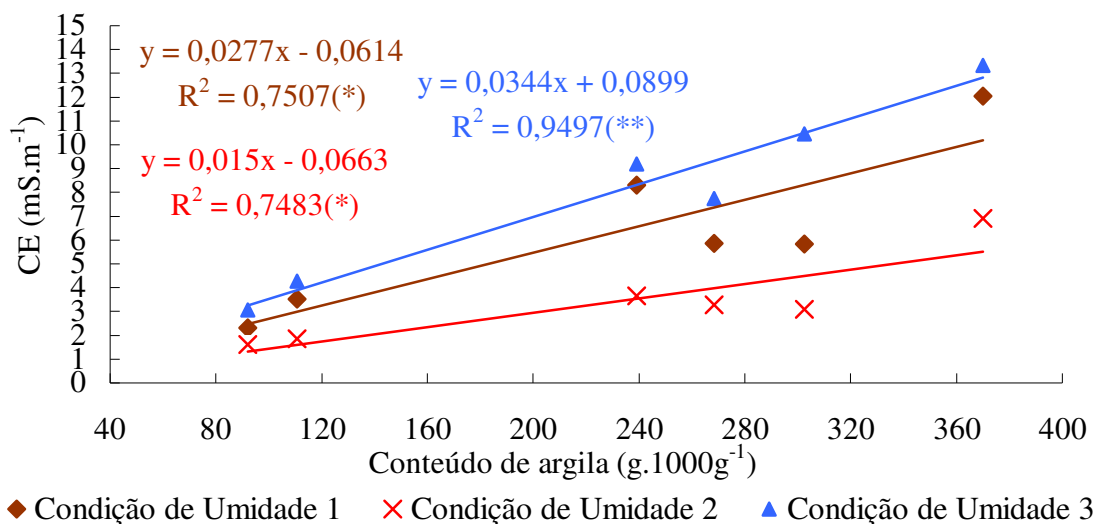
Os dados demonstram grande variação nos valores obtidos de condutividade elétrica média do solo quando comparadas áreas diferentes em mesmas épocas e a mesma área em ocasiões deferentes, o que pode ser explicado pela relação da condutividade elétrica com os teores de água e argila do solo, relação esta observada por vários autores (Rhoades et al., 1976; Jaynes, 1996).

Pode-se observar que os valores de condutividade elétrica média variaram em cada área em função da época de coleta dos dados. Esta variação pode ser atribuída à variação no conteúdo de água do solo, visto que em curto espaço de tempo a textura do solo não varia, segundo Domsch & Giebel (2001), e pode ser considerada como constante. É importante ressaltar também que a variação dos dados de condutividade elétrica média, quando comparadas áreas diferentes na mesma época, pode ser atribuída aos diferentes conteúdos de argila em cada área, ou seja, a propriedade da argila de reter mais água e também de conduzir mais eletricidade que areia ou silte, já que a condição de umidade no ambiente de estudo era igual para todas as áreas numa mesma mensuração.

Na análise de regressão entre condutividade elétrica e o conteúdo de argila do solo (Figura 3.1) adotaram-se equações polinomiais de primeiro grau obtendo-se altos coeficientes de determinação (R^2), os quais bastante significativos, e retas ascendentes ajustadas aos dados. Assim quanto maior o conteúdo de argila apresentado pelo solo, na área de estudo, maiores foram os valores de condutividade elétrica, ou seja, considerando que numa mensuração a condição de umidade no ambiente para todas as áreas de estudo era a mesma, a variação na condutividade elétrica do solo, entre áreas diferentes, se deu devido ao aumento da quantidade de água armazenada no solo conforme se aumentava o conteúdo de argila no mesmo e pela maior capacidade de conduzir eletricidade que a argila confere ao solo.

Já para a análise de regressão entre a condutividade elétrica e a umidade do solo (Figura 3.2) foi escolhida a equação polinomial de segundo grau como a melhor forma de representação dos dados, já que o coeficiente de determinação (R^2) se mostrou significativo e mais elevado para a equação polinomial do segundo grau do que para a equação polinomial do primeiro grau. A tendência ascendente, mostrada pelos dados, significa que quanto maior a umidade (conteúdo de água no solo), medida na área de estudo, maiores foram os valores de condutividade elétrica do solo encontrados na área. Esta variação da condutividade elétrica ocasionada pela variação da quantidade de água contida no solo é evidenciada pela variação de umidade, numa mesma área, nas três mensurações efetuadas, pela variação da umidade do ambiente; e pela variação da umidade, nas diferentes áreas, para a mesma condição de umidade (mensuração), devido à variação da textura entre as diferentes áreas utilizadas no estudo.

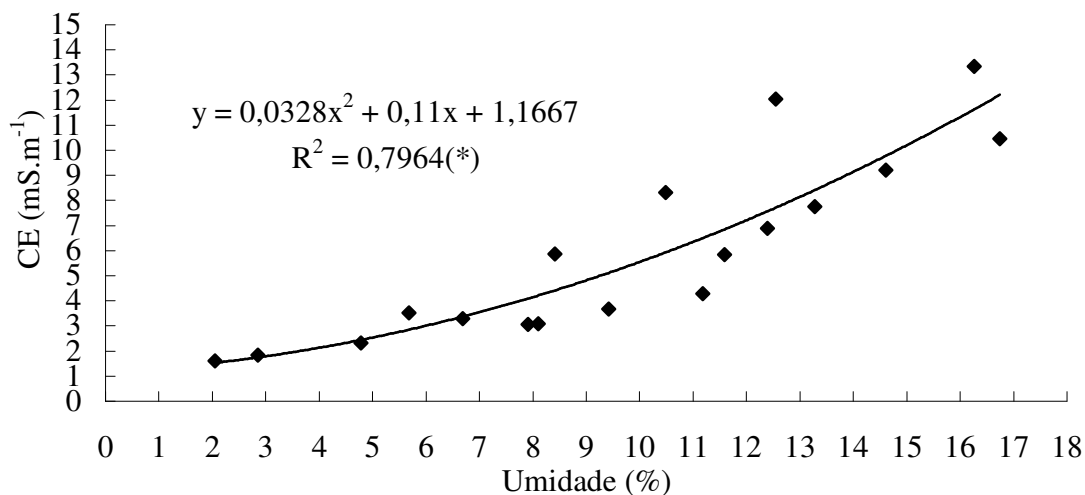
Foi realizada também a análise de regressão entre a umidade do solo, conteúdo de água, e o conteúdo de argila do mesmo (Figura 3.3). Neste caso adotaram-se equações polinomiais de primeiro grau, as quais apresentaram coeficientes de determinação (R^2) altos e significativos e retas ascendentes ajustadas aos dados. Sendo assim, quanto maior o conteúdo de argila do solo medido numa área maior foi o conteúdo de água armazenado nesta, considerando-se a mesma condição de umidade no ambiente para todas as áreas numa mesma mensuração.



(*) Valor estatisticamente significativo, pelo teste F, com nível de significância de 5%.

(**) Valor estatisticamente significativo, pelo teste F, com nível de significância de 1%.

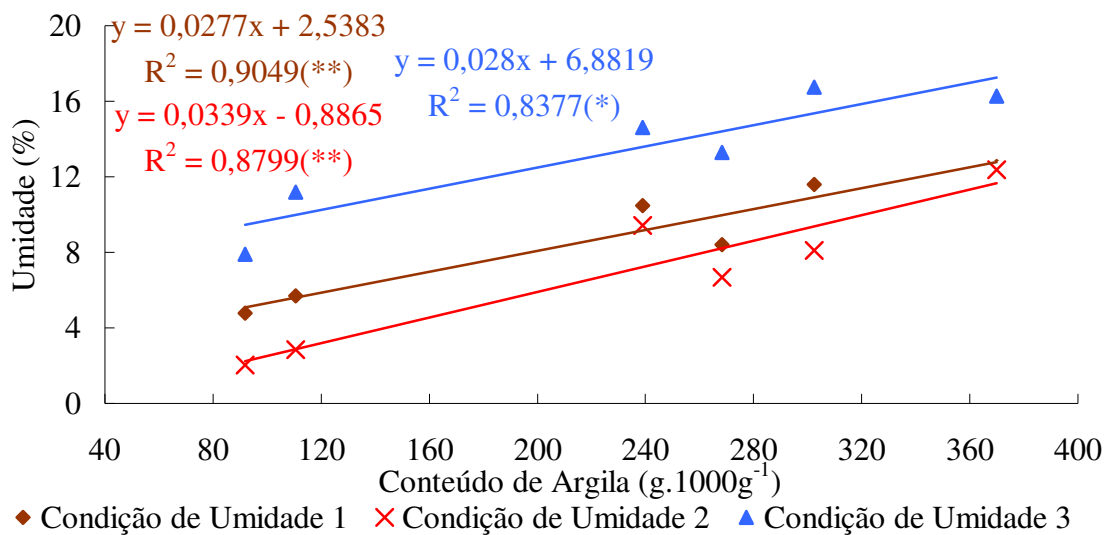
Figura 3.1 – Análise de regressão entre a condutividade elétrica e o conteúdo de argila do solo para as três condições de umidade do ambiente nas áreas no estudo.



(*) Valor estatisticamente significativo, pelo teste F, com nível de significância de 5%.

(**) Valor estatisticamente significativo, pelo teste F, com nível de significância de 1%.

Figura 3.2 – Análise de regressão entre a condutividade elétrica e a umidade do solo para as três condições de umidade do ambiente nas áreas no estudo.



(*) Valor estatisticamente significativo, pelo teste F, com nível de significância de 5%.

(**) Valor estatisticamente significativo, pelo teste F, com nível de significância de 1%.

Figura 3.3 – Análise de regressão entre a umidade e o conteúdo de argila do solo para as três condições de umidade do ambiente nas áreas nos estudo.

4. Conclusões

Pelos valores elevados dos coeficientes de determinação (R^2) é possível afirmar uma alta dependência entre os fatores estudados podendo-se concluir que houve grande interação principalmente entre a condutividade elétrica do solo e a sua textura. As correlações entre umidade e condutividade elétrica também foram elevadas, o que demonstra o grande potencial que a medição da condutividade elétrica do solo tem como ferramenta para facilitar e baratear o processo de obtenção das características físicas e químicas do solo.

5. Bibliografia Citada

- CASTRO, C.N. Definição de unidades de gerenciamento do solo por meio de sua condutividade elétrica e variáveis físico-químicas. Piracicaba, 2004. 131 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- COOK, P.G.; WALKER, G.R.; BUSELLI, G.; POTTS, I.; DOODS, A.R. The application of electromagnetic techniques to groundwater recharges investigations. **Journal of Hydrology**, v.30, p.201-229, 1992.
- DOMSCH, H.; GIEBEL, A. Electrical conductivity of soils typical for the state of Brandenburg in Germany (compact disc). In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Montpellier, 2001. **Proceedings**. Montpellier: École Nationale Supérieure Agronomique, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.

FAULIN, G.D.C. Variabilidade espacial do teor de água sua influência na condutividade elétrica o solo, 2005. 52p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

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

HARTSOCK, N.G.; MUELLER, T.G.; THOMAS, G.W.; BARNHISEL, R.I.; WELLS, K.L.; SHEARER, S.A. Soil electrical conductivity variability (compact disc). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., Bloomington, 2000. **Proceedings**. Bloomington: ASA;CSSA;SSSA, 2000.

JAYNES, D.B. Improved soil mapping using electromagnetic induction surveys. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Minneapolis: s. ed., 1996. p. 169-179.

LUND, E.D.; COLIN, P.E.; CHRISTY, D.; DRUMMOND, P.E. Using yield and soil electrical conductivity maps to derive crop production performance information (compact disc). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., Madison, 2000, **Proceedings**. Madison: ASA;CSSA;SSSA, 2000.

MORGAN, C.L.S.; NORMAN, J.M.; WOLKOLSKI, R.P.; LOWERY, B.; MORGAN, G.D.; SCHULER, R. Two approaches to mapping plant available water: em-38 measurements and inverse yield modeling (compact disc). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., Bloomington, 2000. **Proceedings**. Bloomington: ASA;CSSA; SSSA, 2000.

NADLER, A.; FRENKEL, H. Determination of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity measurements by the four electrode method. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, n,5, p. 1216-1221, 1980.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

POSTO METEOROLÓGICO AUTOMATIZADO DO DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS DA ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”. Dados diários. Disponível no site: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/lce/automatica/pagina5.html>. Acesso em: 10 de ago. de 2007.

RHOADES, J.D.; CORWIN, D.L. Measurement of inverted electrical conductivity profiles using electromagnetic induction. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.288-291, 1984.

RHOADES, J.D.; RAATS, P.A.C.; 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.

Anexos

Dificuldades observadas

Como citado anteriormente a maior dificuldade enfrentada durante o estudo ocorreu na obtenção de dados em campo devido à dependência de fatores climáticos para efetuar as amostragens, considerando que as amostras de umidade e de condutividade elétrica do solo deveriam ser obtidas na mesma ocasião, não podendo haver chuvas durante a realização das

amostragens. Isto ocasionou a perda de algumas visitas ao campo, mas não comprometeu a qualidade dos dados utilizados no trabalho.

Próximos passos

Como próximos passos o delineamento de um experimento com maior faixa de variação textural entre as áreas a serem estudadas; com repetições de parcelas para cada área, com textura diferente; e com maior variação de umidade no ambiente, e conseqüentemente no solo, possibilitariam uma melhor avaliação estatística dos resultados obtidos para também uma melhor caracterização do comportamento da condutividade elétrica do solo em relação à textura e umidade do mesmo.

Publicações Resultantes

O presente trabalho originou, até o momento, um artigo, aceito para apresentação oral em congresso e publicação nos anais do mesmo, sendo este artigo:

FRANCESCHINI, M.H.D.; MOLIN, J.P.; SPEKKEN, M.; COLAÇO, A.F. Relação entre a condutividade elétrica, o conteúdo de água e a textura do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 6., 2007, São Pedro. No prelo.