

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS EM
UM SOLO SALINO-SÓDICO**

JOÃO JÁCOME DE OLIVEIRA

CAMPINA GRANDE-PB

MARÇO-1998

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS EM UM
SOLO SALINO-SÓDICO**

**JOÃO JÁCOME DE OLIVEIRA
ENGENHEIRO AGRÔNOMO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para a obten-
ção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADORA: PROF^a. Dr^a. LÚCIA HELENA GARÓFALO CHAVES

CO-ORIENTADOR: PROF^o. Dr. JOSÉ ELENILDO QUEIROZ

CAMPINA GRANDE-PB

MARÇO-1998



048v Oliveira, Joao Jacome de
Variabilidade espacial de características químicas em um solo salino-sódico / Joao Jacome de Oliveira. - Campina Grande, 1998.
98 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Solos - Propriedades Químicas 2. Solo Salino - Variabilidade Espacial 3. Solo Salino - Dependência Espacial 4. Dissertação I. Chaves, Lucia Helena Garofalo II. Queiroz, Jose Elenildo III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB)

CDU 631.41(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

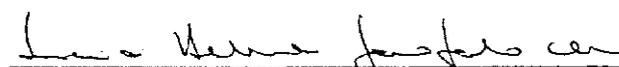
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

JOÃO JÁCOME DE OLIVEIRA

Título: "Variabilidade espacial de características químicas em um solo salino-sódico".

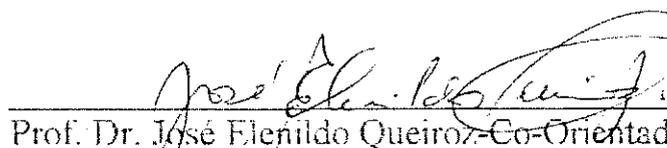
COMISSÃO EXAMINADORA

PARECER



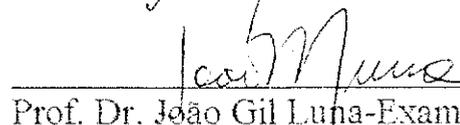
Prof. Dra. Lúcia Helena G. Chaves-Orientadora

Aprovado com distinção



Prof. Dr. José Elenildo Queiroz-Co-Orientador

APROVADO COM DISTINÇÃO



Prof. Dr. João Gil Luna-Examinador

Aprovado com distinção

Campina Grande, 16 de março de 1998

À meus pais Antonio Jácome de Araújo e Raimunda Maria de Oliveira, pelo incansável incentivo à minha formação profissional, pela imensurável compreensão e amor dedicados durante toda minha vida

DEDICO

Aos meus irmãos, Francisca, Maria, Betranzaci, Lenira, Lucinete, Jaziel e Joseildo, pela convivência, amor e carinho que sempre estiveram presentes na minha vida.

Aos meus cunhados Alexandre, Inácio, Luís, Roberto e Netinha, pelo eterno laço de amizade e imensurável companheirismo e apoio sempre constante.

A todos meus sobrinhos, pela amizade e belo convívio familiar.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e que nos dá força para enfrentar os desafios.

Ao Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Dr. Pedro Dantas Fernandes pelo reconhecimento e apoio prestado a minha pessoa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e apoio financeiro.

A Professora Dr^a. Lúcia Helena Garófalo Chaves, pela orientação, amizade e consideração sempre constantes.

Ao Professor Dr. José Elenildo Queiroz pela co-orientação sempre solícita e pelas manifestações de apreço.

Ao Professor Dr. João Gil de Luna pela valiosa colaboração nas análises estatísticas.

Ao Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola da UFPB, pela realização das análises de solo.

Ao Pesquisador M.Sc. Aurelir Barreto da Embrapa/Algodão pelo apoio e consideração prestados.

Aos meus colegas de Curso de pós-graduação, José Rodrigues Pereira, Everaldo Mariano Gomes, Ênio Farias da Nóbrega, Ricardo Brito de Sá, Joaquim José de Carvalho Lázaro da Costa, João Rodrigues, Fábio Agra, Gutemberg da Silva Silvino, Robson Paulo Pina, Francisco de Assis Júnior e Antonio Barreto, pelo companheirismo e convivência sempre cordial e hospitaleira.

As colegas de mestrado, Ana, Ivanoska, Hosaneide, Gilvanise, Jacqueline pela amizade agradável e estimulante.

A Estação Experimental da Embrapa/Algodão pela concessão da área de amostragem.

Aos Funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade: José Wilson, Francisco de Assis, Adilson, Pedro e, em especial, a Francisco Alves da Silva pela valiosa colaboração nas análises químicas.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	página
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
RESUMO	
ABSTRACT	
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1. Origem e natureza dos solos salinos e sódicos	04
2.2. Propriedades químicas	07
2.3. Aspectos estatísticos em estudos de variabilidade do solo	13
2.4. Geoestatística	15
2.4.1. Semivariograma	16
2.4.2. Modelos e ajuste de semivariograma	17
2.4.3. Krigagem	18
2.5. Variabilidade espacial dos solos	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Descrição do ambiente experimental	25
3.2. Unidade Experimental	26
3.3. Coleta e preparo das amostras de terra	27
3.4. Determinações químicas	27
3.5. Análises estatísticas	28
3.5.1. Estatística descritiva	28
3.5.2. Geoestatística	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Análise descritiva dos dados	30
4.2. Análises geoestatísticas	60
4.2.1. Semivariograma	60
4.2.2. Mapas de isolinhas	67
5. CONCLUSÕES	76

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

78

APÊNDICE

88

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 1. Esquema do estaqueamento da unidade experimental.	26
Figura 2. Histograma de frequência dos dados de pH em água 1:2,5.	35
Figura 3. Histograma de frequência dos dados de percentagem de sódio trocável.	35
Figura 4. Histograma de frequência dos dados de condutividade elétrica.	36
Figura 5. Histograma de frequência dos dados de capacidade de troca catiônica.	36
Figura 6. Histograma de frequência dos dados de potássio.	37
Figura 7. Histograma de frequência dos dados de cálcio.	37
Figura 8. Histograma de frequência dos dados de magnésio.	38
Figura 9. Histograma de frequência dos dados de sódio.	38
Figura 10. Gráfico de probabilidade normal dos dados de pH em água 1:2,5.	39
Figura 11. Gráfico de probabilidade normal dos dados originais de percentagem de sódio trocável.	39
Figura 12. Gráfico de probabilidade normal dos dados originais de condutividade elétrica.	40
Figura 13. Gráfico de probabilidade normal dos dados originais de capacidade de troca catiônica.	40
Figura 14. Gráfico de probabilidade normal dos dados de potássio.	41
Figura 15. Gráfico de probabilidade normal dos dados de cálcio.	41
Figura 16. Gráfico de probabilidade normal dos dados de magnésio.	42
Figura 17. Gráfico de probabilidade normal dos dados de sódio.	42

Figura 18. Histograma dos dados transformados de condutividade elétrica [Y=Ln(CE)].	45
Figura 19. Histograma dos dados transformados de potássio [Y=Ln(K ⁺)].	45
Figura 20. Histograma dos dados transformados de magnésio [Y=Ln(Mg ⁺⁺)].	46
Figura 21. Histograma dos dados transformados de cálcio [Y=Ln(Ca ⁺⁺)].	46
Figura 22. Gráfico de probabilidade normal dos dados transformados de condutividade elétrica [Y=Ln(CE)].	47
Figura 23. Gráfico de probabilidade normal dos dados transformados de potássio [Y=Ln(K)].	47
Figura 24. Gráfico de probabilidade normal dos dados transformados de magnésio [Y=Ln(Mg ⁺⁺)].	48
Figura 25. Gráfico de probabilidade normal dos dados transformados de cálcio [Y=Ln(Ca ⁺⁺)].	48
Figura 26. "Postplot" dos dados originais de pH em água 1:2,5.	53
Figura 27. "Postplot" dos dados originais de percentagem de sódio trocável.	53
Figura 28. "Postplot" dos dados originais de condutividade elétrica .	54
Figura 29. "Postplot" dos dados originais de capacidade de troca cátionica.	54
Figura 30. "Postplot" dos dados originais de potássio.	55
Figura 31. "Postplot" dos dados originais de cálcio.	55
Figura 32. "Postplot" dos dados de magnésio.	56
Figura 33. "Postplot" dos dados originais de sódio.	56
Figura 34. Gráfico de dispersão por linhas dos dados de pH, PST, CE, CTC, potássio, cálcio, magnésio e sódio.	58

Figura 35. Gráfico de dispersão por colunas dos dados de pH, PST, CE, CTC potássio, cálcio, magnésio e sódio.	59
Figura 36. Semivariograma para as variáveis químicas pH, PST, CE, CTC, mostrando os modelos ajustados e os parâmetros C_0 , CI e alcance da dependência espacial.	62
Figura 37. Semivariograma para variáveis químicas cálcio, magnésio e sódio mostrando os modelos ajustados e os parâmetros C_0 , CI e alcance da dependência espacial.	63
Figura 38. Gráfico de isolinhas de capacidade de troca catiônica.	68
Figura 39. Gráfico de isolinhas de percentagem de sódio trocável.	69
Figura 40. Gráfico de isolinhas de condutividade elétrica.	70
Figura 41. Gráfico de isolinhas de potássio.	71
Figura 42. Gráfico de isolinhas de cálcio.	72
Figura 43. Gráfico de isolinhas de magnésio.	73
Figura 44. Gráfico de isolinhas de sódio.	74
Figura 45. Gráfico de isolinhas de pH.	75

LISTA DE TABELAS

	página
Tabela 1. Estimativa dos parâmetros estatísticos para as variáveis pH, Condutividade elétrica (CE), Percentagem de sódio trocável (PST), Capacidade de troca catiônica (CTC), potássio (K^+), cálcio (Ca^{++}), magnésio (Mg^{++}) e sódio (Na^+), obtidos a partir de 182 observações amostradas.	31
Tabela 2. Estimativa dos parâmetros estatísticos dos dados transformados das variáveis, condutividade elétrica [$Y=Ln(CE)$], potássio [$Y=Ln(K+1)$], cálcio $Y=[Ln(Ca^{++})]$ e magnésio $Y=[Ln(Mg^{++})]$, obtidos a partir de 182 observações amostradas.	44
Tabela 3. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas e relação nugget effect/patamar, expresso em percentagem para todas as variáveis químicas estudadas.	64
Tabela 4. Equações ajustadas aos semivariogramas experimentais de todas as variáveis químicas estudadas.	66

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo estudar a variabilidade espacial de características químicas, em um solo salino-sódico. O experimento foi realizado no Perímetro Irrigado de São Gonçalo Município de Sousa-PB, numa área pertencente a Estação Experimental da Embrapa/Algodão Campina-Grande-PB. A unidade experimental constituiu-se de 2912m², onde foram demarcados 182 pontos de observações, dispostos numa malha quadrada de 4,0x4,0m. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-30cm, tomada em cada ponto da malha experimental. As determinações químicas foram realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Campina Grande-PB. As análises dos dados foram realizadas através de técnicas estatísticas descritivas e geoestatísticas. As análises descritivas foram feitas com objetivo de observar o comportamento geral dos dados e as análises geoestatísticas, através do exame de semivariograma, para identificar a estrutura espacial das variáveis químicas avaliadas. A partir da estimativa dos parâmetros ajustados ao modelo do semivariograma foi realizada a krigagem numa malha de 2,0m x 2,0m, totalizando 624 pontos, para a construção dos mapas de isolinhas. Pela análise descritiva constatou-se que os dados de pH apresentaram menor variação (CV=11,06%), seguidos da CTC (CV=39,43%), PST (CV=43,06%), K (CV=48,24%), Na (CV=65,93%), CE (CV=79,20%), Ca (CV=80,43%) e Mg (CV=95,68%). A análise da distribuição de frequência mostrou que os dados de CTC seguiram uma distribuição normal, os dados de CE, potássio e magnésio seguiram uma distribuição log-normal. As demais variáveis químicas avaliadas não seguiram nenhum tipo de distribuição. As análises geoestatísticas realizadas revelaram que o melhor modelo de ajuste para o semivariograma dos dados das variáveis químicas PST, CE, CTC, potássio, cálcio e sódio, foi o esférico. Os dados de pH e magnésio não apresentaram estrutura de dependência espacial quando analisado o conjunto total de dados, porém, após a eliminação dos dados considerados discrepantes, no caso de magnésio, e dados que estavam caracterizando uma tendência no caso de pH, foi possível ajustar modelos gaussiano e linear, respectivamente, para pH e magnésio. As análises dos semivariogramas mostraram estrutura espacial com alcances médios de 21, 15, 12, 12, 25, 27, 23 e 16m, respectivamente, para pH, PST, CE, CTC, potássio, cálcio, magnésio e sódio. As variáveis

químicas PST, potássio e cálcio apresentaram forte dependência espacial, enquanto as demais apresentaram moderada dependência espacial. Os mapas de isolinhas, obtidos a partir dos valores estimados pelo processo de krigagem, permitiram uma visualização das regiões de menor e maior variabilidade para cada variável química analisada, o que é importante para a recomendação de manejo dessas regiões, como também no delineamento experimental de futuros trabalhos na área.

ABSTRACT

The objective of this work, had to study the spatial variability of chemical characteristic in the saline-sodic soil. The experiment was carried out in the Irrigated Perimeter of São Gonçalo, Sousa, Paraíba, in Experimental Station area of the Embrapa Algodão. The experimental unit was of 2912m², where were demarcated 182 observations points, ordered in a square mesh of 4,0x4,0m. The soil samples were collected at the profundity of 0-30cm, in each experimental mesh point. The chemical determinations were realized in the Salinity and Irrigation Laboratory, belonging Agricultural Engineering Departament of Federal University of Paraíba, Campina Grande-PB. The data analysis were realized through descriptive statistic and geostatistic. The descriptive analysis were realized with objective of to observe the data department usually of and the geostatistics analyses through of the semivariogram view of, to examine the spacial structure of evaluated chemical variable. From of parameter estimate fitted to semivariogram of model was, realized the krige, in the mesh of 2,0x2,0m, totalized 624 points, to construction of isolines maps. By descriptive analysis showed that the data of pH presented variation fewer (CV=11,06%), followed of CTC (CV=39,43%), PST (CV=43,06%), K (CV=48,24%), Na (CV=65,93%), CE (CV=79,20%), Ca (CV=80,43%) and Mg (95,68%). The analysis of frequency distribution, showed that the data of CTC, followed a normal distribution. The data of CE, K and Mg followed a log-normal distribution. The another chemical variable not follwed non type of distribution evaluated. The geostatistic analysis realized showed that the models best of to semivariogram fitted of data of chemical variable, PST, CE, CTC, K, Ca and Na was the spherical. The data of pH and Mg not suggested structure of spacial dependence, when analised, the assesment total of data, but, after the expuged of

data considerate discrepancy, in case of Mg and data that stayed characterized a trend in case of pH, was feasible to fit gaussiano and linear models, respectively, to pH and Mg. The semivariogram analysis showed spatial structure with medium scope of 21, 15, 12, 12, 25, 27, 23 and 16m, respectively, to pH, CE, PST, K, Ca, Mg e Na. The chemical variable PST, K and the Ca, suggested fort spatial dependence, while, the another suggested moderate spatial dependence. The isolines maps, obtained the leave of estimated values by kriging process, permitted a visual of regions of variability minor and major for each chemical variable analyzed, the what is important at the recommendation from manageable this regions, as also in the experimental delineatement of futuros works in the area.

1. INTRODUÇÃO

O solo, como um sistema aberto, é um ecossistema dinâmico em constante transformação, resultante da ação combinada dos fatores de formação clima, organismos vivos, relevo, material de origem e tempo. Consequentemente, dependendo da forma como estes fatores se combinam e da intensidade com que cada um deles atua no processo, haverá a formação de um determinado tipo de solo. Porém, a ocorrência de diferentes tipos de solo na natureza, não é devido apenas às variações inerentes aos fatores de formação, mas também, aos processos de adição, remoção, transformação e translocação que o solo é submetido desde o início de sua formação. Desta forma, pode-se dizer que, por mais homogêneo que seja um solo na sua aparência, como textura, cor, profundidade, declividade e outras características observáveis no campo, variações pronunciadas das variáveis que afetam seu nível de fertilidade podem ser encontradas.

Uma característica intrínseca do solo é a sua heterogeneidade. Assim, numa paisagem natural, o solo apresenta uma ampla variação de propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, tanto horizontal como verticalmente resultante da superposição dos diversos fatores de formação envolvidos (Beckett & Webster, 1971).

Os solos aluviais, particularmente, os classificados como salinos e ou salino-sódico, em decorrência dos fatores relacionados ao processo de sua formação e desenvolvimento, bem como das ações antrópicas, principalmente quando do uso da irrigação, podem exibir uma elevada variabilidade espacial. Deste modo, uma análise criteriosa, visando conhecer o comportamento espacial das características físicas e químicas destes solos, é um aspecto de fundamental importância a ser considerado.

O conhecimento da variabilidade espacial do solo é importante para estudos de levantamento e classificação de solos, avaliação da fertilidade do solo para fins de recomendação de adubação, planejamento e interpretação de pesquisas de campo, desenvolvimento de esquemas de amostragens mais adequados, definição de práticas apropriadas de manejo e recuperação e determinação de ótima alocação de unidades experimentais para uma maior eficiência nos delineamentos experimentais (Souza, 1992).

A experimentação agronômica tem frequentemente utilizado a estatística clássica para testar diferenças entre tratamentos. No entanto, quando se depara com uma situação onde a variabilidade espacial do solo é muito grande, seu uso é encarado como uma dificuldade na interpretação dos resultados (Reichardt et al., 1986). Neste caso é evidente que a análise da estatística clássica por si só, não é suficiente para retratar os efeitos da variabilidade espacial do solo, precisando-se de novos delineamentos experimentais.

O método da estatística clássica descreve a variabilidade do solo através de observações de variáveis, consideradas estatisticamente independentes de sua posição espacial. Pelo fato deste método estatístico não considerar a estrutura espacial das variáveis do solo, torna-se necessário utilizar um método mais adequado que considere essa estrutura. Assim, o emprego da geoestatística assume fundamental relevância, introduzindo uma nova e importante dimensão para a análise das variáveis do solo,

possibilitando a análise de dependência espacial e também a estimativa de dados para locais não amostrados.

Com o emprego da geoestatística no estudo da variabilidade espacial do solo, principalmente, em áreas onde o solo está submetido a diferentes manejos e em avançado processo de salinização, pode-se sugerir estratégias de manejo mais adequadas para reduzir os efeitos da variabilidade espacial do solo na produção dos cultivos, como também na interpretação das análises estatísticas (Trangmar et al., 1985).

Diante do exposto, o presente trabalho foi desenvolvido com os seguintes objetivos:

- a) estudar a variabilidade de algumas variáveis químicas em um solo aluvial, salino-sódico, por meio de técnicas estatísticas descritivas, com o objetivo de identificar o comportamento geral dos dados, para posteriores análises geoestatísticas;
- b) verificar a existência de dependência espacial entre observações para cada variável química avaliada;
- c) utilizar o processo de krigagem para estimativa de valores das variáveis químicas que apresentaram dependência espacial, visando o mapeamento de cada variável avaliada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Origem e natureza dos solos salinos e sódicos

A utilização dos solos afetados por sais requer a aplicação de medidas especiais e práticas adequadas de manejo. Os sais solúveis produzem efeitos detrimenais nas plantas desde que aumentam o conteúdo de sal da solução do solo e o grau de saturação do complexo coloidal com sódio trocável. Este último efeito se apresenta quando os constituintes solúveis são principalmente sais de sódio, e é de natureza mais permanente que o conteúdo salino da solução do solo, posto que o sódio trocável geralmente persiste após os sais solúveis terem sido eliminados (Menino, 1983).

Os sais solúveis são constituídos, principalmente dos cátions sódio, cálcio e magnésio, e dos ânions cloreto e sulfato; o cátion potássio e os ânions bicarbonato, carbonato e nitrato ocorrem geralmente em menores quantidades. A fonte original, e de certo modo a mais direta, da qual provém estes sais são os minerais primários que se encontram nos solos e nas rochas expostas da crosta terrestre. Durante os processos de intemperismo químico estes constituintes são gradualmente liberados, adquirindo maior solubilidade (Reeve & Fireman, 1967)

Os íons carbonatos e bicarbonatos se formam como consequência da dissolução de CO_2 em água. O CO_2 pode ser de origem atmosférica ou biológica e a água contendo CO_2 é um ativo agente químico intemperizante que libera quantidades apreciáveis de cátions na forma de bicarbonatos. Os íons carbonato e bicarbonatos estão relacionados entre si e a quantidade de cada um é função do pH da solução (Meiri & Shalhevet, citado por Menino, 1983).

A origem dos sais solúveis, por si só, não determina o acúmulo de sais em um local. Normalmente, os sais formados são transportados pela água que os conduzem ao mar ou a depósitos continentais que assim se salinizam. A salinização dos solos só ocorre, quando, sob condições de baixa pluviosidade e ou má drenagem, não há a lixiviação do excesso desses sais (Pizarro, 1978).

Segundo Richards (1954), os solos salinos são aqueles que contêm sais solúveis em quantidade tal que afeta desfavoravelmente sua produtividade. Apresentam condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) maior que 4,0 dS/m à 25 °C, percentagem de sódio trocável (PST) menor que 15 e pH menor que 8,5. São encontrados, geralmente, nas regiões de clima árido e semi-árido, e se formam devido a precipitação nestas regiões ser insuficiente para lavar e transportar os seus sais, devido a elevada evaporação que tende a concentrar os sais nos solos e na água superficial e por apresentarem baixa permeabilidade, o que impede o movimento descendente de água.

Os solos classificados como sódicos, são aqueles cuja PST é maior que 15, CEes é menor que 4,0 dS/m à 25 °C e pH acima de 8,5 (Richards, 1954). Nestes solos, devido a precipitação dos compostos de cálcio e magnésio, o cátion sódio é o que predomina na solução do solo. Em tais condições, parte do cálcio e magnésio do complexo de troca são substituídos pelo sódio. O sódio trocável nos solos sódicos tem uma grande influência nas

suas propriedades físicas e químicas. Em geral, esses solos apresentam um horizonte subsuperficial com estrutura prismática ou colunar de baixa permeabilidade, devido ao acúmulo de argila dispersa proveniente das camadas superficiais do solo.

O solo salino-sódico é aquele cuja CEes é maior de 4,0 dS/m a 25⁰C, PST é maior que 15 e pH da pasta de saturação é superior a 8,5. Este tipo de solo forma-se como resultado dos processos combinados de salinização e acúmulo de sódio. Quando contém excesso de sais, se comporta como solo salino, apresentando valores de pH raramente maiores que 8,5. Se este excesso de sais solúveis é lixiviado, as propriedades desse solo podem mudar, chegando a serem semelhantes as do solo sódico (Richards, 1954).

O solo salino-sódico caracteriza-se pelo excesso de sais solúveis e sódio trocável na zona do sistema radicular, os quais reduzem o crescimento das espécies vegetais. Suas características químicas, físicas e hidrológicas são amplamente variáveis. Essa variação inclui a fonte, a natureza e o teor dos sais, bem como a sua distribuição vertical e horizontal, o pH, o teor e a natureza da argila, a matéria orgânica, o teor de nutrientes, o regime hídrico e a temperatura (Fageria, 1989).

2.2. Propriedades químicas

A reação do solo exerce influencia nas condições físicas, químicas e biológicas dos solos. Ela expressa em que condições o solo se encontra em termos de acidez ou alcalinidade. Normalmente é medida em termos de pH, o qual é definido como sendo o logaritmo do inverso da concentração hidrogeniônica.

O pH é um dos fatores que influencia na disponibilidade de nutrientes às plantas e, conseqüentemente, na produção agrícola (Menino, 1983). Por outro lado, vários são os fatores que interferem nos valores de pH do solo, como por exemplo, o teor de água no solo, a natureza e proporção dos sais em solução e a concentração de CO₂ na atmosfera do solo (Moniz et al., 1972). Por isso estudos de variabilidade espacial dos valores de pH têm mostrado diferentes coeficientes de variações.

A água é geralmente o principal agente de transporte dos sais e a concentração destes ocorre na superfície do solo pela evaporação da água. Por conseguinte, os sais de solos salinos se originam principalmente de sais de água subterrânea, sais de água de irrigação, sais de água do mar e transporte cíclico de sais de terra a dentro (Richards, 1954; Zylstra & Salinas, 1969). Vários fatores interagem com a salinidade como, por exemplo, a fertilidade, estrutura, aeração, conteúdo de umidade, além da composição química do complexo de troca.

A água pura é considerada um mal condutor de corrente elétrica, no entanto, quando ocorre a presença de sais dissolvidos na água de maneira semelhante à solução do solo, esta conduz corrente elétrica, proporcionalmente à quantidade de sais dissolvidos. Baseado nesse fato, a determinação da condutividade elétrica de um extrato dá uma

indicação satisfatoriamente exata, da concentração total dos constituintes ionizados (Black, 1965).

O grau de salinização de um solo pode ser aferido na pasta saturada do solo ou em soluções aquosas ou extrato de solo com diferentes proporções de água e solo (extrato 1:1 ou 1:5). O extrato diluído, não obstante, apresenta duas limitações: (a) quando se adiciona mais água no solo do que a necessária para atingir a saturação, grandes quantidades de CaSO_4 e CaCO_3 são dissolvidos debilmente; (b) pela diluição da solução do solo e mudanças na razão dos sais solúveis, a razão dos íons trocáveis também é mudada (Meiri & Levi, citado por Menino 1983).

Segundo Ponanmperuma (1964), o aumento da condutividade elétrica dos solos, é causado pela imobilização do cálcio e do magnésio nos solos neutros e alcalinos, enquanto que nos solos ácidos é devido ao aumento do Fe^{++} e ao deslocamento, principalmente do cálcio e do magnésio das posições de troca. Moraes & Freire (1974) citam como as causas principais de variação da condutividade elétrica: o aumento na solubilidade do fósforo e o deslocamento dos íons amônio, cálcio e magnésio do complexo de troca para a solução do solo pelo Fe^{++} e Mn^{++} .

A capacidade de troca catiônica (CTC) é a capacidade de adsorção de cátions pelo material do solo. A permuta de cátions é a reação química que ocorre entre a solução do solo e o complexo de troca do solo. É uma reação do solo extremamente significativa, que influencia na absorção de nutrientes pelas plantas, bem como nas propriedades físicas e químicas dos solos. Os cátions trocáveis mais comuns são: cálcio, magnésio, sódio, potássio e amônio, sendo que os solos ácidos podem apresentar também alumínio e hidrogênio. O cálcio é o íon dominante nos solos férteis e permeáveis, enquanto o sódio é o íon dominante nos solos salino sódicos impermeáveis (Carter, 1993).

A capacidade de troca catiônica das frações coloidais dos solos apresenta uma ampla faixa, tendo em vista que o humo e diversos minerais podem achar-se presentes em quantidades variáveis. A capacidade de troca de cátions do humo, da vermiculita, da montmorilonita, das cloritas e micas hidratadas, da caulinita e dos óxidos hidratados é da ordem aproximada de 200, 150, 100, 30, 8, e 4 meq/100g, respectivamente (Brady, 1983).

A capacidade de troca catiônica é consequência da natureza e da quantidade do complexo coloidal do solo. Em estudos efetuados nos horizontes superficiais de certos solos do Estado de São Paulo, constatou-se uma amplitude de variação de CTC de 2,0 a 16,0 meq/100g de solos com B-latossólicos e de 2,0 a 26,0 meq/100g para solos com B-textural (Menino, 1983).

Raij (1991), afirma que a troca de íons é uma propriedade importante que permite aos solos reter diversos elementos em forma facilmente acessíveis para as plantas porque os cátions trocáveis, embora retidos na superfície das partículas do solo devido as cargas negativas, estão em equilíbrio com cátions em excesso, contidos na solução do solo.

A percentagem de sódio trocável (PST) assume grande relevância quando se trata de solos com problemas de sais e indica a percentagem que o sódio representa em relação aos demais cátions adsorvidos. Segundo Pereira (1981) a PST indica a saturação do complexo sortivo do solo com o íon sódio.

O potássio é um elemento muito abundante em rochas e em solos. Os teores totais, em solos bem supridos podem superar 1%. Grande parte desse potássio encontra-se em minerais que contém o elemento nas estruturas cristalinas (Raij, 1991).

O potássio no solo varia de acordo com o material do qual este se originou, com as perdas que tenha sofrido e com as adições efetuadas. Devido ao fato dos minerais

potássicos primários se intemperizarem com razoável rapidez, muitas vezes formando argilas, deve-se esperar maior teor do elemento em solos argilosos que nos arenosos.

O potássio solúvel constitui o potássio que passou para a solução do solo, ficando na forma iônica. Em condições de solos salinos, o potássio solúvel pode ocorrer na forma de sais definidos como KCl, K_2SO_4 , etc., mas em solos desenvolvidos e zonais a forma comum é a iônica (Catani, 1954).

A concentração de potássio solúvel varia de um solo para outro, dependendo do material originário, da quantidade de potássio trocável, do tipo de argila, do teor de umidade do solo, da intensidade de lavagem da retirada por parte dos vegetais, da espécie e da concentração de outros íons presentes, etc (Mello et al., 1989).

O potássio trocável é definido como o potássio que está adsorvido aos colóides do solo e que é deslocado por soluções de sais neutros em tempo relativamente curto (Wiklander, citado por Mello et al., 1989). O potássio trocável permanece em equilíbrio dinâmico com o potássio solúvel, sendo, por isso, uma fonte importante de K disponível às plantas.

Os solos das regiões áridas e semi-áridas, em geral, possuem níveis mais altos de potássio do que aqueles regiões úmidas, onde ocorrem lixiviação do elemento pelas águas da chuva e no processo de podzolização. Nas regiões áridas, verifica-se, também, que os teores desses elementos nos horizontes superficiais são iguais ou mais altos que aqueles dos horizontes subsuperficiais (Millar, citado por Jorge, 1969).

O cálcio é um elemento de ocorrência generalizada na natureza. Entretanto, existem muitos solos pobres em cálcio total e disponível para às plantas (geralmente os solos ácidos). É um dos elementos mais utilizados na agricultura principalmente como constituinte de corretivos e de adubos (Mello et al., 1989).

Os solos de regiões áridas geralmente apresentam altos teores de cálcio qualquer que seja a sua textura. É o resultado da baixa precipitação e pequena lixiviação a que estão sujeitos.

O cálcio tem sua origem primária nas rochas ígneas, estando contido nos minerais, como dolomita, apatita, feldspatos cálcico e anfibólios que ocorrem também em rochas sedimentares e metamórficas. Em solos ácidos de climas úmidos esses minerais são intemperizados e o cálcio é em parte perdido por lixiviação (Raij, 1991).

O cálcio trocável é aquele constituído pelos íons de Ca^{++} adsorvidos aos colóides do solo e está disponível às plantas, embora essa disponibilidade varie com o tipo de colóide. Como por exemplo, um solo rico em montmorilonita saturada de cálcio libera esse nutriente com dificuldade à medida que se torna menos saturada dele. Portanto, pode-se afirmar que, quanto maior for a saturação em cálcio dos colóides, mais facilmente esse nutriente será cedido às plantas e vice-versa, independentemente da quantidade de cálcio trocável (Mello et al., 1989).

Em condições áridas e semi-áridas o cálcio, em grande parte, é substituído pelo sódio, o que determina o aparecimento de condições alcalinas. Isso conduz a sensíveis alterações físicas, químicas e biológicas no solo (Mello et al., 1989).

O magnésio é um elemento que, em solos, e em minerais, ocorre na forma catiônica Mg^{++} . No passado este elemento teve pouca atenção como um componente da fertilidade do solo. Com o avanço da agricultura o estudo do magnésio cresceu em importância (Mello et al., 1989).

O magnésio no solo tem comportamento similar ao do cálcio. A origem primária é também em rochas ígneas e os principais minerais que o contém são a biotita, dolomita, clorita, serpentina e olivina. Uma diferença importante é que o magnésio faz parte da

estrutura de minerais de argila ocorrendo em ilita, vermiculita e montmorilonita (Raij, 1991).

Segundo Mello et al. (1989), nos solos o teor de magnésio depende da textura, lixiviação que o mesmo tenha sofrido, do material original, remoção pelas colheitas e erosão. Como íon trocável este elemento ocorre nos solos numa proporção que varia de 5 a 10% do teor total. Em geral os solos arenosos, ácidos de regiões úmidas são os mais pobres em magnésio. Já os solos das regiões áridas e semi-áridas formados de materiais ricos de magnésio são os que possuem teores mais altos de magnésio.

O sódio é um elemento de ocorrência generalizada na natureza e apresenta comportamento similar ao do potássio. Ocorre tanto nos minerais como no solo na forma iônica. Pelo fato de ser um elemento facilmente removido do solo através da lixiviação, nas regiões de clima úmidos há pouca predominância deste. Por outro lado, o sódio pode acumular no solo, em grandes quantidades, em áreas inundadas pela água do mar, em áreas áridas e semi-áridas, onde os sais se acumulam naturalmente e em solos irrigados com água de alto conteúdo de sódio. Quando o teor de sódio trocável no solo excede 5 a 15% da capacidade de troca de cátions, o movimento de água dentro do solo é interrompido devido a dispersão de argila provocada pelos altos teores de sódio trocável. O acúmulo das partículas dispersas em camadas inferiores, contribuem para a redução da permeabilidade (Bohn et al., 1985). A solubilidade ou precipitação do sódio não é afetada por fatores externos, mesmo que se tenha concentrado pela extração da água pelas plantas, diluído por efeitos da irrigação ou lixiviado para fora da zona radicular (Ayres & Westcot, 1985).

2.3. Aspectos estatísticos envolvidos em estudos de variabilidade do solo

A estatística é considerada uma ciência que se preocupa com a organização, descrição, análise e interpretação dos dados experimentais, sendo utilizada em quase todas as áreas do conhecimento. Em ciência do solo os recursos da estatística descritiva constituem importantes ferramentas na análise do comportamento geral de dados de variáveis químicas e físicas do solo.

Para representar uma dada variável do solo por meio de valores em torno dos quais tende a haver uma maior concentração dos dados observados, são utilizadas medidas estatísticas conhecidas como medidas de posição ou de tendência central (Fonseca & Martins, 1993). As três medidas de posição mais utilizadas para determinar a tendência central de um conjunto de dados são a média aritmética, moda e a mediana. Os quartis são considerados também como medidas de posição, os quais dividem o conjunto de dados em quatro partes iguais (Costa Neto, 1997).

A informação fornecida pelas medidas de posição necessita, em geral, ser complementada pelas medidas de dispersão, as quais servem para indicar o quanto os dados se apresentam dispersos em torno da região central (Costa Neto, 1997). Os principais parâmetros da estatística utilizados no estudo de dispersão ou variabilidade de dados são: a variância, o desvio-padrão e o coeficiente de variação. Outros parâmetros, de uso menos freqüente, são a amplitude total, o desvio médio e a amplitude interquartilica.

Segundo Gomes (1990), o coeficiente de variação dá uma idéia de precisão de um experimento quando se considera igualdade de condições, como por exemplo a igualdade do número de repetições.

O coeficiente de variação é uma medida adimensional que tem sido utilizado para caracterizar a variabilidade de um conjunto de dados. Segundo Warrick & Nielsen (citado por Queiroz 1995) para algumas variáveis do solo, o coeficiente de variação pode ser inferior a 10% , enquanto para outro pode ser superior a 1000%. Afirmam ainda, que um coeficiente de variação acima de 52% representa alta variabilidade da variável analisada.

Embora o coeficiente de variação seja amplamente utilizado para expressar a magnitude de variabilidade de um conjunto de dados, ele nada informa quanto ao comportamento espacial da variável analisada, o que demonstra a necessidade de utilização das técnicas descritivas espaciais. Alguns dos recursos gráficos utilizados na análise descritiva espacial de um conjunto de dados são: gráficos "box-plot" ou gráfico de caixa, "datapost" "postplot", gráficos por linhas e gráficos por colunas (Ribeiro Júnior, 1995). A utilização desses recursos gráficos é de grande utilidade para auxiliar na tomada de decisões quanto a eliminação ou não de dados, bem como a remoção de tendências, o que é de fundamental importância nas análises geoestatísticas.

O gráfico "box-plot" representa o resumo de cinco números de um conjunto de dados (limite inferior, limite superior, quartil inferior, quartil superior e mediana), podendo também apresentar os valores acima dos limites considerados "críticos", isto é, os valores discrepantes ou "outliers". Constitui um gráfico especialmente útil para comparação de vários grupos de dados.

O "datapost" é um recurso gráfico que, além de revelar possíveis erros quanto à localização dos dados, permite chamar atenção quanto à valores possivelmente errôneos ou que estão associados à algum fenômeno localizado que precisa ser investigado, permitindo também destacar zonas de valores máximos e mínimos.

O “postplot” é um gráfico gerado pelo programa GeoEAS (Engelund & Sparks, 1988) em que as amostras são representadas no ponto onde foram tomadas, localizado pelas suas coordenadas. O programa assinala o valor da variável obtida em cada ponto e marca os pontos com cores e ou símbolos, identificando os quartis de distribuição dos dados. Este gráfico mostra o comportamento espacial das realizações obtidas da variável em questão na região estudada. A partir deste gráfico pode-se ter uma idéia inicial sobre sua continuidade e verificar se há regiões com concentração de amostras de altos ou baixos valores que podem sugerir a partição da área em subregiões. A ocorrência de símbolos iguais de forma concentrada em tais gráficos pode indicar uma sub-região. A observação de variações gradativas em alguma direção indica a existência de tendência, o que é incompatível com a hipótese intrínseca assumida nas análises geoestatísticas (Ribeiro Júnior 1995).

Os gráficos de dispersão por linhas e por colunas tem por finalidade mostrar o comportamento dos dados ao longo das direções da área experimental.

2.4. Geoestatística

A geoestatística é baseada na Teoria da Variáveis Regionalizadas (V.R.), entendendo como tal, uma função que varia de um lugar a outro no espaço com certa aparência de continuidade, isto é, são variáveis cujos valores são relacionados de algum modo com a posição que ocupam (Guerra, 1988).

A geoestatística, que provém do campo da mineração, se desenvolveu na Escola de Paris em torno dos trabalhos de (Matheron citado por Carvalho, 1996). Sua aplicação tem

sido estendida à outras áreas de aplicação, destacando-se, entre elas, a Ciência do Solo, onde muitos estudos, envolvendo as variáveis físicas, químicas e biológicas do solo, têm sido desenvolvidos, além de trabalhos envolvendo classificação e levantamentos de solos.

A análise geoestatística ou Teoria das Variáveis Regionalizadas dispõe de distintas metodologias de análises da variação espacial, sendo uma delas o semivariograma, conforme definido a seguir (Carvalho, 1996).

2.4.1. Semivariograma

O semivariograma é uma função que possibilita analisar o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo, definido como:

$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2$ e pode ser estimado por:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2$$

onde $\gamma^*(h)$ é o semivariograma experimental, $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ são os pares de valores experimentais nos pontos amostrados; $N(h)$ é o número de pares de pontos separados por uma distância h (Carvalho, 1996).

Graficamente, o semivariograma consiste na representação dos valores da função semivariância (às vezes denominada como função gama G) em ordenadas frente aos valores de distância entre os pontos experimentais (h) na abcissas (Saa, 1992).

2.4.2. Modelos e ajuste de semivariogramas

O semivariograma é uma função da distância h que é estimado apenas em um conjunto discreto de distâncias (“lags”). A partir destas estimativas, ajusta-se um modelo que depende de diversos parâmetros (Ribeiro Júnior, 1995).

O ajuste do modelo de semivariograma aos dados experimentais é um procedimento de grande importância principalmente quando se deseja realizar interpolações na área em estudo (Guimarães, 1993).

Os modelos básicos de semivariograma usados em geoestatística, com suas respectivas expressões matemáticas, são:

i) Modelo esférico

$$\gamma(h) = C_o + C [3h/2a - h^3/2a^3], \quad 0 < h \leq a$$

$$\gamma(h) = C_o + C, \quad h \geq a$$

ii) Modelo exponencial

$$\gamma(h) = C_o + C [1 - \exp(-3h/a)], \quad h \geq 0$$

iii) Modelo Gaussiano

$$\gamma(h) = C_o + C [1 - \exp(-3(h^2/a^2))], \quad h \geq 0$$

iv) Modelo potência

$$\gamma(h) = C_o + bh^2, \quad h \geq 0; C_o \geq 0; b \geq 0 \text{ e } 0 \leq \lambda < 2.$$

onde os parâmetros C_o , $C + C_o$ e a são denominados efeito pepita, patamar e alcance da dependência espacial, respectivamente.

O alcance a é definido como o limite de dependência e independência espacial, ou seja, para distâncias maiores que a pode-se usar a estatística clássica, levando-se em consideração apenas a hipótese de independência entre amostras.

O patamar é atingido quando a variância dos dados se torna constante com a distância entre as amostras. Este parâmetro permite determinar o alcance da dependência espacial entre as amostras.

2.4.3. Krigagem

A krigagem é uma técnica usada na geoestatística para estimar valores da variável em locais onde a mesma não foi medida. No entanto, para que esta técnica seja usada é necessário que exista dependência espacial entre as observações, definida pelo semivariograma.

Segundo Souza (1992) a estimativa de valores em locais não amostrados, através da técnica de krigagem, possibilita estabelecer um mapa da área de estudo para as propriedades do solo, permitindo a definição de linhas de isovalores, às quais podem ser de grande utilidade no planejamento experimental.

2.5. Variabilidade espacial dos solos

Recentes pesquisas em ciências agronômicas realizadas em condições de campo têm dado ênfase à variabilidade espacial.

Barreto et. al. (1978), realizando um estudo de variabilidade espacial em duas áreas de solos, uma num terraço em podzólico vermelho-amarelo câmbico outra numa encosta em podzólico vermelho amarelo latossólico, encontraram coeficientes de variação para pH de 4,73% e 3,94%, potássio de 118,95% e 82,69%, respectivamente.

Santos & Vasconcellos (1987), estudando a variabilidade espacial de pH, cálcio, potássio e magnésio de uma área de 6 ha de um latossolo vermelho escuro distrófico (Led), tendo como base amostras de uma área recém-desmatada, encontraram coeficientes de variação de 2,9%, 67,8%, 31,3 e 51,4%, respectivamente.

Coelho (1983), ao estudar a variabilidade espacial das variáveis químicas pH, cálcio, magnésio, potássio, sódio, CE e PST um solo aluvial eutrófico, classificado como salino-sódico e vertic torrifluents, encontrou valores de coeficientes de variação de 4,8%, 38,7%, 34,3%, 39,6%, 31,9%, 35,6% e 30% em amostras coletadas à 30cm de profundidade. Para a profundidade de 30-60 cm, encontrou coeficientes de variação de 5,6%, 38,8%, 37,9%, 41,3%, 34,7%, 42,8% e 41,1%, respectivamente, para essas mesmas variáveis.

Gomes et. al. (1994), estudando a salinidade em amostras do solo no Perímetro Irrigado de Itans Caicó-RN, coletadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, em sete lotes irrigados, encontraram o mesmo coeficiente de variação para o pH (6%). Para a CE e a PST encontraram CV de 200%, 203%, 82% e 90%, respectivamente, para as profundidades estudadas.

Carrasco et. al. (1981), estudando variáveis químicas em amostras de terra coletadas à 20cm de profundidade, correspondentes à 21 solos de origem aluvial ao longo da cidade de Santiago e São Fernandes no Chile, encontraram CV para o pH de 10%. Esses autores atribuíram a causa deste baixo CV à origem do solo aluvial.

Opazo (1978), realizou um estudo estatístico da variabilidade dos resultados analíticos de um solo aluvial localizado na Série Santiago no Chile, tomou amostras de solo em 16 pontos na profundidade de 40 cm, encontrou CV para CE de 27,80%, pH de 1,17%, e potássio de 39,73%.

Coelho & Ferreyra (1986), ao estudarem a variabilidade espacial num solo aluvial pertencente ao Perímetro Irrigado de Morada Nova-CE, em 149 perfis locados no centro de uma área regular de 6x10 m, encontraram CV de 30% e 41% para a PST e sódio, respectivamente, para a profundidade de 30 cm.

Alvarez & Carraro (1976), num estudo de variabilidade espacial do solo dentro de parcelas de diferentes tamanhos, em duas unidades de solos, uma em Cascavel (latossolo roxo) e outra em Ponta Grossa (latossolo vermelho amarelo textura média), efetuaram a coleta de solos em três etapas de amostragem, tomando 49 amostras simples em cada amostragem. As amostras de terra foram coletadas na profundidade de 20 cm distanciadas de 17, 2,1 e 0,30 m, respectivamente, para a primeira, segunda e terceira etapa. Em suas conclusões observaram que a variabilidade nas etapas de tomadas de amostras vai diminuindo de acordo com o decréscimo da distância em que foi retirada uma amostra da outra. Verificaram ainda que nas etapas de coleta de terra e nos tipos de solos os CV para o cálcio foram de 88,53% , 47,28% e 17,60% e 28,97%, 26,40% e 20,40, respectivamente. Para o magnésio encontraram CV de 52,41%, 35,76% e 25,86% e 43,91%, 32,73% e

23,13%, respectivamente, para primeira, segunda e terceira etapas de coleta e os dois tipos de solo.

Prevedello (1987), realizando um experimento num solo classificado como terra roxa estruturada, numa área de 4810 m², com pontos distanciados de 10x10 m, onde coletou amostras de terra na profundidade de 20 cm em duas épocas, uma antes da adubação e outra pós-colheita da cultura do arroz, encontrou CV para pH de 2,99 e 2,72%, CTC de 6,75 e 5,95%, cálcio de 13,23 e 14,08%, magnésio de 18,42 e 24,52% e potássio de 15,53 e 18,15%. Observou, ainda, neste estudo de variabilidade que 41 variáveis analisadas, apresentaram estrutura de dependência espacial com alcance acima de 10 m.

Salviano (1996), ao realizar um estudo de variabilidade espacial de solo e de planta, em uma associação de podzólico vermelho-amarelo + solo litólico compreendendo uma área de 3500 m², coletando solo numa malha de 5,0 x 5,0 m nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, encontrou CV para CTC de 26,3% e 30,50%, cálcio de 49,3% e 53,6%, potássio de 96,4% e 62,20%, magnésio de 62,8% e 59,9% e pH de 6,6 e 7,1%, respectivamente. Ao aplicar a geoestatística, encontrou dependência espacial para todas as variáveis do solo e de planta, com exceção do fósforo subsuperficial e do potássio superficial e subsuperficial, tendo ajustado um modelo esférico ao semivariograma para todas as variáveis do solo.

Campbel (1978), estudou a variabilidade espacial de algumas variáveis químicas na associação de solo "ladysmith-pawnee", cujos solos são denominados de argilo siltoso e de glacial, respectivamente, localizadas no Kansas ao Sul da cidade de Topeka, coletou amostras dos solos nas profundidades de 52cm e 76cm, numa malha de 10x10m, verificou que o alcance da dependência espacial para os valores de pH, mostrou-se maior na área de

pawnee que na ladysmith, atingindo níveis máximos de alcance para ambas as áreas nos primeiros pontos a uma distância de 10m.

Yost et al. (1982), realizando um estudo ao longo de várias transeções espaçadas de 1-2km no sentido do Island ao Hawai, coletaram amostras de terra nas profundidades de 0-15 cm e 30-45 cm, obtiveram valores de alcance do semivariograma para pH de 32-42km.

Hajrasuliha et al. (1980), utilizaram o método da krigagem para construção de mapas de isolinhas de condutividade elétrica do extrato de saturação de uma área com problema de salinidade numa malha de 20m.

Dourado Neto (1989), estudando alturas de chuva e irrigação, potencial mátrico e da solução do solo em Terra Roxa Estruturada Latossólica, ajustou modelos linear, exponencial, esférico e de Gauss para o potencial mátrico e da solução do solo. Os dados de chuvas não apresentaram estrutura da variância no semivariograma, e os de irrigação apresentaram estrutura e indicaram periodicidade.

Guimarães et al. (1992) estudaram a variabilidade espacial de pH em água num latossolo roxo, numa área de 57600 m², onde foram demarcados 169 pontos de observações numa malha de 20m coletando amostras na profundidade de 20cm. Verificaram que o melhor modelo de ajuste para o semivariograma foi o esférico que permitiu delimitar a região de dependência espacial em aproximadamente 180m.

Souza (1992), realizou um estudo de variabilidade espacial do solo em diferentes sistemas de manejo em um podzólico vermelho escuro-kandiudult em Eldorado do Sul-RS (preparo convencional, plantio direto, escarificação e pastagem) na malha de amostragem de 1,0x1,0m e nas profundidades 0-5cm e 5-20cm e em um latossolo roxo-haplodox (plantio convencional e plantio direto) e um latossolo vermelho escuro-haplodox (pastagens), ambos em Passo Fundo-RS, na malha de amostragem de 10x10m e nas

profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30cm. Observou que todas as propriedades químicas estudadas apresentaram dependência espacial e verificou que o ajuste do modelo esférico foi o mais apropriado para a construção dos semivariogramas, obtidos para a maioria dos sistemas de manejo estudados.

Araújo et.al. (1993), realizaram um estudo para determinar o espaçamento adequado entre pontos, para estimar a média de capacidade de troca de cátions a pH 7,0 num latossolo roxo, numa área de 25600m² realizando malhas quadradas de 160x160m e coletando amostras na profundidade de 0-20cm. Com um total de 81 pontos de observações, verificaram que o semivariograma isotrópico linear foi o que apresentou melhor ajustamento.

Carvalho (1996), realizando um estudo de variabilidade espacial e temporal num solo "typic xerofluvent", coletou amostras de terra na profundidade de 20cm espaçadas de 1m ao longo de duas transeções perpendiculares com dimensões 15m (horizontal) e de 21m (vertical), usando três sistemas de cultivo, cevada (Sistema I), aveia (Sistema II) e prado (Sistema III), encontrou coeficientes de variação para CE de 21,9, 13,4 e 17,2% e para pH 1,4, 1,0 e 1,3%, respectivamente. Observou neste estudo que o pH nesses sistemas de cultivo apresentou existência de um efeito pepita puro, o que indica que para determinar a dependência espacial para esta variável seria necessário realizar amostras em escalas menores que a realizada (1,0m).

Chien et. al. (1996), realizaram um estudo de variabilidade espacial ao longo da planície dum solo aluvial situado no meio oeste da seção de Taiwan. Tomaram amostras de solo na profundidade de 15 cm em 132 pontos de amostragens dentro de uma área de 10km², numa malha de 250x250m, verificaram que a CTC, cálcio e magnésio, apresentaram CV de 31%, 44% e 47%, respectivamente. Observaram ainda que estas

variáveis apresentaram dependência espacial e o melhor modelo de ajuste para os semivariogramas foi o esférico.

Xu & Webster (1984), trabalhando em uma área de 3635 km², na China, coletaram 102 amostras da superfície do solo, que foram irregularmente espaçadas. Verificaram que o semivariograma obtido para o potássio, apresentou a existência de um “nugget effect” puro, indicando independência entre as observações. Observaram ainda, que pH apresentou forte dependência espacial, com um ajuste do modelo tipo exponencial ao semivariograma experimental.

Ball & William (1968), realizaram estudos da variabilidade das variáveis químicas de solos não cultivados. O CV para a maioria das variáveis estudadas, ficou em torno de 33%, o que levou os autores a concluírem que, em qualquer estudo pedológico e ecológico, é indispensável considerar quantitativamente a variabilidade espacial, para uma melhor compreensão das observações realizadas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição do ambiente experimental

O experimento foi conduzido no Perímetro Irrigado de São Gonçalo do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), numa área pertencente a Estação Experimental da EMBRAPA Algodão Campina Grande. O perímetro localiza-se na ecorregião fisiográfica do Alto Sertão, na bacia hidrográfica do Rio Piranhas, com solos formados por depósitos aluviônicos no passado hidrogeológico do período Quaternário. Geograficamente, a área apresenta as seguintes coordenadas: latitude de 6^o50' S, longitude de 38^o 19' W e altitude de 235m. Caracteriza-se por apresentar clima quente, com chuvas de verão-outono. A temperatura média é de 27^o C sendo as mais baixas registradas nos meses de junho e julho, enquanto em novembro e dezembro ocorrem as mais elevadas do ano. A umidade relativa média do ar é de 64% e a pluviometria média anual é de 865,4mm. De acordo com Hargreaves (citado por Cordeiro, 1977) a região é classificada como semi-árida.

3.2. Unidade experimental

A unidade experimental, localizada num relevo plano, correspondeu a uma área de 2912m², tendo 52m de largura no sentido NW-SE e 56m no sentido SW-NE. Segundo estudos realizados pela Hidroservice (citados por Silva, 1997), o solo predominante é do tipo aluvial.

Inicialmente, para facilitar a retirada das amostras de terra, a área foi limpa, arada e gradeada. Em seguida, procedeu-se ao estaqueamento da área obedecendo a uma malha com espaçamento de 4,0 x 4,0m, perfazendo 14 linhas e 13 colunas, conforme a Figura 1.

2m	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182
	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169
	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156
	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
52m	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2m													
	2m	48m											2m

Figura 1. Esquema do estaqueamento da unidade experimental.

3.3. Coleta e preparo das amostras de terra

Em cada ponto de estaqueamento da unidade experimental, foi coletada uma amostra de terra na profundidade de 0-30cm, utilizando-se um trado tipo holandês. Após a coleta, as amostras foram levadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade/DEAg/UFPB, onde foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2mm de abertura.

3.4. Determinações químicas

As amostras de terra, depois de preparadas, foram submetidas à análises químicas, tendo sido realizadas as seguintes determinações: condutividade elétrica, cátions solúveis (Ca, Mg, Na e K), pH do solo, e cátions totais (Ca, Mg, Na, e K).

A condutividade elétrica e cátions solúveis no extrato de saturação foram determinados de acordo com os procedimentos descritos por Richards (1954).

O pH de cada amostra de terra foi determinado em água na relação de 1:2,5 (solo:água).

Quanto aos cátions totais, foram utilizadas soluções de HCl 0,05N e H₂SO₄ 0,025 para extração de Na e K e KCl a pH 7,0 para extração de Ca, Mg, conforme metodologias recomendadas pela EMBRAPA (1979). Depois de extraídos, os cátions foram determinados por titulação volumétrica, exceto Na e K, os quais foram determinados por fotometria de chama.

Os cátions trocáveis foram obtidos pela diferença entre os totais e os solúveis, conforme (Richards, 1954)

A capacidade de troca catiônica (CTC) foi determinada pela soma das bases trocáveis.

Com base nos valores de Na e CTC, calculou-se a porcentagem de sódio trocável (PST) pela seguinte expressão:

$$PST = \frac{Na}{CTC} \times 100$$

3.5. Análises Estatísticas

3.5.1. Estatística Descritiva

Os dados obtidos foram inicialmente analisados através de métodos de estatística descritiva, calculando-se a média, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo, máximo, amplitude total, quartil inferior, quartil superior, amplitude interquartilica, coeficientes de assimetria e curtose. Também foi realizada uma análise da distribuição de frequência dos dados, no caso, verificando-se se eles seguiam a distribuição normal e ou lognormal. Para isto usou-se o teste de Shapiro Wilk ao nível de 1% de probabilidade, para avaliar a hipótese de normalidade dos dados.

Para as propriedades estudadas que apresentaram “outlier”, isto é, valores discrepantes, adotou-se o critério de Hoaglin (1983), ou seja, eliminou-se os valores “outliers” $> Ls + 1,5Ai$ e “outliers” $< Li - 1,5Ai$. Em seguida, através da análise descritiva, avaliou-se, novamente o comportamento dos dados sem os “outliers”.

Para visualizar o comportamento espacial dos dados, foram construídos os gráficos “postplot” e de dispersão por linhas e por colunas.

3.5.2. Geoestatística

A análise geoestatística foi empregada para avaliar a dependência espacial das variáveis químicas estudadas. Para determinar a existência ou não da dependência espacial, utilizou-se o exame de semivariograma, onde se considerou a análise do conjunto de dados de cada variável química do solo e, no caso da existência de valores discrepantes, estes foram descartados para a construção dos semivariogramas.

A construção dos semivariogramas foi realizada através do processo de tentativa. Para cada semivariograma que apresentou estrutura de dependência espacial, ajustou-se um modelo matemático para a estimativa de seus parâmetros (efeito pepita, patamar e alcance).

As estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados a cada semivariograma foram utilizados para interpolação de valores em locais não amostrados, pela técnica conhecida por krigagem.

Para a construção dos mapas de isolinhas utilizou-se as estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados e adotou-se uma malha de 2,0 x 2,0m, menor que aquela amostrada no campo, totalizando 675 pontos.

As análises estatísticas descritivas e de geoestatísticas foram realizadas através de programas computacionais, Geo-EAS, SAS, SUFER 6.0 e EXCEL 7.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise descritiva dos dados

Os dados obtidos neste trabalho foram, inicialmente, analisados de forma exploratória, através de medidas descritivas (geral e espacial). Esta análise resultou em uma visão geral do comportamento de cada variável química do solo estudada, permitindo, com isso, algumas decisões sobre novos procedimentos que foram realizados.

A Tabela 1 apresenta as estimativas dos parâmetros estatísticos associadas às variáveis pH, percentagem de sódio trocável (PST), condutividade elétrica (CE), capacidade de troca catiônica (CTC), potássio (K^+), cálcio (Ca^{++}), magnésio (Mg^{++}) e sódio (Na^+), tendo sido estas as variáveis químicas do solo estudadas. Observa-se que as maiores diferenças entre as medidas de posição, média aritmética e mediana, corresponderam as variáveis químicas CE, PST, Mg^{++} e Ca^{++} , respectivamente. Considerando que, para que os resultados apresentem uma distribuição normal é necessário que os valores das medidas de posição, média aritmética e mediana, sejam estatisticamente iguais (Toledo & Ovalle, 1982; Costa Neto, 1997), e que a diferença entre estas medidas, para o pH, CTC, K e Na^+ , foi pequena (Tabela1), pode-se supor que estas variáveis apresentam um comportamento, aparentemente, ajustável a este tipo de distribui-

Tabela 1. Estimativa dos parâmetros para as variáveis, pH, Condutividade elétrica (CE), Percentagem de sódio trocável (PST), Capacidade de troca de cátions (CTC), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e sódio (Na^+), obtidos a partir de 182 observações amostradas.

Variáveis	Méd.	Mediana.	Desvio	CV.	Mín.	Máx.	A total	Q. inf.	Q. sup.	A. int.	Ass.	Curt.	W
químicas			Padrão	(%)									
pH	9,77	10,25	1,08	11,06	6,77	10,94	4,17	8,82	10,58	1,76	-0,98	-2,58	0,81
PST (%)	65,05	72,43	28,00	43,06	0,61	96,78	96,17	42,99	88,98	45,99	-0,98	-2,58	0,90
CE (dS/m)	7,20	5,57	5,70	79,20	0,64	31,56	30,92	2,92	10,13	7,21	1,41	5,14	0,86
CTC (cmol _c /kg)	12,25	12,47	4,83	39,43	1,17	26,64	25,47	8,34	15,51	7,17	0,21	2,63	0,98**
K (cmol _c /kg)	0,24	0,22	0,12	48,24	0,05	0,67	0,62	0,16	0,30	0,14	1,13	4,44	0,91
Ca (cmol _c /kg)	1,53	1,15	1,23	80,43	0,04	5,35	5,31	0,53	2,30	1,77	0,99	3,23	0,88
Mg (cmol _c /kg)	1,71	2,67	1,64	95,68	0,05	9,49	9,44	0,55	2,09	1,54	1,86	4,04	0,79
Na (cmol _c /kg)	8,79	8,95	5,79	65,93	0,04	22,68	22,64	3,70	13,32	9,62	0,25	-1,90	0,92

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

CV.= Coeficiente de variação; Méd.=Média; Mín.= Mínimo; Máx.= Máximo; Qsup.= Quartil superior; Qinf.=Quartil inferior; A.int. = Amplitude interquartilica; Ass.= Assimetria; Curt.=Curtose; W=Shapiro Wilk.

No entanto, observando-se os valores dos coeficientes de assimetria e de curtose, os quais, em uma distribuição normal, devem ser 0 e 3, respectivamente (Snedecor & Cochran, 1967), pode-se dizer que apenas os valores de CTC se ajustam a este tipo de distribuição, o que foi confirmado com o teste W (Shapiro-Wilk), ao nível de 1% de probabilidade. Uma explicação prática para isso poderia estar relacionada ao fato de que, como a CTC é calculada pela somatória dos valores das bases trocáveis, apesar destes valores não apresentarem uma distribuição normal, os valores de CTC, através da compensação dos dados, acabaram apresentando uma distribuição normal.

Em relação ao coeficiente de variação (CV), observa-se na Tabela 1 que o menor (11,06%) e o maior (95,68%) valor correspondeu ao pH e ao magnésio, respectivamente. Com base nos limites de CV propostos por Warrick & Nielsen (1980) para a classificação de variáveis do solo, pode-se dizer que o pH apresentou baixa variação ($CV < 12\%$), a PST, CTC e K apresentaram variação média ($12\% < CV \leq 60\%$) e a CE, Ca, Mg e Na apresentaram alta variação ($CV > 60\%$), e, portanto, que a área experimental se apresenta de forma mais homogênea apenas em relação aos valores de pH. Isto pode ser confirmado observando que, foi para esta variável química que se obteve a menor amplitude de variação entre os valores mínimo e máximo, apresentadas na Tabela 1. O contrário foi observado para as demais variáveis químicas avaliadas, os quais apresentaram grande amplitude de variação entre os seus valores mínimo e máximo, evidenciando, assim, a heterogeneidade da área experimental, o que está de acordo com Opazo (1978), Coelho (1983) e Coelho & Ferreyra (1986). Por várias razões esta heterogeneidade é própria de solos aluviais. Uma delas é a origem destes solos a qual se dá através de depósitos sucessivos de diferentes materiais, provenientes de diversos locais. Outras seriam a

distribuição e o acúmulo deste material na área, o que é função da topografia, do manejo químico e/ou físico, do processo de lixiviação que esta área é submetida ao longo do tempo, e de outros fatores, os quais levam a uma maior ou menor concentração de determinada variável química em um ou outro determinado local. O fato de não ter ocorrido grande variação nos valores de pH, provavelmente, se deve a concentração hidrogeniônica ser muito baixa, na solução do solo que predomina na área experimental.

A análise dos quartis (Tabela 1), intervalo que contém 50% dos dados centrais, revela dispersões inferiores às dispersões totais dos dados para todas as variáveis químicas avaliadas. Segundo Queiroz (1995), a amplitude interquartilica pode ser considerada como uma medida apropriada da dispersão dos dados, por serem medidas não influenciadas por valores extremos, possivelmente atípicos.

O comportamento da distribuição de frequência das variáveis químicas pode ser observado claramente através dos histogramas apresentados nas Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9. Observa-se através da Figura 5 que a capacidade de troca catiônica apresentou o histograma parecido com uma distribuição normal. O histograma de condutividade elétrica (Figura 4) mostrou um comportamento fortemente assimétrico à esquerda, onde concentram-se um maior número de valores abaixo da média e poucos valores acima dela. O coeficiente de assimetria sendo maior que um, vem confirmar tal comportamento. Da mesma forma, comportamento semelhante pode ser visualizado para o potássio, cálcio e magnésio (Figuras 6, 7 e 8). A percentagem de sódio trocável apresentou um histograma assimétrico à direita (Figura 3). Observa-se na Figura 2 que o pH apresentou um histograma do tipo bimodal, isto é, com dois picos, um à direita e outro à esquerda do gráfico com uma frequência baixa no centro do histograma. O histograma para o sódio apresentou comportamento de uma assimetria para os primeiros valores deste elemento, no entanto, a

baixa frequência observada aproximadamente no centro do histograma descaracterizou uma assimetria total para o mesmo (Figura 9).

Os gráficos de probabilidade apresentados nas Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17, constituem uma forma de visualização do comportamento dos dados de pH, PST, CE, CTC, potássio, cálcio, magnésio e sódio, respectivamente. O comportamento não linear observado para a maioria destas variáveis confirma a hipótese de que os dados não se ajustam a uma distribuição normal, indicando que a média aritmética, por ser influenciada pelos valores extremos, não é uma medida de tendência central adequada para a representação dos dados. Verifica-se um comportamento linear apenas para capacidade de troca de catiônica o que vem reforçar a hipótese de normalidade, já discutida anteriormente.

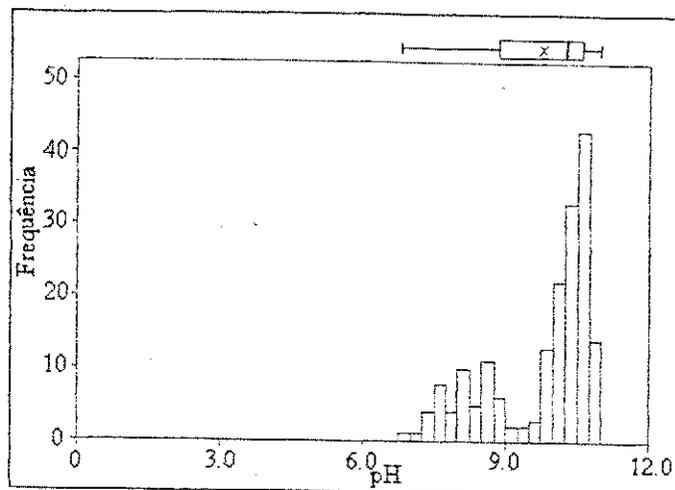


Figura 2. Histograma de frequência dos dados de pH em água 1:2,5.

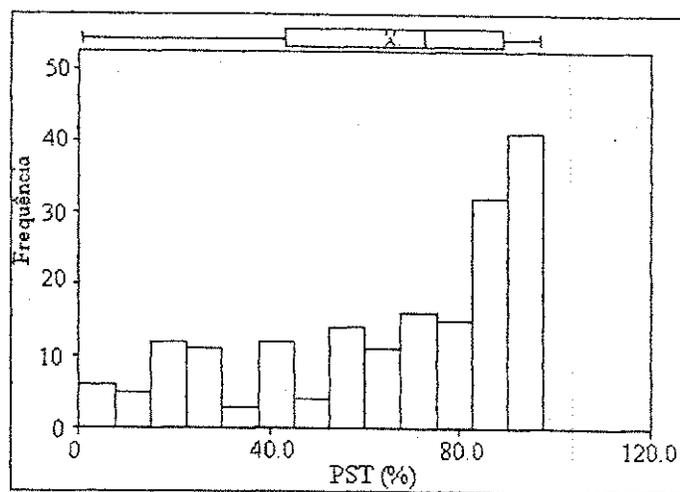


Figura 3. Histograma de frequência dos dados de percentagem de sódio trocável.

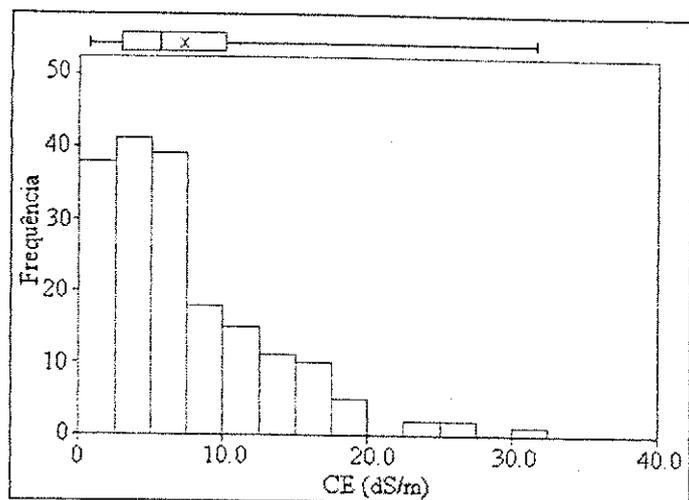


Figura 4. Histograma de frequência dos dados de condutividade elétrica.

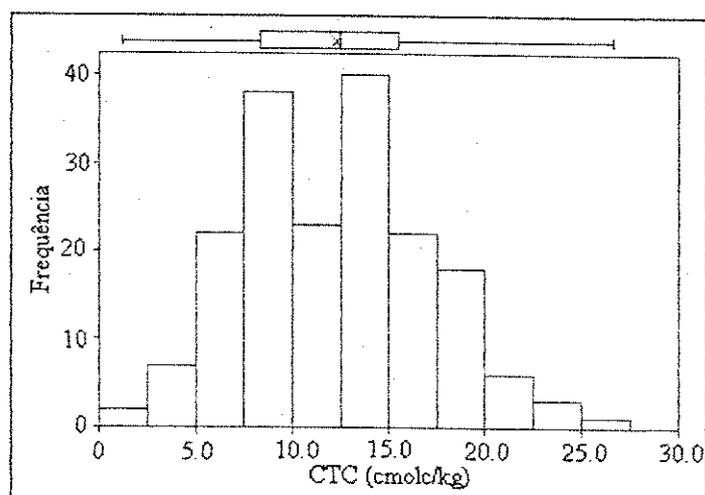


Figura 5. Histograma de frequência dos dados de capacidade de troca catiônica.

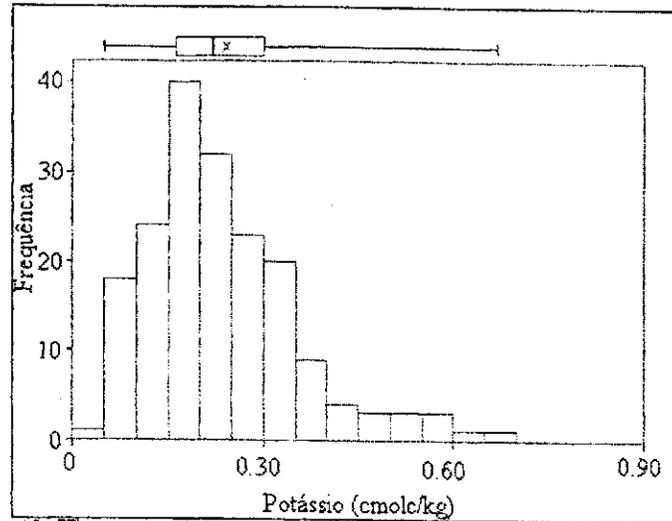


Figura 6. Histograma de frequência dos dados originais de potássio.

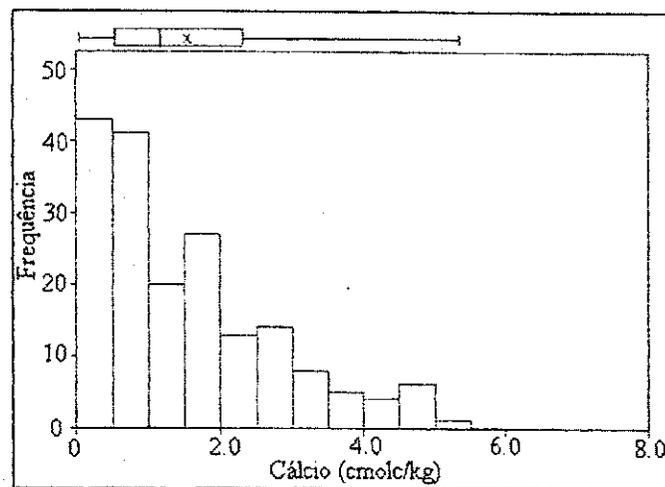


Figura 7. Histograma de frequência dos dados de cálcio.

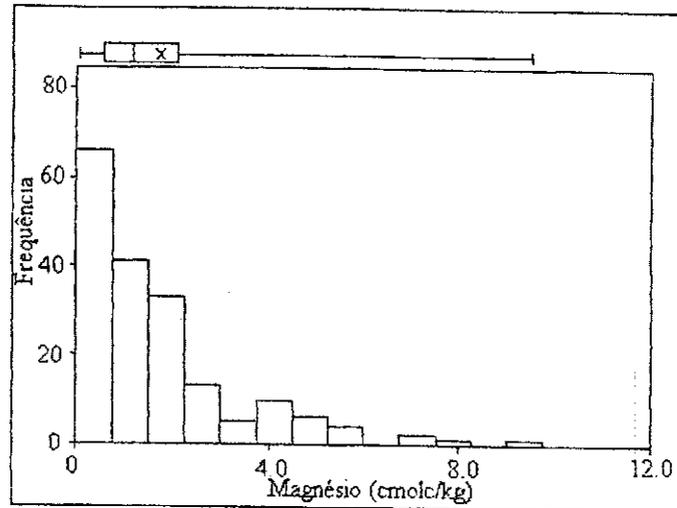


Figura 8. Histograma de frequência dos dados de magnésio.

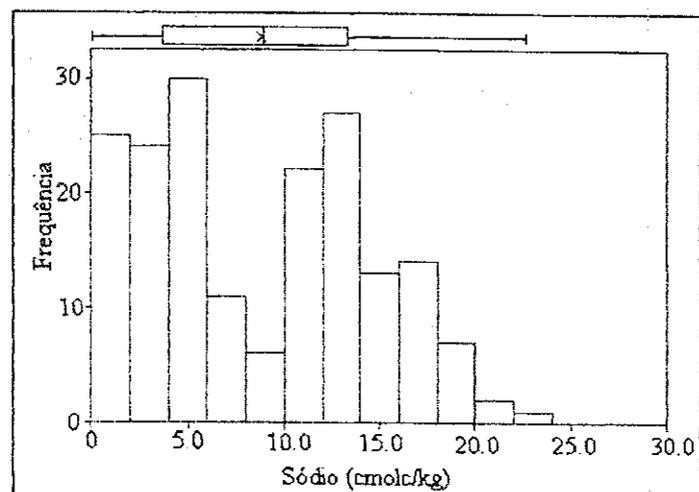


Figura 9. Histograma de frequência dos dados de sódio

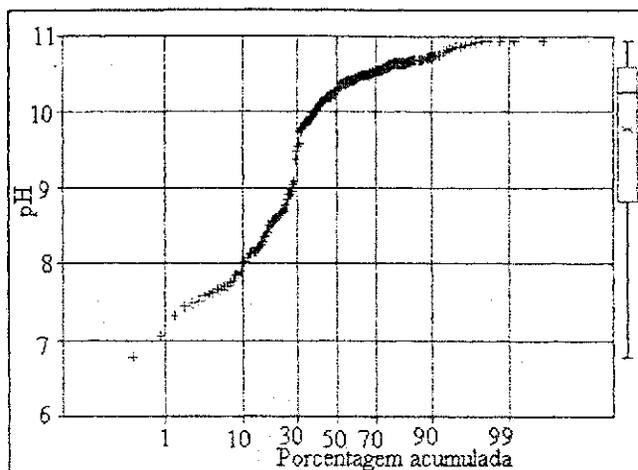


Figura 10. Gráfico de probabilidade normal dos dados de pH em água 1:2,5.

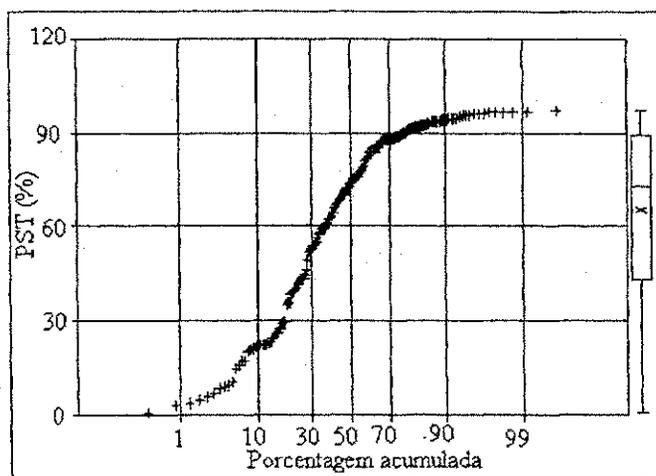


Figura 11. Gráfico de probabilidade normal dos dados originais de percentagem de sódio trocável.

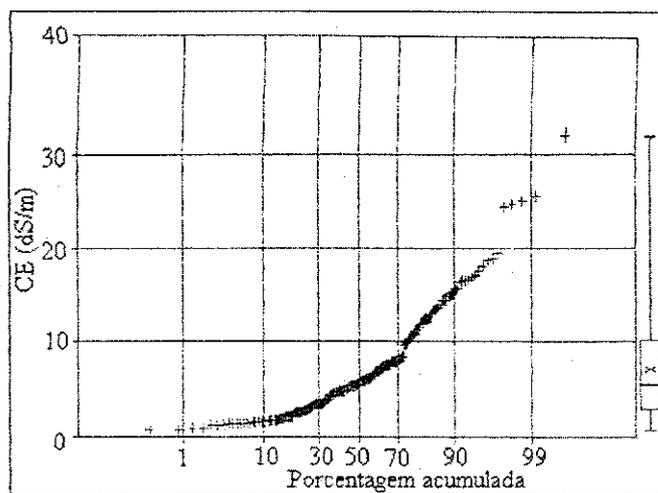


Figura 12. Gráfico de probabilidade normal dos dados originais de condutividade elétrica (dS/m).

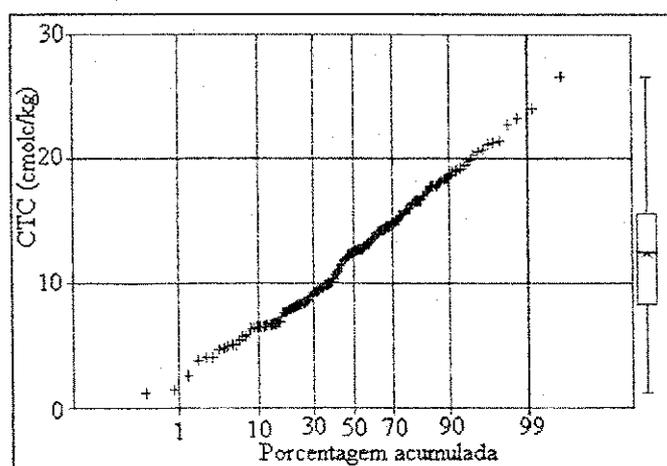


Figura 13. Gráfico de probabilidade normal dos dados originais de capacidade de troca catiônica.

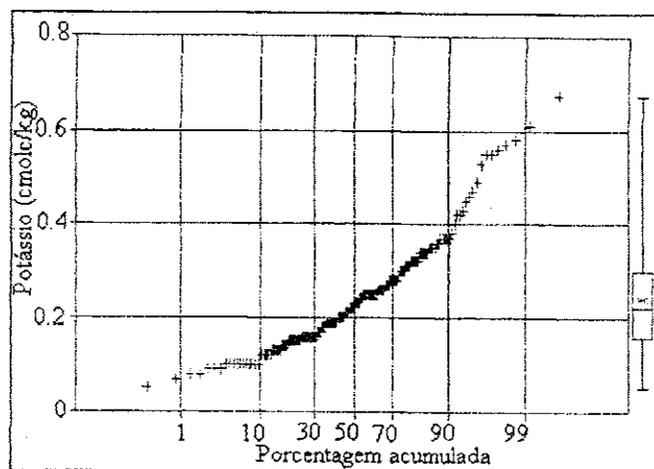


Figura 14. Gráfico de probabilidade normal dos dados de potássio.

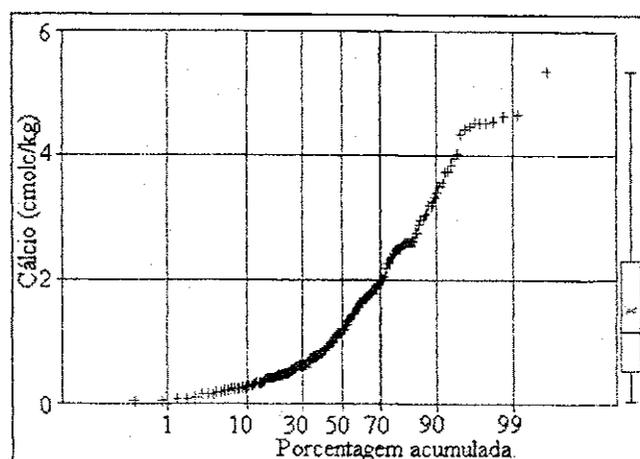


Figura 15. Gráfico de probabilidade normal dos dados de cálcio.

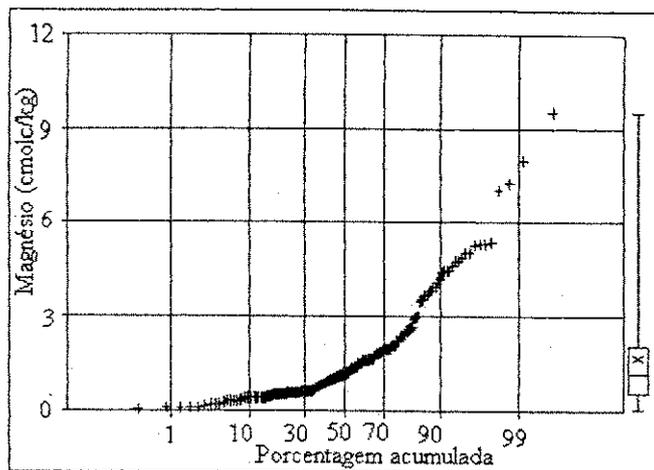


Figura 16. Gráfico de probabilidade normal dos dados de magnésio.

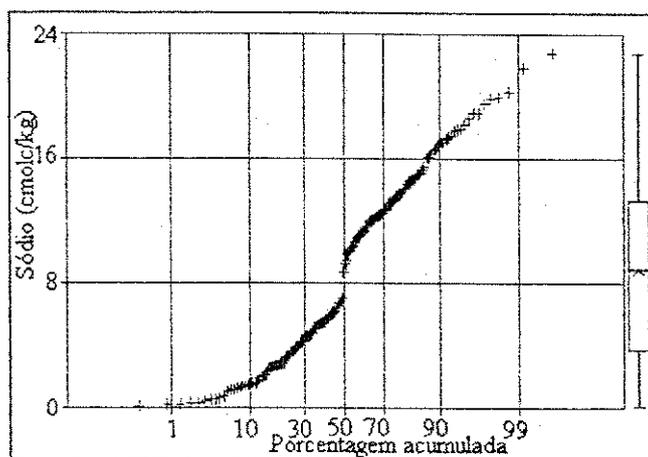


Figura 17. Gráfico de probabilidade normal dos dados de sódio.

Rejeitada a hipótese de normalidade para a maioria das variáveis químicas, fez-se uma transformação logarítmica apenas para aquelas variáveis químicas que apresentaram um comportamento assimétrico dos dados (assimetria positiva), ou seja, CE, K, Ca e Mg. As estimativas dos parâmetros das variáveis transformadas são apresentadas na Tabela 2.

Observa-se na Tabela 2 que as diferenças entre as médias e as medianas de CE, Ca e K foram pequenas, sugerindo uma distribuição aproximadamente normal do logaritmo dos dados. A aplicação do teste de Shapiro Wilk a nível de 1% de probabilidade, revelou que as variáveis químicas condutividade elétrica, potássio e magnésio seguiram uma distribuição lognormal, tendo sido rejeitada esta hipótese para o cálcio. Os histogramas (Figuras 18, 19, 20 e 21) e os gráficos de probabilidade (Figuras 22, 23, 24 e 25) ilustram e reforçam tais observações.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros estatísticos das variáveis transformadas condutividade elétrica [$Y=\ln(CE)$], potássio [$Y=\ln(K+1)$], cálcio [$Y=\ln(Ca^{2+})$] e magnésio [$Y=\ln(Mg^{2+})$], obtidos a partir de 182 observações amostradas.

Variáveis	Média	Mediana	Desvio	CV (%)	Mín.	Máx.	A total	Q. inf.	Q. sup.	A. interq.	Ass.	Curt.	W
químicas			Padrão										
CE (dS/m)	1,65	1,71	0,84	50,58	-0,45	3,45	3,90	1,07	2,31	1,24	-0,24	-2,37	0,96**
K (cmol/kg)	0,21	0,20	0,09	42,47	0,05	0,51	0,46	0,15	0,26	0,11	0,86	3,65	0,97**
Ca (cmol/kg)	0,03	0,14	1,00	3664,33	-3,22	1,68	4,90	-0,63	0,83	1,46	-0,70	3,30	0,95
Mg (cmol/kg)	0,11	0,96	0,98	885,15	-2,99	2,25	5,24	0,73	-0,60	1,33	-0,36	2,24	0,97**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

CV= Coeficiente de variação; Méd.=Média; Mín.= Mínimo; Máx.= Máximo; Qsup.= Quartil superior; Qinf.=Quartil inferior; A.int. = Amplitude interquartilica; Ass.= Assimetria; Curt.=Curtose; W=Shapiro Wilk.

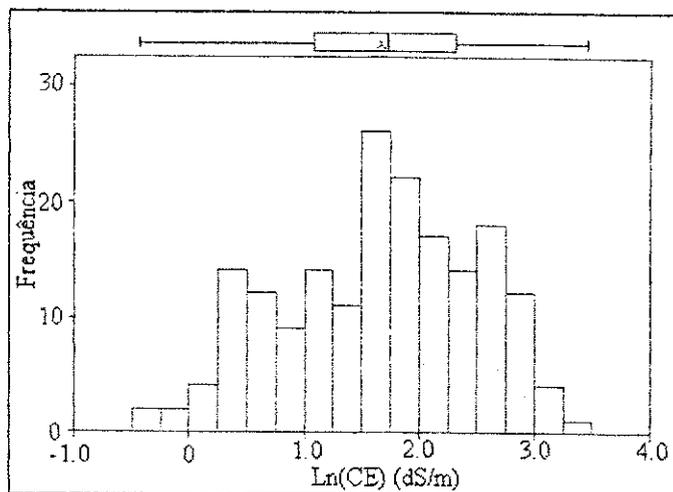


Figura 18. Histograma dos dados transformados de condutividade elétrica $Y=[\ln(CE)]$.

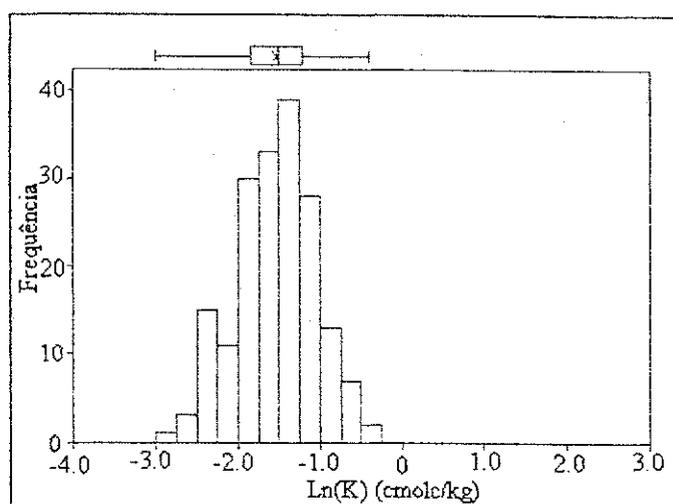


Figura 19. Histograma dos dados transformados de potássio $Y=[\ln(K^+)]$.

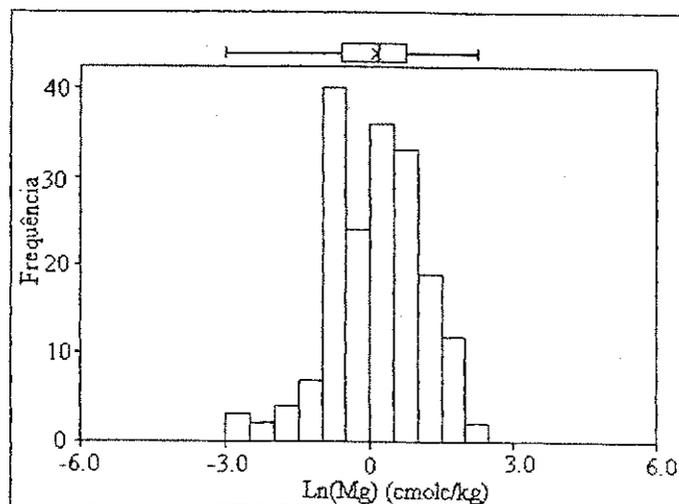


Figura 20. Histograma dos dados transformados de magnésio $Y = [\text{Ln}(\text{Mg}^{++})]$.

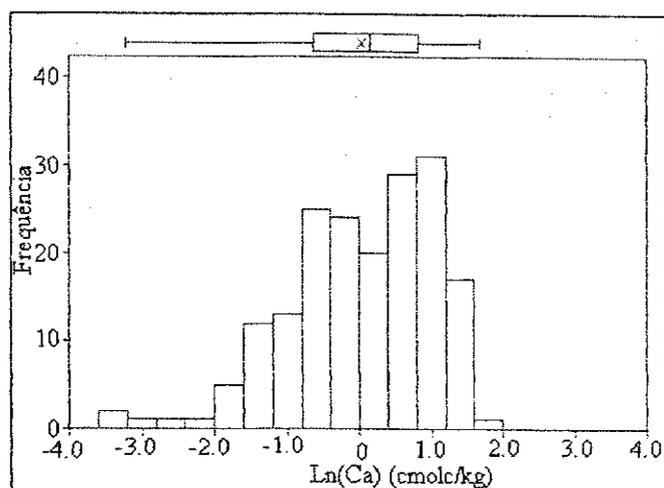


Figura 21. Histograma dos dados transformados de cálcio $Y = [\text{Ln}(\text{Ca}^{++})]$.

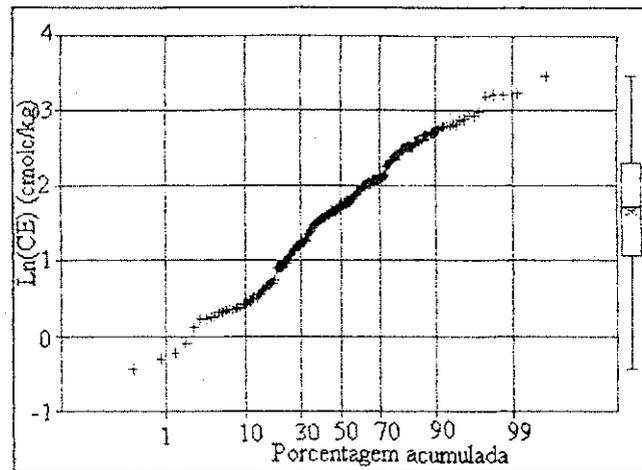


Figura 22. Gráfico de probabilidade normal dos dados transformados de condutividade elétrica $Y=[\text{Ln}(CE)]$.

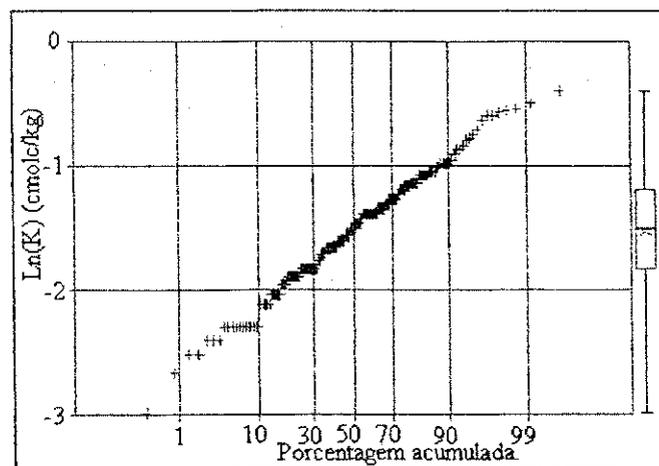


Figura 23. Gráfico de probabilidade normal dos dados transformados de potássio $Y=[\text{Ln}(K^+)]$.

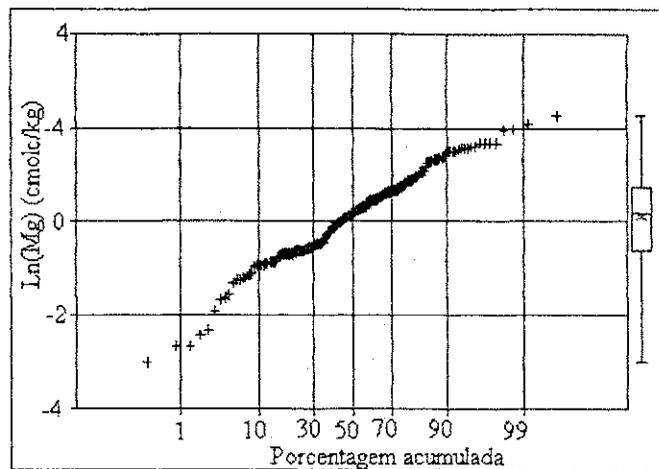


Figura 24. Gráfico de probabilidade normal dos dados transformados de magnésio $Y=[\text{Ln}(\text{Mg}^{++})]$.

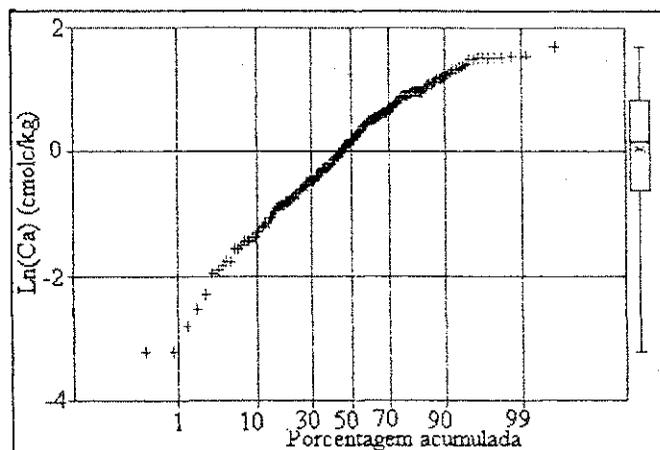


Figura 25. Gráfico de probabilidade normal dos dados transformados de cálcio $Y=[\text{Ln}(\text{Ca}^{++})]$.

A observação de dados considerados discrepantes ou “outliers”, ou seja, aqueles que presente em um conjunto de dados se diferenciam da maioria, é um aspecto que merece atenção na análise descritiva.

Com base no critério de Hoaglin (1983), foram eliminados quatorze valores da variável magnésio, cinco valores da variável condutividade elétrica, três valores da variável capacidade de troca catiônica e um valor da variável cálcio e potássio. Estes valores foram considerados discrepantes. Por outro lado, no conjunto de dados da percentagem de sódio trocável, pH e sódio não ocorreu nenhum valor “outlier”.

A retirada destes valores das variáveis químicas cálcio, potássio e CTC, não afetou a medida de posição mediana, e nem a amplitude interquartilica. Por outro lado, a condutividade elétrica e o magnésio apresentaram alterações nessas medidas quando retirou-se os valores “outliers”.

A retirada desses valores em todas as variáveis químicas exerceu alterações na medida de dispersão amplitude total. Este resultado era esperado, tendo em vista que, esta medida é bastante influenciada por valores extremos.

Na análise descritiva geral, o comportamento espacial dos dados não foi levado em consideração, tratando os valores de cada variável como independentes espacialmente. Portanto, para visualizar o comportamento e verificar a existência de tendência em alguma direção da malha experimental, o que seria incompatível para a aplicação da geoestatística, realizou-se uma análise descritiva espacial, lançando mão de alguns recursos gráficos.

Os gráficos “post-plot” gerados pelo programa Geo-EAS (Engelunds & Sparks 1988) apresentados nas Figuras 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 e 33 constituem uma forma de visualização do padrão de variabilidade dos dados na área experimental. A ocorrência de

símbolos iguais de forma concentrada nestes gráficos pode indicar uma sub-região. A identificação de variações gradativas em alguma direção indica a existência de tendência.

Analisando-se a Figura 26, observa-se que os menores valores de pH, ou seja, aqueles compreendidos no intervalo 6,77 a 8,79, concentraram em uma determinada região da área experimental, ou seja, no final desta, enquanto, que os demais valores encontram-se dispersos ao longo de toda a área. Sabendo-se que os solos com valores de pH acima de 8,50 são considerados alcalinos verificou-se, através dos valores observados nos quartis, que em aproximadamente 75% da área experimental, o solo se inclui nesta categoria. Estes valores de pH indicam uma condição de sodicidade deste solo. Tal condição tem que ser observada atentamente tendo em vista que podem ocasionar, toxidez ou deficiências de determinados elementos químicos nas plantas.

De forma semelhante a distribuição dos valores de pH, os menores valores de percentagem de sódio trocável ($< 42,81\%$) (Figura 27) também se concentraram em determinada região da área experimental, ou seja, no final desta, sendo os demais valores dispersos em toda a área, caracterizando, assim uma variabilidade acentuada deste parâmetro. Resultados obtidos por Coelho (1983), em solo aluvional, também apontam para uma variabilidade crescente desta variável no solo. A causa desta variabilidade, segundo Coelho & Ferreyra (1986), pode ser atribuída ao manejo inadequado desses solos, principalmente quando são submetidos á irrigação.

Observa-se na Figura 28 que em geral os valores de CE encontram-se dispersos em toda a área, com exceção de alguns valores baixos de CE que se acham concentrados no final das últimas colunas. A variabilidade encontrada para esta variável se explicaria, provavelmente, pela presença de quantidades de sais solúveis presentes na solução do solo.

Na Figura 29, observa-se que os valores de CTC estão situados de forma dispersa ao longo de toda a área revelando uma ampla variabilidade. O fenômeno de troca de catiônica assume relevância tendo em vista que afeta o movimento e a retenção de íons no solo, bem como os processos de floculação e dispersão dos colóides do solo. Quanto ao aspecto da fertilidade as variações encontradas para CTC tem que ser bastante analisadas para recomendação de futuras adubações e/ou aplicação de práticas de calagens (Mello et al, 1989).

Analisando-se a Figura 30, observa-se que os valores baixos de potássio encontram-se localizados no final da área. Os demais valores encontram-se de forma bastante dispersa, apesar de serem observados pequenos locais que mostram a concentração de determinados valores. Verifica-se através dos valores dos quartis que houve uma variabilidade considerada elevada quanto aos valores obtidos. Da mesma forma Souza (1992), afirma que esta variável apresenta uma elevada variabilidade e atribui a mesma ao manejo do solo.

Na Figura 31 verifica-se uma predominância de valores altos de cálcio situados nas duas últimas colunas. Os demais valores acham-se dispersos em toda a área, apesar de terem sido observadas pequenas concentrações de determinados valores em alguma região da área. Observa-se, através dos valores encontrados nos quartis, que há uma maior concentração de valores considerados baixos para o cálcio.

A Figura 32 mostra a distribuição dos valores de magnésio ao longo de toda a área. Observa-se nesta figura que os maiores valores de magnésio estão localizados no final da área. Os demais valores encontram-se dispersos em toda a área, apesar de serem observadas pequenas concentrações de determinados valores em alguma região da área. Verifica-se através dos valores encontrados nos quartis que, aproximadamente 50% dos dados

determinados estão enquadrados numa categoria de valores considerados altos para o magnésio.

Observa-se na Figura 33 que os menores valores de sódio concentram-se na penúltima coluna. Os demais valores acham-se localizados de forma bastante dispersa ao longo de toda a área. Verifica-se ainda que este elemento apresenta uma ampla variabilidade, desde o valor mínimo de 0,04 até 22,68 cmol_c/kg. Esta complexidade de variação constatada pode ser atribuída provavelmente ao manejo inadequado, drenagem deficiente e também a elevada taxa de evaporação da água da superfície do solo que contribui para a ascensão deste elemento para a superfície do mesmo. A presença deste elemento em grandes proporções pode ocasionar a dispersão dos colóides do solo, contribuindo para a formação de camadas de impedimento no subsolo, reduzindo a capacidade de infiltração de água do solo, além de promover, juntamente com outros sais, o aumento do potencial osmótico da solução do solo, dificultando desta maneira a absorção de água e nutrientes exigidos pelas plantas (Santos & Muraoka, 1997).

Analisando, de modo geral as Figuras, de 26 a 33 observa-se que a parte final da área experimental comportou-se de modo diferente da área como um todo, ou seja, nessa região ocorreram os menores valores de pH, PST e CE, Na⁺ e K⁺, e os maiores valores de Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺.

Para analisar o comportamento dos dados das variáveis químicas estudadas em relação às direções X e Y da malha experimental foram feitos os gráficos de dispersão dos dados por linhas e por colunas, os quais estão apresentados nas Figuras 34 e 35, respectivamente. Observa-se na Figura 34 que ocorreu tendência nos valores de pH, cálcio e magnésio, na direção Y (Gráficos a, f e g), sendo mais acentuada para o pH, principalmente nas duas últimas colunas. Para esta variável esta tendência observada compromete as hipóteses de estacionaridade, o que não ocorreu para o cálcio e magnésio. Em relação as outras variáveis químicas (Gráficos b, c, h e e) não se observa tendência na direção Y.

Na Figura 35 apenas os dados de K, Ca e Mg apresentaram tendência na direção X da malha experimental (Gráfico e f e g). No entanto, estas tendências como aquelas observadas na Figura 34, não compromete a aplicação da geoestatística para as variáveis químicas estudadas.

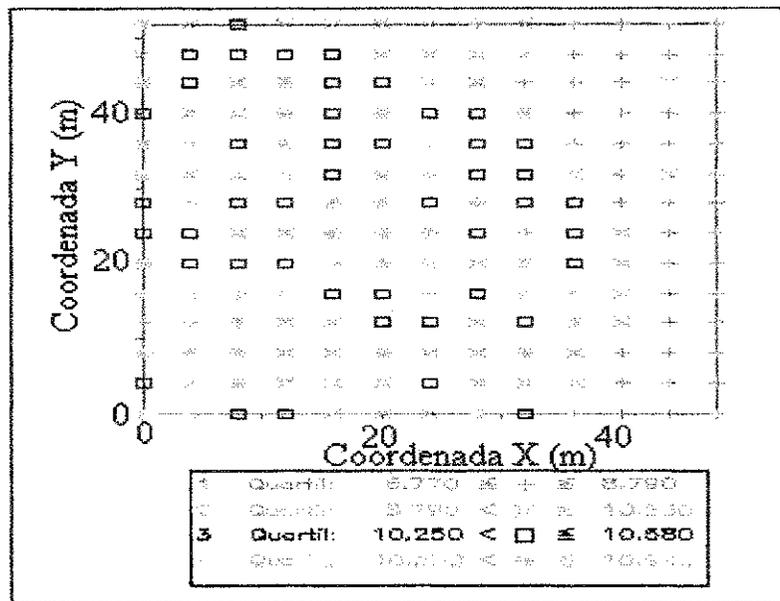


Figura 26. Postplot dos dados originais de pH em água 1:2,5.

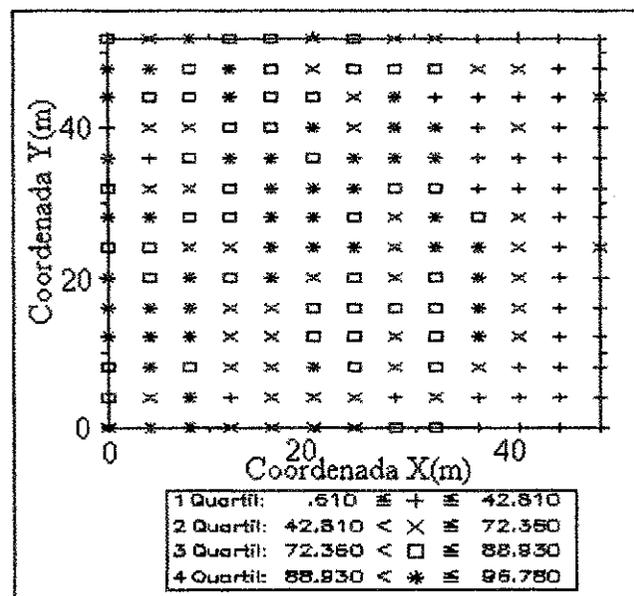


Figura 27. "Postplot" dos dados originais de percentagem de sódio trocável

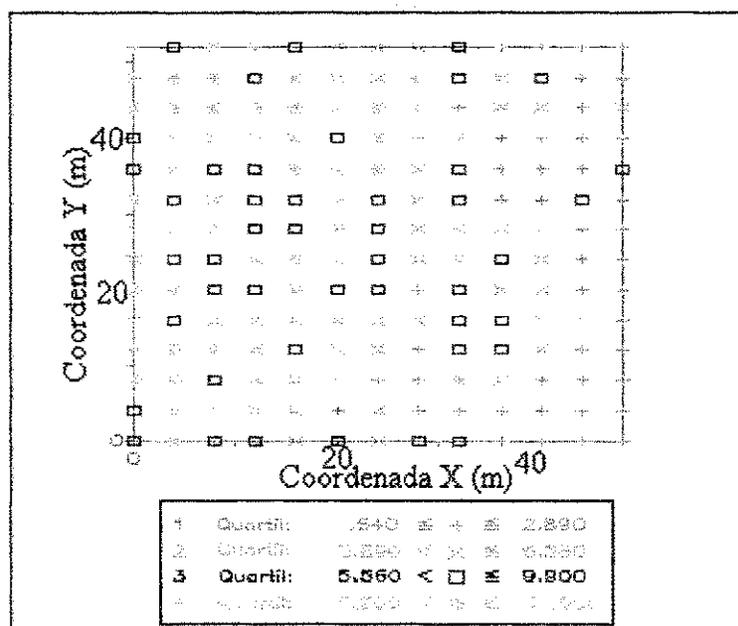


Figura 28. "Postplot" dos dados originais de condutividade elétrica (dS/m).

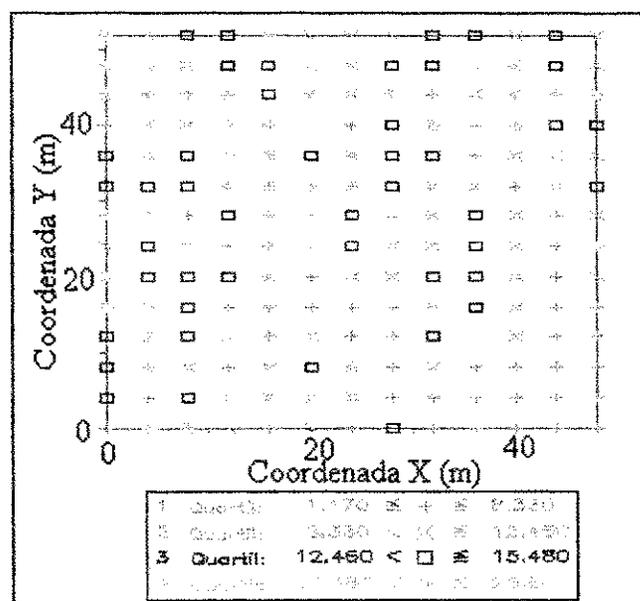


Figura 29. "Postplot" dos dados originais de capacidade de troca catiônica.

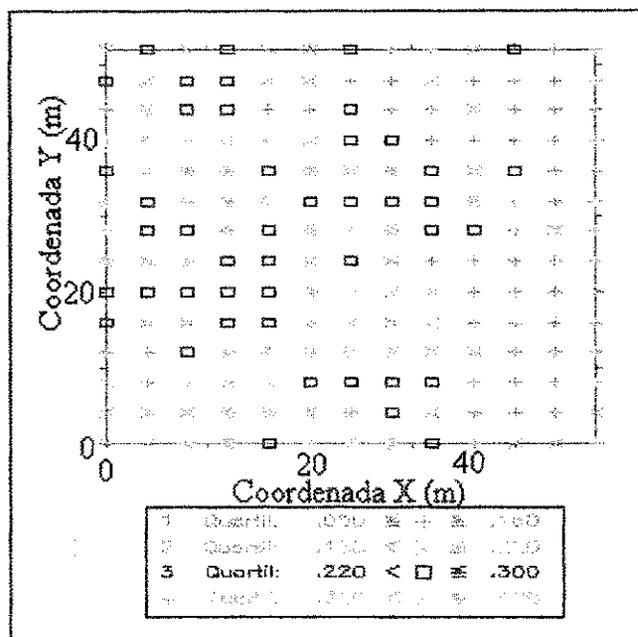


Figura 30. "Postplot" dos dados originais de potássio.

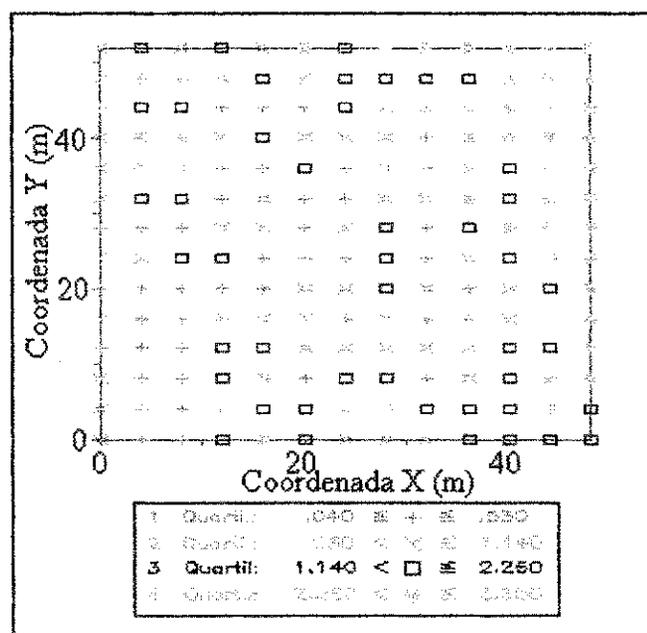


Figura 31. "Postplot" dos dados originais de cálcio

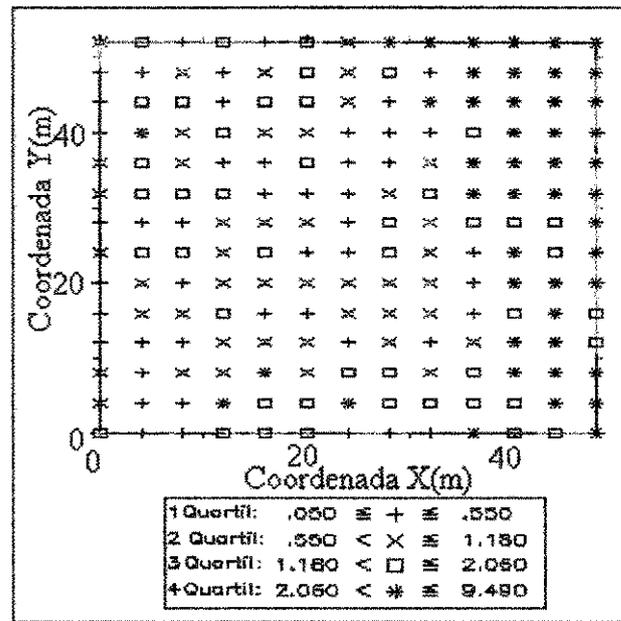


Figura 32. "Postplot" dos dados de magnésio.

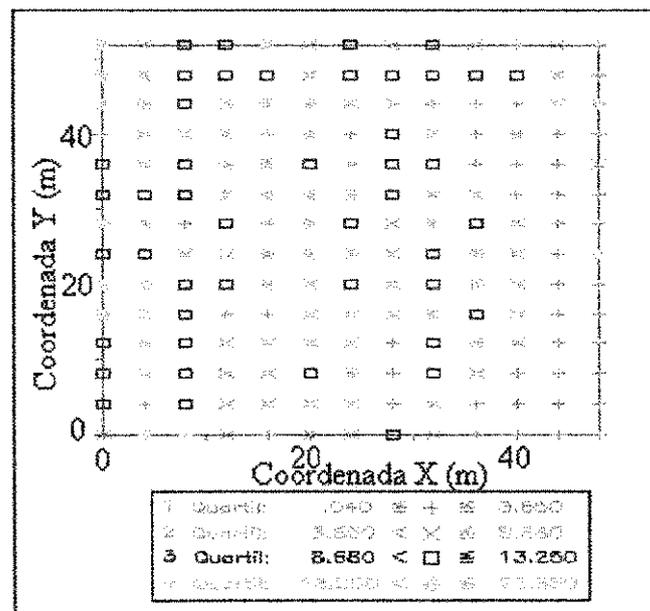


Figura 33. "Postplot" dos dados originais de sódio.

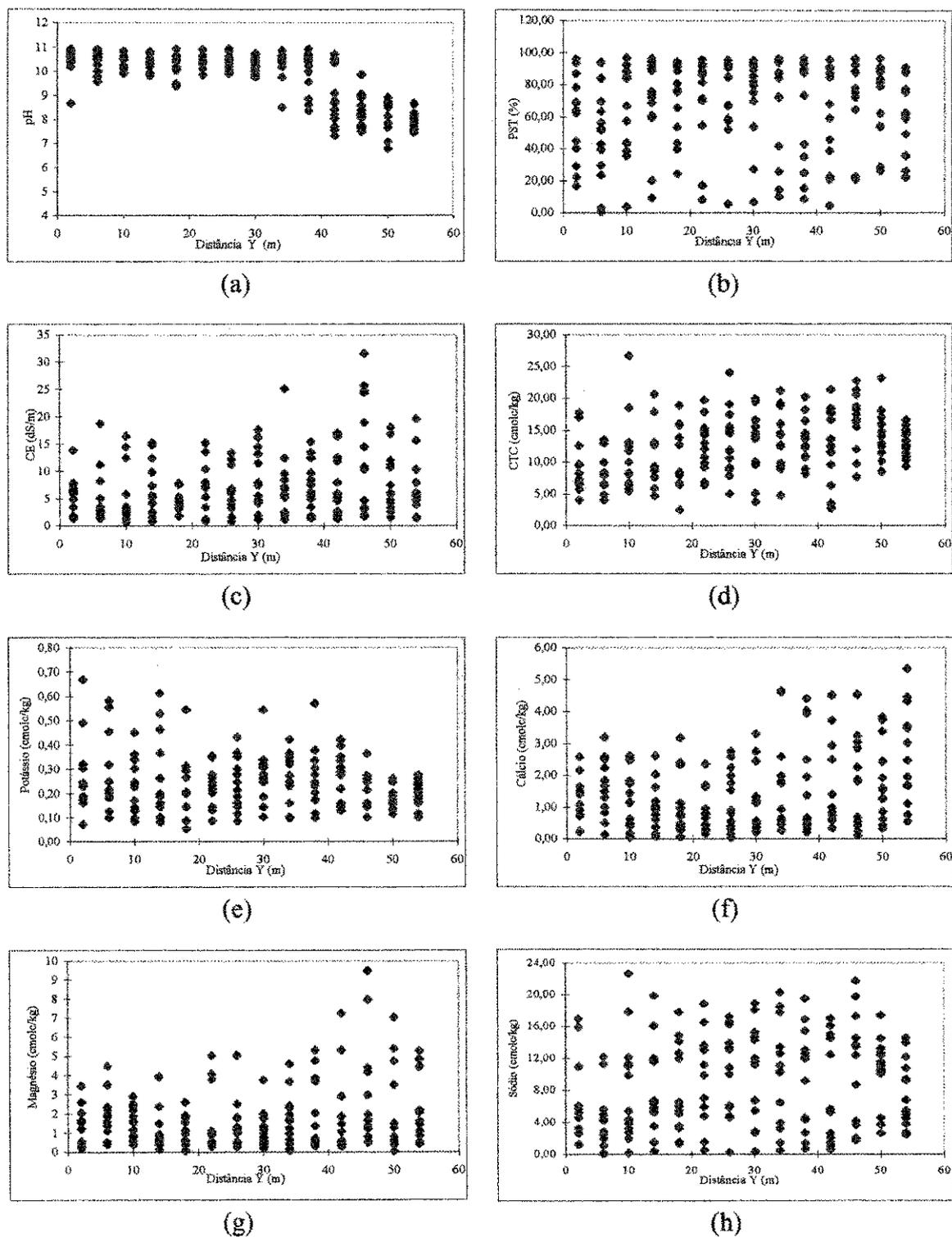
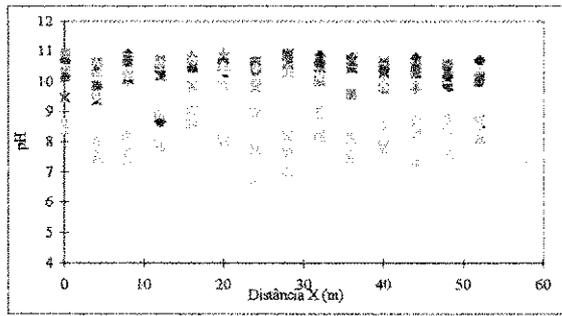
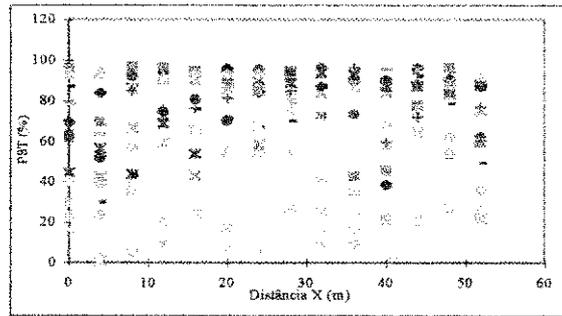


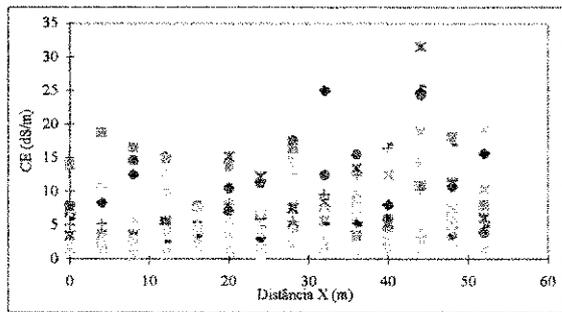
Figura 34. Gráficos de dispersão por linhas dos dados de pH, PST, CE, CTC, potássio, cálcio, magnésio, e sódio.



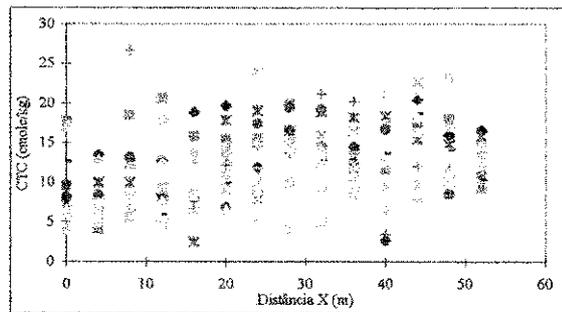
(a)



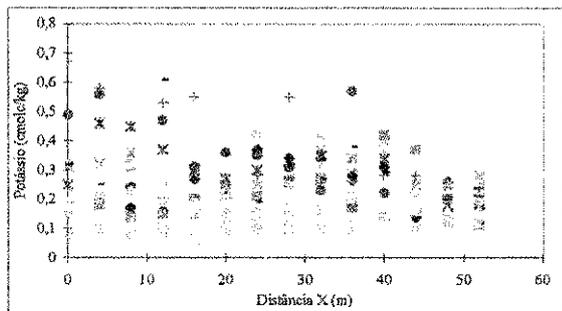
(b)



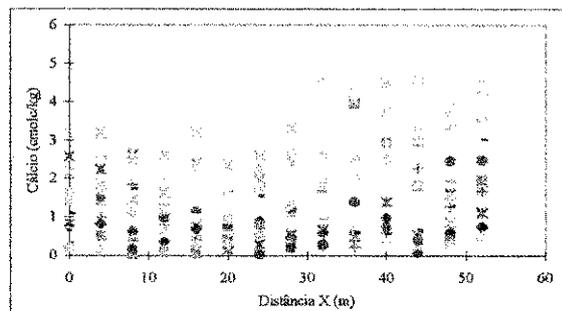
(c)



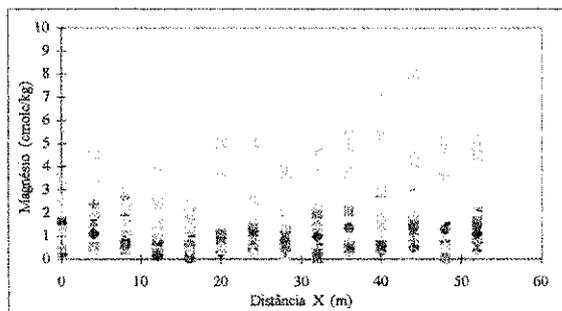
(d)



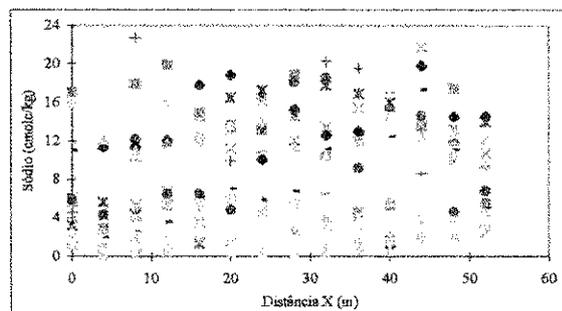
(e)



(f)



(g)



(h)

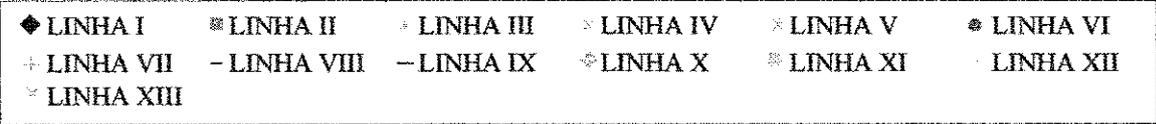


Figura 35. Gráficos de dispersão por colunas dos dados de pH, PST, CE, CTC, potássio, cálcio, magnésio e sódio.

4.2. Análises geoestatísticas

Nas análises descritivas gerais assume-se que os pontos amostrais são independentes e aleatoriamente distribuídos, isto é, a posição espacial de cada ponto não é levada em consideração. Este tipo de análise não permite a identificação de pontos discrepantes, nem a existência de tendência em alguma direção da malha experimental, o que só é possível através das análises descritivas espaciais.

Para a aplicação das técnicas geoestatísticas é de fundamental importância uma boa análise exploratória dos dados através das análises descritivas (geral e espacial). Este tipo de análise permite identificar o padrão de comportamento dos dados e auxiliar na tomada de decisão quanto a aceitação das hipóteses de estacionariedade. Através das análises descritivas anteriores, pode-se assumir a hipótese intrínseca para as variáveis químicas PST, CE, CTC, potássio, cálcio, magnésio e sódio. A variável pH apresentou uma ligeira tendência no final da área experimental, a qual foi desconsiderada nas análises geoestatísticas.

4.2.1. Semivariograma

A construção de semivariogramas constitui uma das técnicas geoestatísticas que permite identificar a dependência espacial entre as observações, bem como estimar a distância, a partir da qual as observações são consideradas independentes.

As Figuras 36 e 37 mostram o semivariograma experimental de todas as variáveis químicas estudadas. Observa-se que a maioria dos semivariogramas construídos se

ajustaram bem ao modelo esférico, com exceção para o pH que após a eliminação de dados de uma pequena região de tendência, e magnésio, com eliminação de dados discrepantes, que se ajustaram melhor ao modelo gaussiano e linear, respectivamente. Vários pesquisadores (Trangmar et al, 1987; Souza, 1992; Cambardella et al, 1994; Salviano, 1996), realizando estudos de variabilidade espacial de solo verificaram que o modelo esférico foi o mais adaptado para descrever o comportamento de semivariograma de variáveis de solos.

A análise do semivariograma da Figura 36-a, para o conjunto total de dados de pH, não revelou uma estrutura espacial bem definida, apresentando uma tendência crescente nos valores da semivariância sem atingir o patamar. Por outro lado, a análise dos dados sem a região de tendência, observada no final da área, demonstrou uma estrutura espacial permitindo o ajuste de um modelo tipo gaussiano para o semivariograma.

A análise do semivariograma da Figura 37-j, considerando-se o conjunto total de dados para magnésio, não revelou estrutura espacial definida, não atingindo um patamar. Porém, quando efetuou-se a retirada de dados considerados discrepantes, verificou-se a existência de estrutura espacial (Figura 37-l), permitindo o ajuste de um modelo linear para o semivariograma.

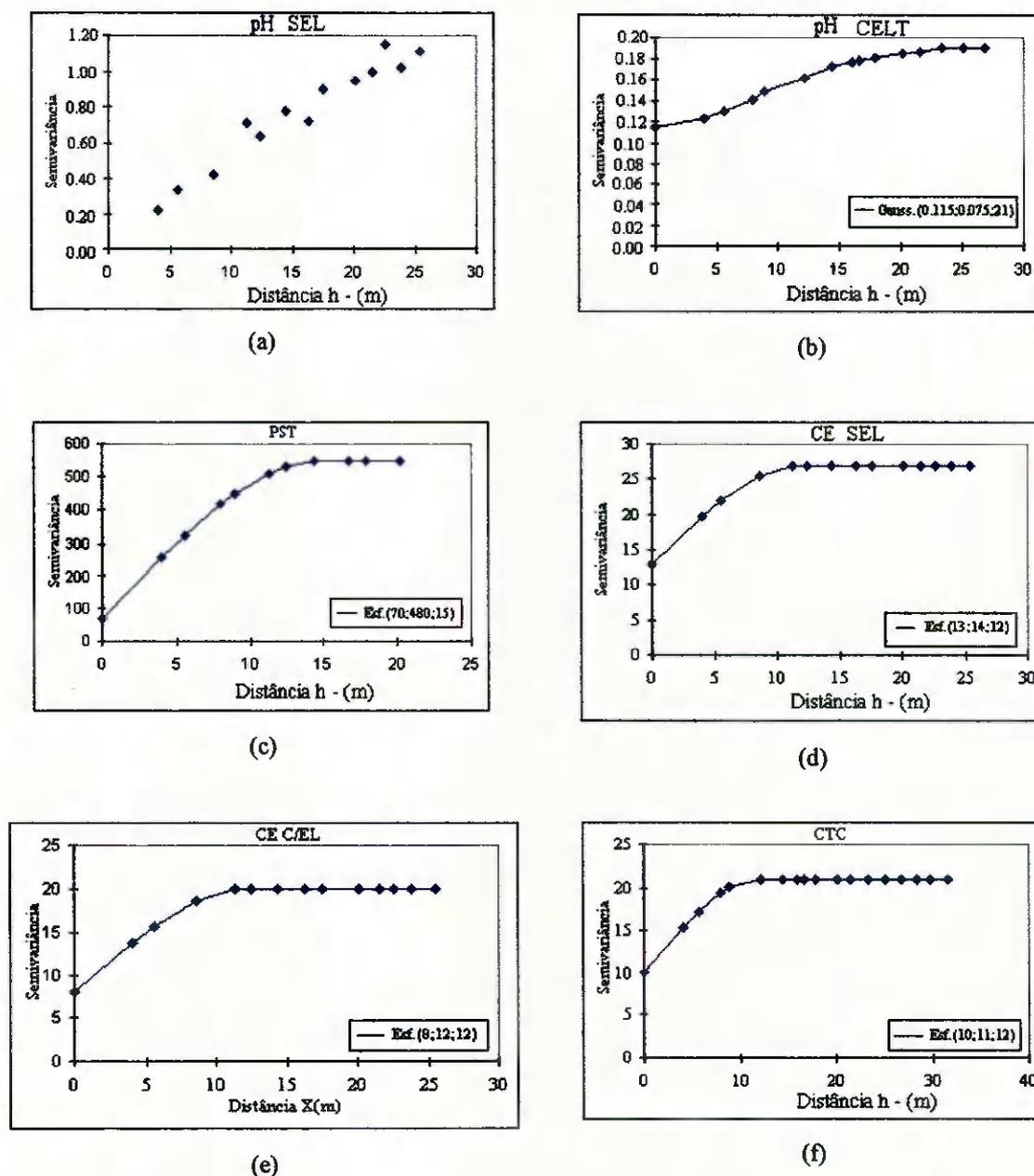
Observando-se os semivariogramas para CE, com e sem eliminação dos dados considerados discrepantes (Figura 36-d, e), verifica-se que foi possível ajustar o mesmo modelo esférico para o semivariograma, porém as estimativas dos seus parâmetros C_0 e C_0+C_1 foram alterados, enquanto o alcance permaneceu o mesmo nos dois casos. Estas observações são importantes porque mostra a influência de valores considerados discrepantes.

ajustaram bem ao modelo esférico, com exceção para o pH que após a eliminação de dados de uma pequena região de tendência, e magnésio, com eliminação de dados discrepantes, que se ajustaram melhor ao modelo gaussiano e linear, respectivamente. Vários pesquisadores (Trangmar et al, 1987; Souza, 1992; Cambardella et al, 1994; Salviano, 1996), realizando estudos de variabilidade espacial de solo verificaram que o modelo esférico foi o mais adaptado para descrever o comportamento de semivariograma de variáveis de solos.

A análise do semivariograma da Figura 36-a, para o conjunto total de dados de pH, não revelou uma estrutura espacial bem definida, apresentando uma tendência crescente nos valores da semivariância sem atingir o patamar. Por outro lado, a análise dos dados sem a região de tendência, observada no final da área, demonstrou uma estrutura espacial permitindo o ajuste de um modelo tipo gaussiano para o semivariograma.

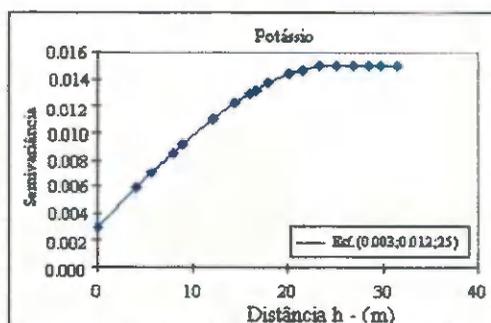
A análise do semivariograma da Figura 37-j, considerando-se o conjunto total de dados para magnésio, não revelou estrutura espacial definida, não atingindo um patamar. Porém, quando efetuou-se a retirada de dados considerados discrepantes, verificou-se a existência de estrutura espacial (Figura 37-l), permitindo o ajuste de um modelo linear para o semivariograma.

Observando-se os semivariogramas para CE, com e sem eliminação dos dados considerados discrepantes (Figura 36-d, e), verifica-se que foi possível ajustar o mesmo modelo esférico para o semivariograma, porém as estimativas dos seus parâmetros C_0 e C_0+C_1 foram alterados, enquanto o alcance permaneceu o mesmo nos dois casos. Estas observações são importantes porque mostra a influência de valores considerados discrepantes.

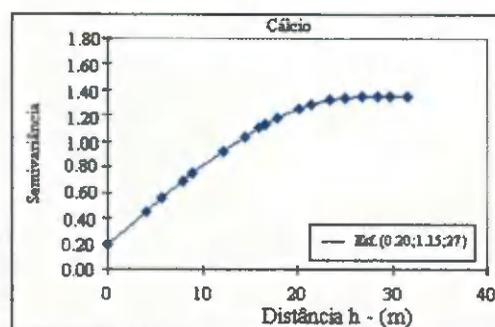


SEL= Sem eliminação de dados
 CEL=Com eliminação de dados
 CELT=Com eliminação de dados da região de
 tendência

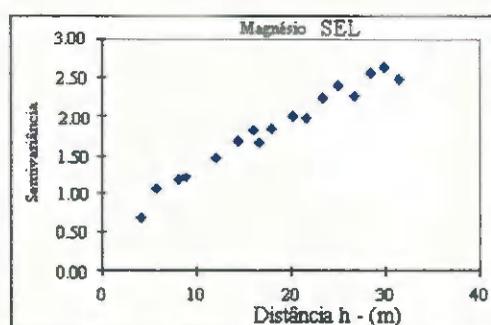
Figura 36. Semivariograma para as variáveis químicas pH, PST, CE e CTC, mostrando os modelos ajustados e as estimativas dos parâmetros C_0 , C_1 e alcance da dependência espacial.



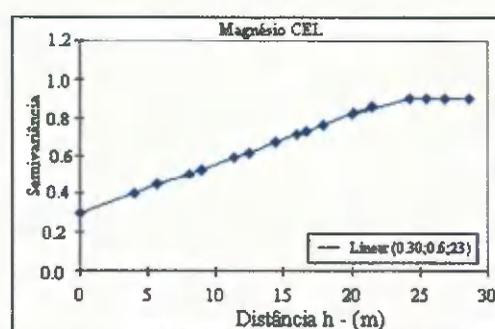
(h)



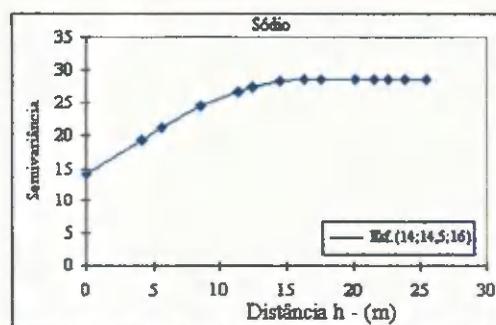
(i)



(j)



(l)



(m)

Figura 37. Semivariogramas para as variáveis químicas, potássio, cálcio, magnésio e sódio, mostrando o modelo ajustado e as estimativas de seus parâmetros C_o , C_l e alcance da dependência espacial.

A Tabela 4 apresenta as estimativas dos seus parâmetros característicos dos modelos de semivariogramas ajustados, efeito pepita (C_o), patamar (C_o+C_l), alcance da dependência espacial (a) e a relação efeito pepita/patamar, expressa em porcentagem, isto é,

$[Co / (Co + CI)] \times 100$. O efeito pepita, que é um parâmetro importante do semivariograma, reflete um erro analítico, indicando uma variabilidade não explicada, que pode ser devida tanto a erros de medidas como microvariação não detectada em função da distância de amostragem utilizada (Journel & Huigbregts, 1991). O efeito pepita expresso como porcentagem do patamar, tem como finalidade facilitar a comparação do grau de dependência espacial das variáveis em estudo o que pode ser feito utilizando-se a classificação de Cambardella et al, (1994), onde os semivariogramas com efeito pepita $\leq 25\%$, entre 25 e 75% e $> 75\%$, são considerados de forte, moderada e fraca dependência espacial, respectivamente.

Tabela 3. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas e relação nugget effect/patamar, expresso em porcentagem para todas as variáveis químicas estudadas.

Variável	Modelo	Co	Co + CI	a(m)	$[Co/(Co + CI)] \times 100$
PH	Gaussiano	0,115	0,19	21	61
PST	Esférico	70	550	15	13
CE (SEL*)	Esférico	13	27	12	48
CE (CEL**)	Esférico	8	18	12	44
CTC	Esférico	10	21	12	48
Potássio	Esférico	0,003	0,015	25	20
Cálcio	Esférico	0,20	1,35	27	15
Magnésio	Linear	0,30	0,90	23	33
Sódio	Esférico	14	28,5	16	49

* SEL= Sem eliminação de dados

**CEL= Com eliminação de dados

A análise do efeito pepita/patamar das variáveis químicas estudadas revela que a PST, o potássio e o cálcio apresentam forte dependência espacial, enquanto as demais variáveis químicas apresentaram dependência espacial moderada.

O alcance é um parâmetro do semivariograma que determina a região de dependência e independência entre os dados. As observações separadas por distâncias acima do alcance, não estão correlacionadas entre si, podendo ser tratadas como independentes. Os maiores valores de alcance obtidos foram de 27 e 25m para o cálcio e potássio, respectivamente. Por outro lado, os menores valores encontrados (12m) foram para a CTC e CE, conforme pode ser visto na Tabela 4 e nas Figuras 35 e 36.

Substituindo as estimativas dos parâmetros da Tabela 3 na expressão correspondente ao modelo ajustado, obtém-se as equações apresentadas na Tabela 4, para os semivariogramas das variáveis químicas estudadas.

Tabela 4. Equações ajustadas aos semivariogramas experimentais de todas as variáveis químicas estudadas.

Variável	Modelo	Equação
PH	Gaussiano	$\gamma(h)=0,115 + 0,075[1 - \exp(-3h^2/21^2)]$ Para $h \geq 0$
PST	Esférico	$\gamma(h)=70 + 480[1,5(h/15) - 0,5(h/15)^3]$ $0 < h < 15$ $\gamma(h)=550; h \geq 15$
CE (SEL*)	Esférico	$\gamma(h)=13 + 14[1,5(h/12) - 0,5(h/12)^3]$ $0 < h < 12$ $\gamma(h)=27; h \geq 12$
CE (CEL**)	Esférico	$\gamma(h)=8 + 10[1,5(h/12) - 0,5(h/12)^3]$ $0 < h < 12$ $\gamma(h)=18; h \geq 12$
CTC	Esférico	$\gamma(h)=10 + 11[1,5(h/12) - 0,5(h/12)^3]$ $0 < h < 12$ $\gamma(h)=21; h \geq 12$
Potássio	Esférico	$\gamma(h)=0,003 + 0,012[1,5(h/25) - 0,5(h/25)^3]$ $0 < h < 25$ $\gamma(h)=0,015; h \geq 25$
Cálcio	Esférico	$\gamma(h)=0,20 + 1,15[1,5(h/27) - 0,5(h/27)^3]$ $0 < h < 27$ $\gamma(h)=1,35; h \geq 27$
Magnésio (CEL**)	Linear	$\gamma(h)=0,30 + 0,60(h/23)$ $0 < h < 23$
Sódio	Esférico	$\gamma(h)=14 + 14,5[1,5(h/16) - 0,5(h/16)^3]$ $0 < h < 16$ $\gamma(h)=14,5; h \geq 16$

* SEL= Sem eliminação de dados;

** CEL= Com eliminação de dados.

4.2.2. Mapas de isolinhas

Os mapas de isolinhas representam as curvas de iguais valores da variável estudada. Estes mapas são construídos a partir das estimativas dos parâmetros do modelo ajustado ao semivariograma, através do processo de interpolação por krigagem. Os mapas de isolinhas foram construídos a partir de uma malha de 2,0m entre linhas e 2,0m entre colunas para a estimativa de valores em locais não medidos.

Os mapas de isolinhas apresentados pelas Figuras 38 a 45, mostram as curvas de iguais valores das variáveis químicas estudadas. Observa-se na maioria das figuras a presença de pequenas áreas com a ocorrência de muitas linhas de contorno fechadas, indicando as variações nos valores das variáveis estudadas. As curvas mais afastadas indicam uma menor variabilidade, enquanto que, as mais próximas indicam maior variabilidade. Assim, através destas observações torna-se possível localizar sub-regiões onde estão concentrados os maiores e ou menores valores de uma determinada variável química do solo.

Os mapas de isolinhas, obtidos pelo processo de krigagem, são importantes porque dão subsídio ao planejamento visando o manejo mais adequado de uma determinada área, tanto no aspecto de correção de salinidade, alcalinidade e acidez, quanto ao aspecto de adubação, permitindo uma melhor distribuição dos produtos a serem utilizados, evitando, assim, custos adicionais. O conhecimento destes mapas também torna-se importante no momento da localização de delineamentos experimentais, assim como, na interpretação dos resultados experimentais.

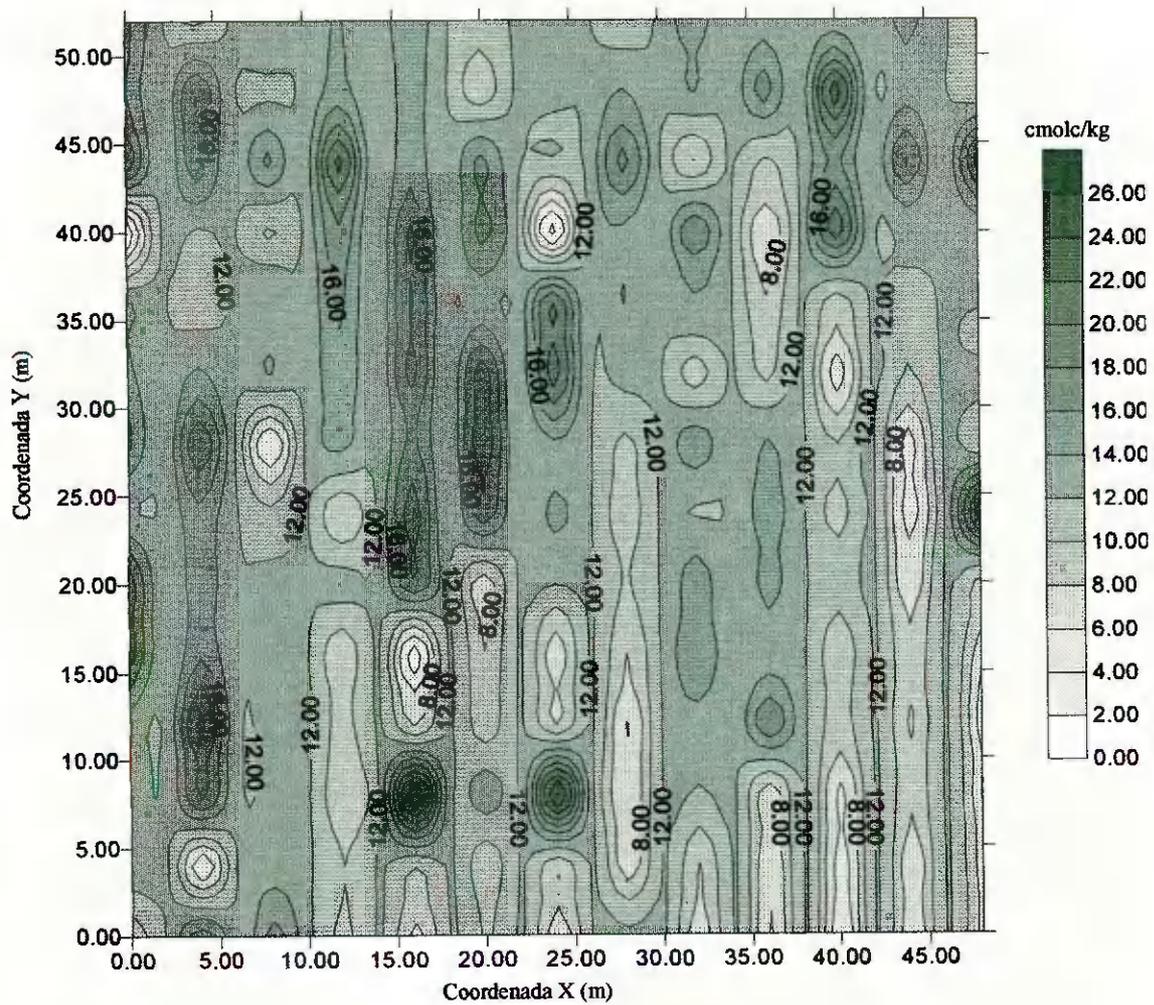


Figura 38. Gráfico de isolinhas de capacidade de troca catiônica.

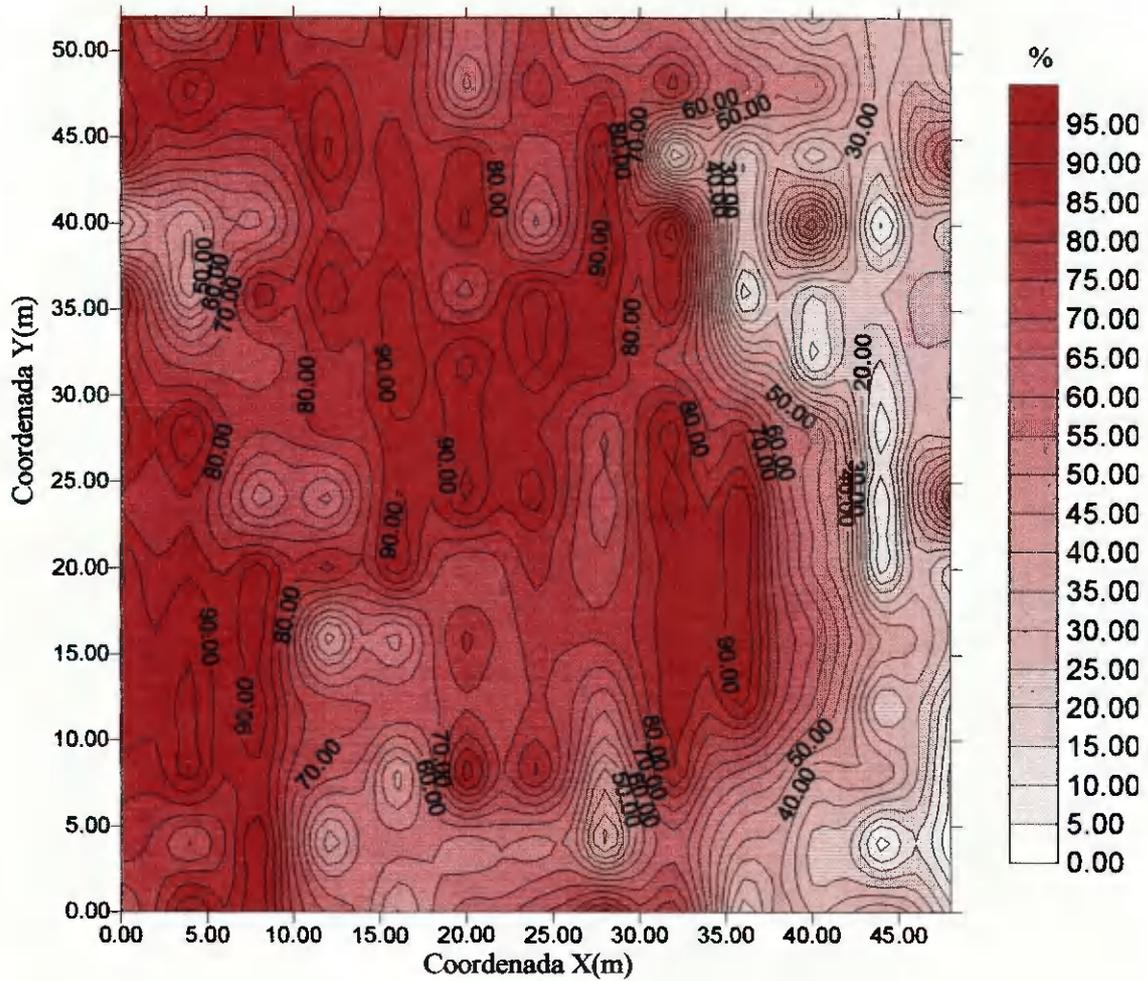


Figura 39. Gráfico de isolinhas de percentagem de sódio trocável.

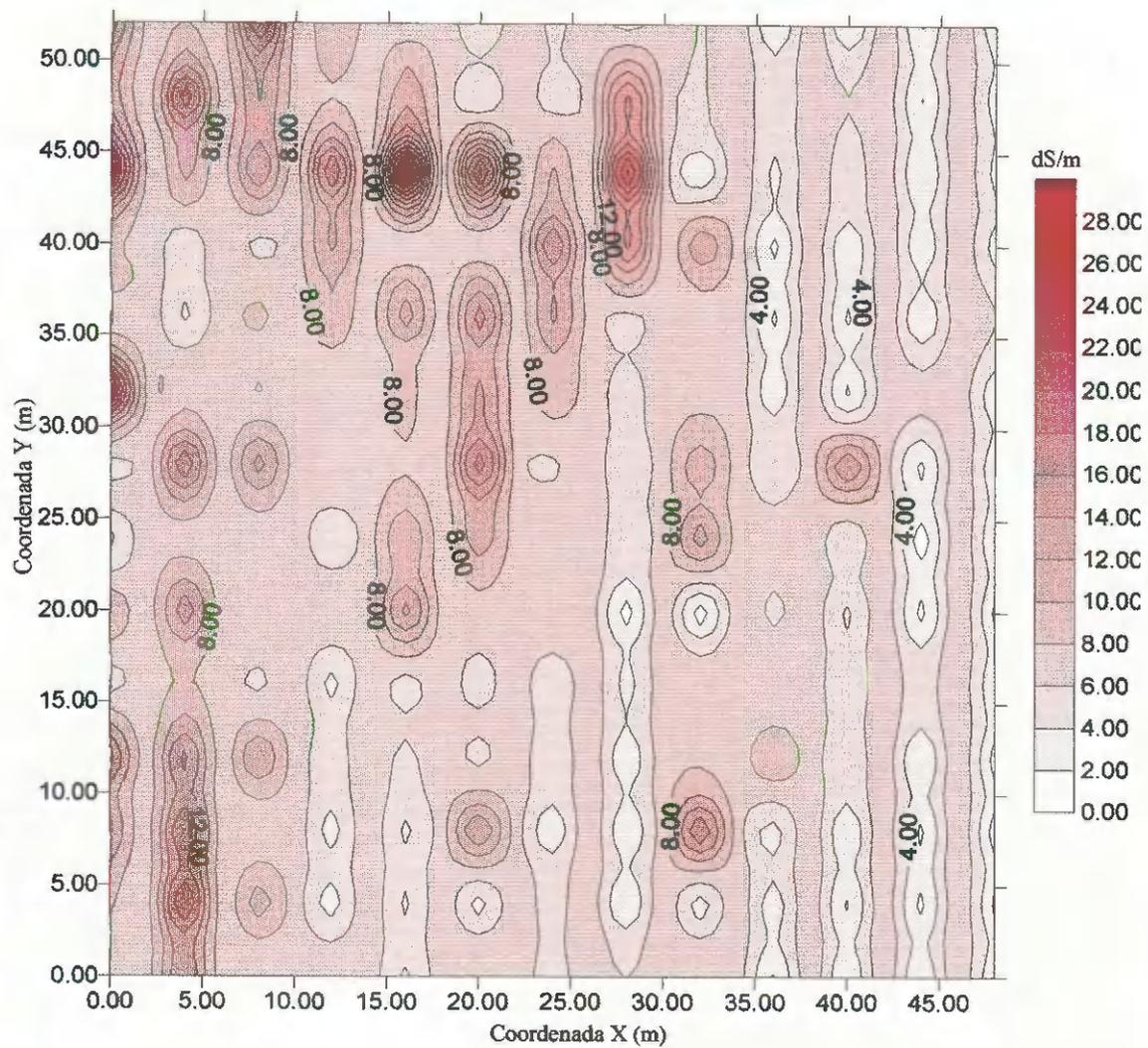


Figura 40 Gráfico de isolinhas de condutividade elétrica.

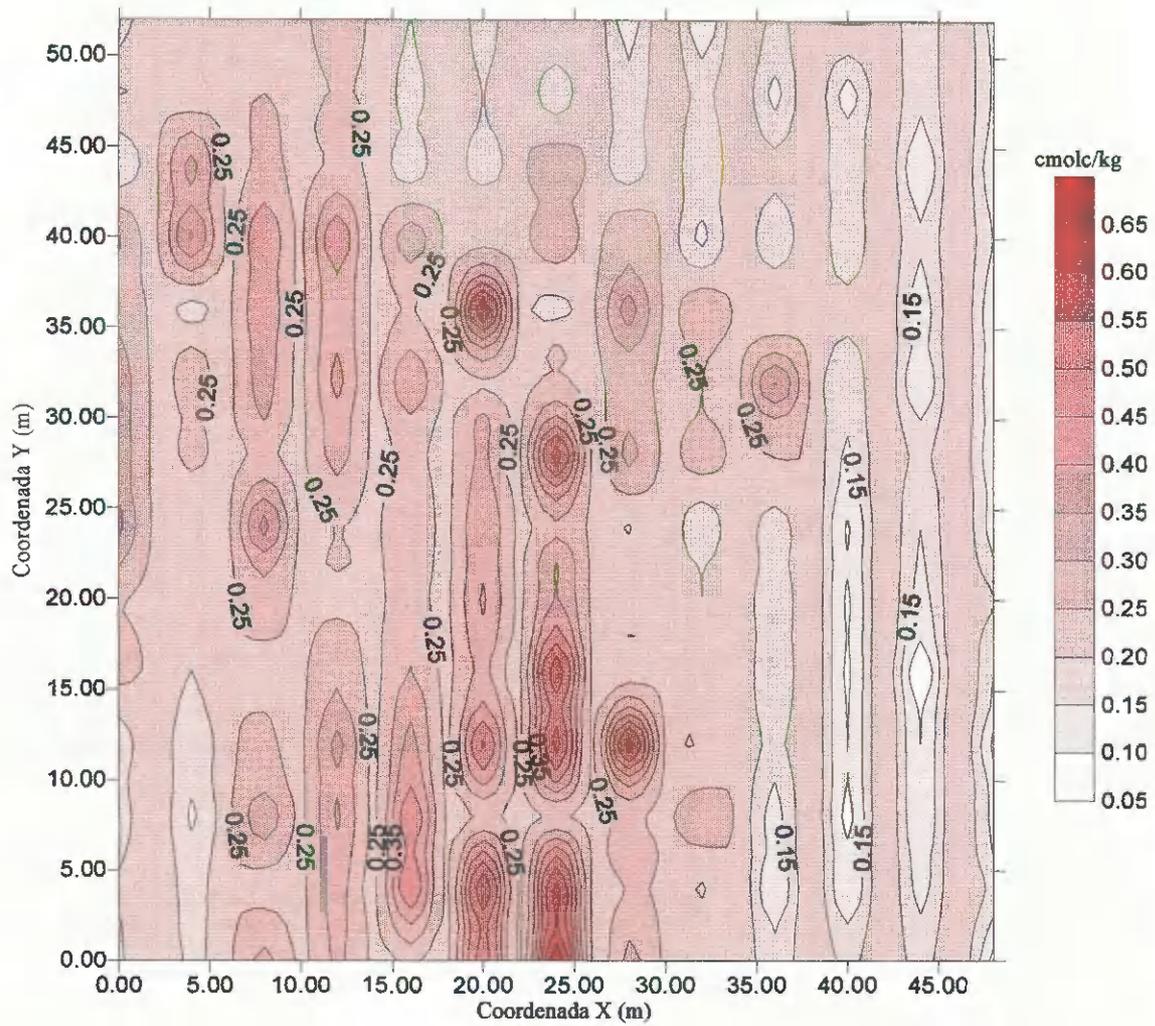


Figura 41. Gráfico de isolinhas de potássio.

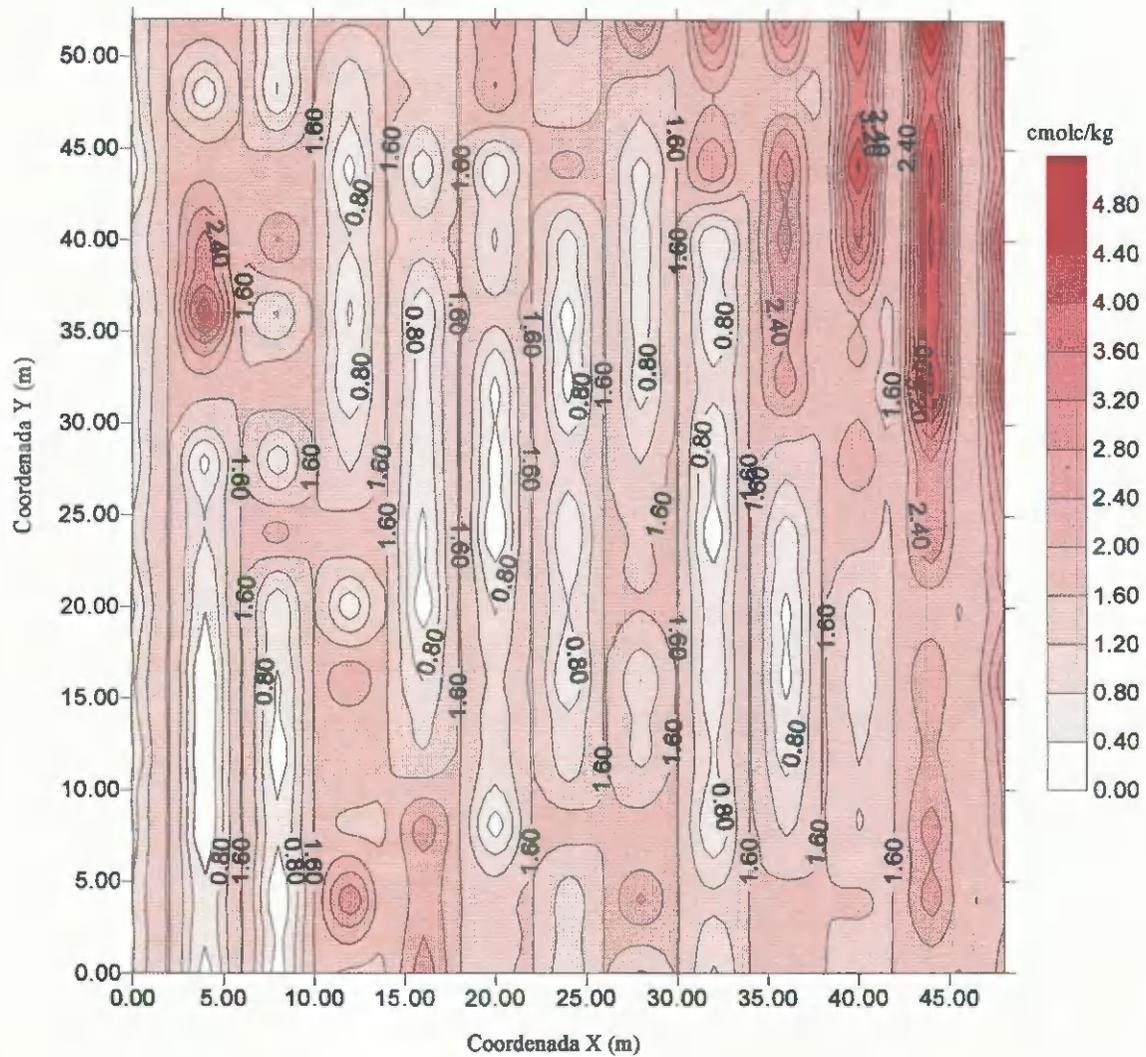


Figura 42. Gráfico de isolinhas de cálcio.

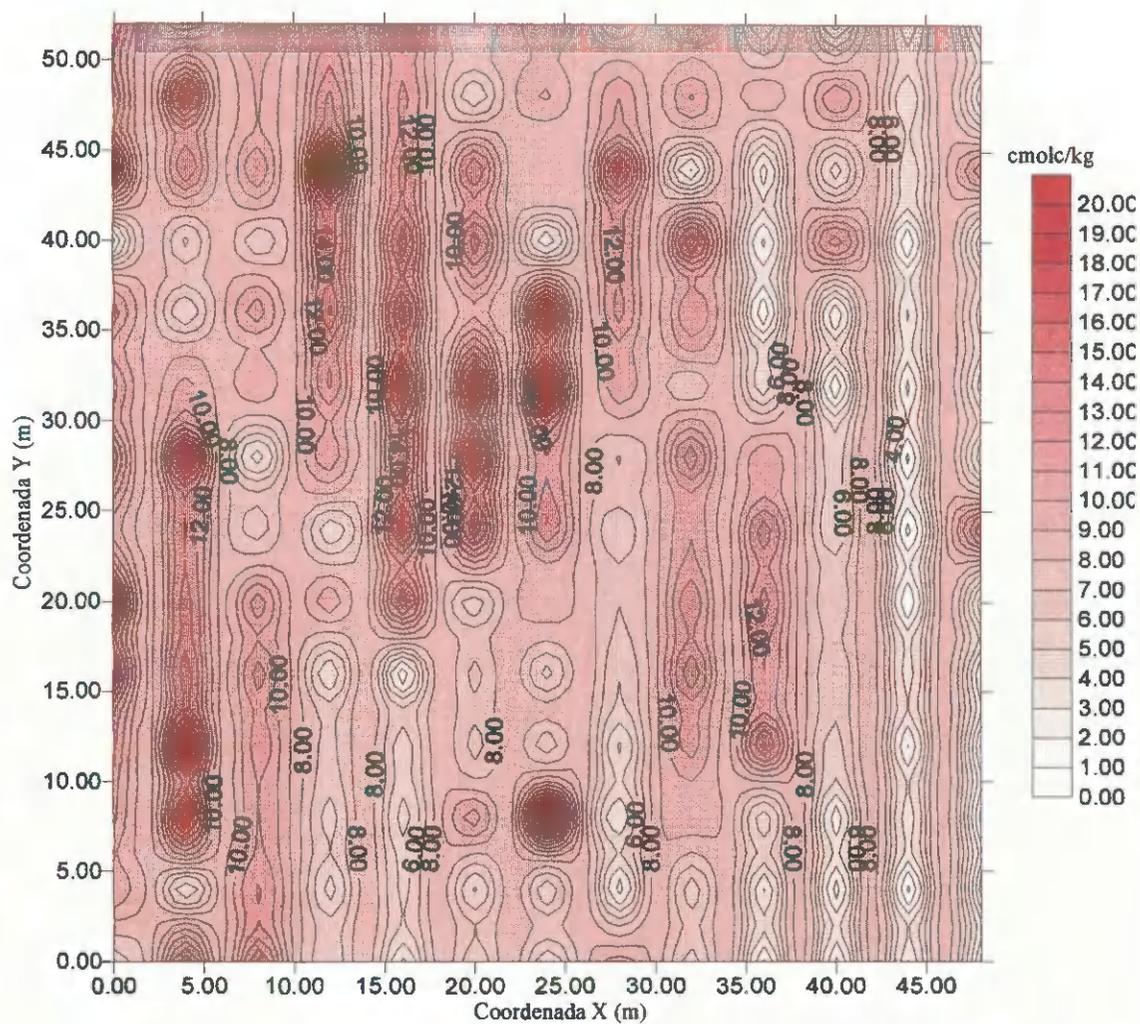


Figura 44. Gráfico de isolinhas de sódio.

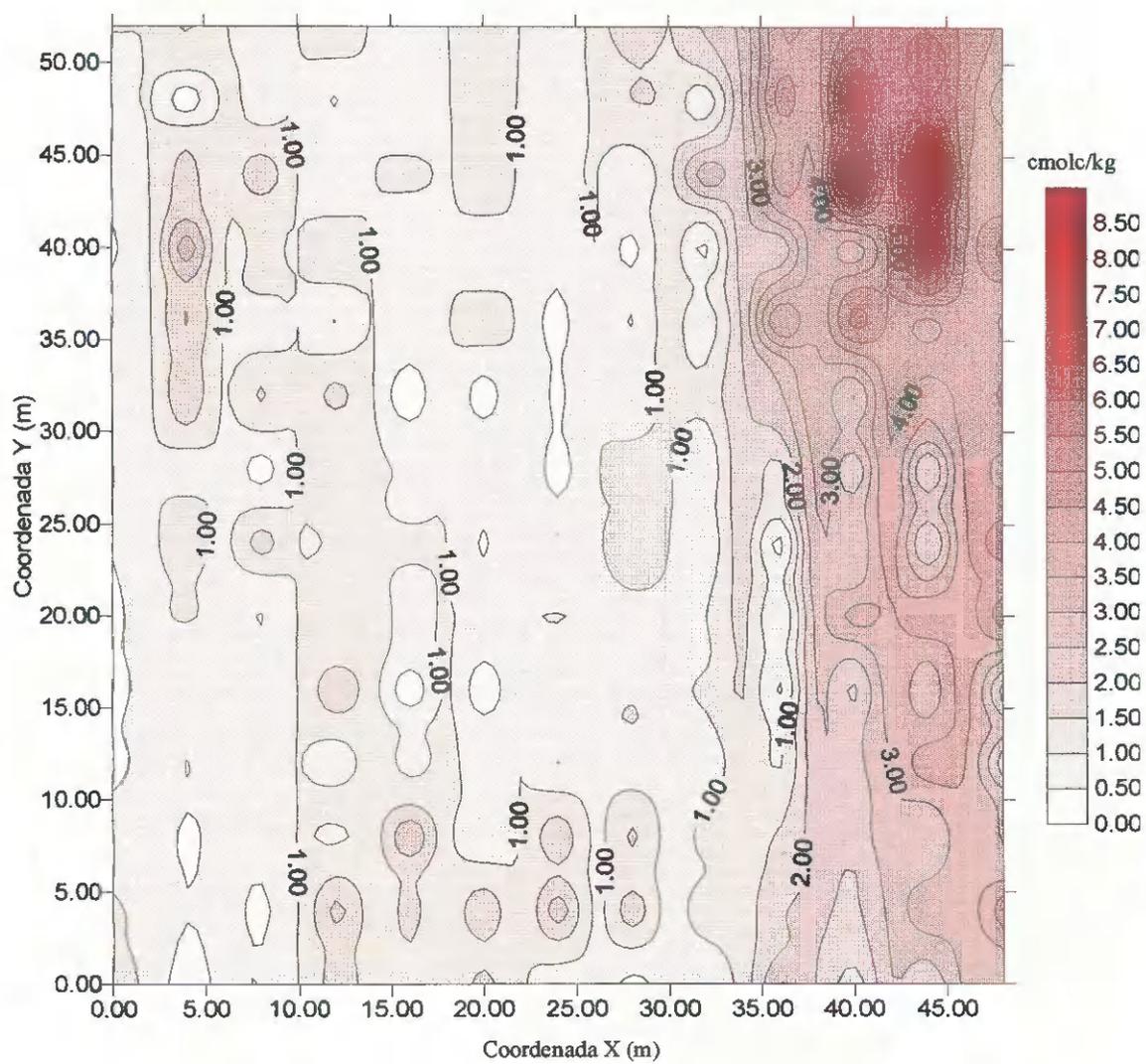


Figura 43. Gráfico de isolinhas de magnésio.

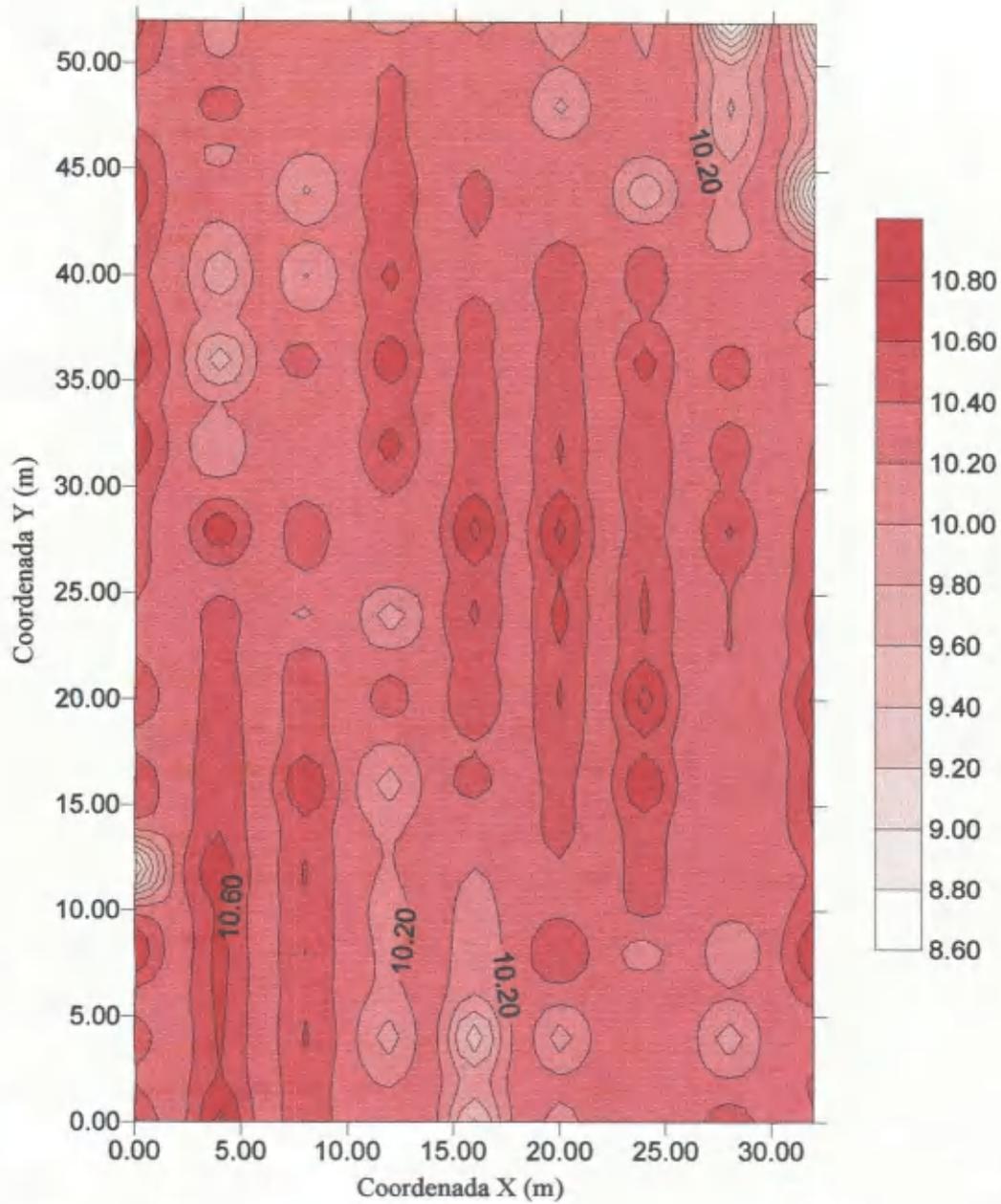


Figura 45. Gráfico de isolinhas de pH.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que:

1. O pH foi a variável química que apresentou a menor magnitude de variabilidade (CV=11,06%).
2. O magnésio, o cálcio e a condutividade elétrica foram as variáveis químicas que apresentaram maiores variações (CV=95,68, 80,43 e 79,20%, respectivamente).
3. A CTC apresentou distribuição normal e a CE, o potássio e o magnésio, apresentaram distribuição log-normal. As demais variáveis não seguiram nenhum tipo de distribuição das estudadas.
4. As variáveis químicas PST, potássio e cálcio apresentaram forte dependência espacial e alcances de 15, 25 e 27m, respectivamente, enquanto as variáveis pH, CE, CTC, magnésio e sódio apresentaram moderada dependência espacial e alcances de 21, 12, 12, 23 e 16m, respectivamente.
5. O mapeamento das variáveis químicas, usando a técnica de krigagem permitiu uma melhor visualização da variabilidade na área estudada, indicando sub-regiões onde o manejo deverá ser efetuado de forma diferenciada.

6. O alcance da dependência espacial é um dado importante a ser considerado no planejamento de futuras amostragens na área estudada, para se considerar os dados obtidos como dependentes ou independentes espacialmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYRES, R.S.; WESTCOT, D.W. **A Qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB.. Tradução de Gheyi, H.R.; Medeiros, J.F.de. & Damasceno, F.A.V. 1991, 218p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 29 Revisado).
- ALVAREZ, V.H. & CARRARO, I.M. Variabilidade do solo numa unidade de amostragem em solos de Cascavel e de Ponta Grossa Paraná. **Revista Ceres**, v.23, p.503-510,1976.
- ARAÚJO, M.A . M. de.; AQUINO, L.H.de. & OLIVEIRA, M.S.de. O espaçamento adequado para estimar a média da capacidade de troca de cátions a pH 7,0 em amostragem de solos com malhas quadradas. **Ciência e Prática**, v.17, n.3, p.252-255, 1993.
- BALL, D.F. & WILLIAMS, W.M. Variability of soil chemical properties in two uncultivated brow earths. **Journal of Soil Science**, v.19, p.378-391, 1968.

BARRETO, A. C.; NOVAIS, R.F. de.; BRAGA, J.M. Determinação estatística do número de amostras simples de solo por área para avaliação de sua fertilidade. **Revista Ceres**, v.21, n.114, p.142-147, 1974.

BLACK, C.A. Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. **American Society of Agronomy**, v.2, p.1572, 1965.

BRADY, N.C & BUCKMAN, H.O. **Natureza e propriedades dos solos**. 6ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. 647p.

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

BOHN, H.L.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.B. **Soil Chemistry**. 2ed. New York: A Willey Interscience, Publication, 1985. 341p.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M; PARKIN, T.B. KARLEN, D. L.;TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CAMPBELL, J.B. Spatial variation of sand content and pH within single contiguous delineations of two soil mapping units. **Soil Science Society of America Journal**, v.42, p.460-464, 1978.

- CARRASCO, M.A.R.; PINO, I.N.O. OPAZO, J.D.A. Efecto de las propiedades físicas y químicas de algunos suelos aluvionales sobre el rendimiento biológico del frejol (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Inviniero. Agrícola**, v.7, p.75-82, 1981.
- CARTER, V. H. **Classificação de terras para irrigação**. Brasília: Secretaria de Irrigação 1993. 208p.
- CARVALHO, O.S. Variabilidad espacial y temporal de la matéria orgânica em um typic xerofluent sometido a distintos sucesiones de cultivo. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agronomia da Universidade Politécnica de Madrid, 1996.140p (Tesis Doctoral).
- CATANI, R.A. Amostragem de solo para fins de fertilidade. **Bragantia**, v.14. p.19-26, 1954.
- CHIEN, I.J.; LEE, D.Y.; GUO, H.Y.; HOUNG, K.H. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils. **Soil Science**, v.162, p.291-299. 1996.
- COELHO, M. A. Variabilidade espacial de características físicas e químicas em solo salino-sódico. **Ciência Agronômica**. Fortaleza, v.14, p.149-196,1983.
- COELHO, M.A. & FERREYRA, F.F. Caracterizacion of salt-affected soil in the semi-arid region of Northeastern Brazil. **Turrialba**, v.36, n.2, p.171-178., 1986

CORDEIRO, G.G. Caracterização dos problemas de sais dos solos irrigados do Projeto São Gonçalo. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1977. 108p. (Dissertação de Mestrado).

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. 15ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. 264p.

DOURADO NETO, D. Variabilidade espacial das alturas de chuva e irrigação e de potenciais da solução do solo. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, 1989. 180p. (Dissertação de Mestrado).

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979.

ENGELUD, E.; SPARKS, A. **Geo-EAS (Geostatistical Enviromental Assessment Software)**. Las Vegas: U.S.Enviromental Protency Agency, 1988. 1v. (EPA/600/4-88/033a).

FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: Embrapa, 1989. 425p.

FONSECA, J.S.; MARTINS, G.A. **Curso de estatística**. São Paulo: Atlas, 1993. 317p.

GOMES, F.P. **Curso de Estatística Experimental**. 13ed. São Paulo: Nobel, 1990. 468p.

GOMES, L.L.; OLIVEIRA, M.de.; MEDEIROS, J.F.de.; FILHO, F.Q.P de. Diagnóstico da salinidade do solo no Perímetro Irrigado de Itans Caicó-RN. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23. 1994. **Anais**, 1994. p.106.

GUERRA, P.A.G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, 1988. 145p.

GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um latossolo roxo. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, 1993. 138p. (Dissertação de Mestrado).

GUIMARÃES, E.C.; AQUINO, L.H. de.; OLIVEIRA, M.S. Variabilidade espacial do pH em água e da argila dispersa em água. **Revista Ciência e Prática**, v.19, p.12-17, 1992.

HAJRASULIHA, S.; BANIABRASSI, N.; METTHEY, J.G.; NIELSEN, D.R. Sampling for salinity studies in Southwest Iran. **Irrigation Science**, v.1, p.197-208, 1980.

HOAGLIN, D.C.; MOSTELLER, F.; TYKEY, J.W. **Análise exploratória de dados: técnicas robustas, um guia**. Lisboa: Editora Salamandra, 1983. 446p.

JORGE, J. A. **Solo: manejo e adubação**. São Paulo: Editora Polígono, 1969. 225p

JOURNEL, A .G. & HUIGBREGTS, C.J. **Mining geostatistics**. 5ed. London: Academic Press, 1991. 600p.

MELLO, F.A. F. de. SOBRINHO, M.O. C.B de.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; NETO, A. C.; KIEHL, J.C.de. **Fertilidade do solo**. 3ed. São Paulo: Nobel, 1989. 400p.

MENINO, I.B. Caracterização física e química dos solos do perímetro irrigado Eng^o Arco Verde do município de Condado. Areia: Universidade Federal da Paraíba, 1983. 72p. (Dissertação de Mestrado).

MONIZ, A.C. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Editora Polígono, 1972, 459p.

MORAES, J.F.V. & FREIRE, C.J.S. Variação do pH, da condutividade elétrica e da disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio em quatro solos submetidos a inundação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.9, p 35-43, 1974.

OPAZO, J.D. Estudio estadístico de la variabilidad de los resultados analíticos en muestreo de suelos en huertos frutales. **Ingeniero Agrícola**, v.4, p.69-73, 1978.

PEREIRA, F.A.M. Metodologias de análises químicas para solos afetados por sais no Nordeste. Areia: Universidade Federal da Paraíba, 1981. 71p. (Tese de Mestrado).

PIZARRO, F. **Drenaje Agrícola y Recuperacion de suelos salinos**. Madrid: Editora Agrícola Española, 1978. 528p.

- PREVEDELLO, B.M.S. Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, 1987. 166p. (Tese de Doutorado).
- PONANMPERUMA, F.N. Dynamic aspects of flooded soils..In: Int. Rice Res. Inst (ed) The mineral nutrition of the rice plants. Johns Hopkins Pres, Batimore, p.295-328, 1964.
- QUEIROZ, J.E. Parâmetros hidrodinâmicos de um solo de várzea para fins de drenagem subterrânea. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, 1995. 167p.(Tese de Doutorado).
- RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.
- REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R.; LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimental de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.1-6, 1986.
- REEVE, C.R.; & FIREMAN, M. Salts problems in relation to irrigation. In: HAGAN, M.R. Irrigation of Agricultural Lands. **American Society Agronomy**, v. 11: p 988-1008. 1967.
- RIBEIRO JÚNIOR, P.J. Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, 1995. 99p. (Dissertação de Mestrado).

- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA, 1954, 160p. (Handbook, 60).
- SAA, A.R. Modelo de distribución espacial y frecuencia de la precipitación de la Península Ibérica. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos da Universidad Politécnica de Madrid, 1992. 188p. (Tesis Doctoral).
- SALVIANO, A . A . C. Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, 1996. 91p. (Tese de Doutorado).
- SANTOS, H.L. & VASCONCELLOS, C.A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. **Revista brasileira de Ciência do solo**, v.11, p.97-100, 1987.
- SANTOS, R.V. dos. & MURAOKA, T. Interações salinidade e fertilidade do solo. In: **Simpósio “Manejo e controle da salinidade da agricultura irrigada”**. GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.M. (ed.). Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. p. 289-317.
- SILVA, E.F.de. F. Efeitos de diferentes produtos na recuperação de solo salino-sódico e na cultura do arroz. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba 1997. 70p. (Dissertação de Mestrado).

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 6ed. Ames: Iowa State University Press, 1967. 593p.

SOUZA, L. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 162p. (Tese de Doutorado).

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; WADE, M. K.; UEHARA, G., & SUDJADI, M. Spatial variation of soil properties and rice on recently cleared land. **Soil Science Society of America Journal**, v.51, p.668-674, 1987.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S., & UEHARA, G. Applications of geostatistic to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, p.45-94, 1985.

TOLEDO, G.R.; OVALLE, I.I. **Estatística básica**. 2ed. São Paulo: Atlas, 1982. 459p.

ZYLSTRA, G. & SALINAS, H.Y. Salinidad y drenaje em zonas bajo riego. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina, Centro Nacional de Recuperacion de Tierras, v.2.1969.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. ed. **Application of soils physics**. New York: Academic Press, 1980. cap.13, p. 319-44.

XU, J. & WEBSTER, R. A geostatistical study of soil properties in Zhangwu county, China. *Catena*, v.11, p.13-26, 1984.

YOST, R.S.; UEHARA, G.; FOX, R.L. Geostatistical analysis large land areas. I Semivariogramas. *Soil Science Society América Journal*, v.46, p.1028-1032, 1982.

APÊNDICE

TABELA A1. Resultados de análises químicas das propriedades químicas de solo estudadas.

Coor X	Coor Y	pH	PST	CE	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	CTC
(m)	(m)		%	dS/m	cmol _c /kg				
0	0	10,71	69,42	6,51	0,19	0,76	1,58	5,74	8,27
4	0	10,93	96,06	13,95	0,19	0,22	0,29	17,02	17,72
8	0	10,58	93,73	6,39	0,32	0,24	0,50	15,94	17,00
12	0	10,34	64,04	7,85	0,31	1,45	1,67	6,08	9,50
16	0	9,49	44,71	3,47	0,25	2,58	1,21	3,26	7,30
20	0	10,11	62,55	7,93	0,49	1,52	1,60	6,03	9,64
24	0	10,22	68,86	5,01	0,67	0,90	0,50	4,58	6,65
28	0	10,63	87,09	5,98	0,32	1,09	0,21	10,99	12,61
32	0	10,37	78,31	6,95	0,23	0,71	0,51	5,24	6,69
36	0	8,62	22,22	1,37	0,16	1,65	2,62	1,27	5,70
40	0	8,41	29,32	1,75	0,19	1,42	1,23	1,18	4,02
44	0	8,59	40,21	1,92	0,18	1,64	2,06	2,61	6,49
48	0	8,52	16,85	1,53	0,07	2,17	3,47	1,16	6,87
0	4	10,55	84,08	8,30	0,21	0,83	1,11	11,34	13,49
4	4	10,62	69,69	18,75	0,18	0,51	0,53	2,82	4,04
8	4	10,63	94,07	11,25	0,22	0,14	0,41	12,20	12,97
12	4	9,88	42,73	2,95	0,32	3,20	2,21	4,28	10,01
16	4	9,38	56,67	3,58	0,46	2,25	1,60	5,63	9,94
20	4	9,85	51,79	2,78	0,56	1,51	1,96	4,33	8,36
24	4	10,37	52,87	5,14	0,58	1,00	2,37	4,43	8,38
28	4	9,85	29,69	1,83	0,25	2,53	1,86	1,96	6,60
32	4	10,23	63,33	2,49	0,19	1,32	1,40	5,02	7,93
36	4	9,55	39,50	2,89	0,10	1,83	1,98	2,55	6,46
40	4	8,04	23,37	1,54	0,10	1,69	1,94	1,14	4,87
44	4	7,60	3,10	1,36	0,13	2,60	3,53	0,20	6,46
48	4	7,50	0,61	1,45	0,19	1,85	4,48	0,04	6,56
0	8	10,92	87,71	12,56	0,17	0,63	0,79	11,36	12,95
4	8	10,66	96,78	16,50	0,14	0,04	0,41	17,88	18,47
8	8	10,61	88,73	5,88	0,34	0,47	0,59	11,03	12,43
12	8	10,19	66,83	3,12	0,36	1,45	0,87	5,41	8,09
16	8	10,10	43,72	3,54	0,45	2,63	2,54	4,37	9,99
20	8	10,66	92,33	14,53	0,24	0,17	0,60	12,15	13,16
24	8	10,06	85,12	2,45	0,23	1,84	1,90	22,68	26,65
28	8	10,02	43,17	2,54	0,25	1,74	1,63	2,75	6,36
32	8	10,88	84,05	16,53	0,30	0,41	1,17	9,91	11,79
36	8	10,24	57,51	2,96	0,13	1,13	1,58	3,85	6,70
40	8	8,20	35,83	2,13	0,08	1,17	2,23	1,94	5,42
44	8	7,67	38,56	1,39	0,10	2,58	2,41	3,20	8,29
48	8	7,45	3,73	0,64	0,13	2,48	2,93	0,21	5,75
0	12	8,68	94,61	15,25	0,16	0,38	0,15	12,06	12,75
4	12	10,71	96,61	14,90	0,15	0,08	0,47	19,92	20,62
8	12	10,63	92,36	12,50	0,26	0,17	0,55	11,80	12,78
12	12	10,20	72,36	5,25	0,37	1,63	0,57	6,73	9,30

TABELA A1. Continuação

Coor X	Coor Y	pH	PST	CE	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	CTC
m	m		%	dS/m	cmol/kg				
16	12	10,20	68,98	5,64	0,37	1,19	0,82	5,30	7,68
20	12	10,38	74,50	5,25	0,47	0,99	0,75	6,43	8,64
24	12	10,48	75,86	4,16	0,53	0,93	0,39	5,81	7,66
28	12	10,22	60,88	2,52	0,61	1,05	0,64	3,58	5,88
32	12	10,38	88,73	7,45	0,20	0,77	0,50	11,62	13,09
36	12	10,62	90,21	9,90	0,19	0,62	0,94	16,12	17,87
40	12	8,92	59,75	4,21	0,10	1,18	2,40	5,46	9,14
44	12	7,86	20,22	1,63	0,10	2,04	3,94	1,54	7,62
48	12	7,90	9,36	0,80	0,08	2,62	1,51	0,44	4,65
0	16	10,66	94,45	4,62	0,27	0,71	0,07	17,84	18,89
4	16	10,60	94,45	7,86	0,20	0,06	0,62	14,93	15,81
8	16	10,85	91,71	5,38	0,20	0,34	0,60	12,71	13,85
12	16	9,88	43,40	3,17	0,29	2,41	1,93	3,56	8,19
16	16	10,48	53,84	4,85	0,30	0,79	0,09	1,36	2,54
20	16	10,45	80,79	4,88	0,31	1,14	0,10	6,50	8,05
24	16	10,83	76,48	3,89	0,55	0,41	0,62	5,15	6,73
28	16	10,40	75,80	3,35	0,21	0,74	0,98	6,03	7,96
32	16	10,66	88,63	7,93	0,21	0,48	1,13	14,15	15,97
36	16	10,70	93,61	7,64	0,15	0,28	0,39	11,95	12,77
40	16	9,04	65,63	4,44	0,09	0,97	1,83	5,52	8,41
44	16	8,74	39,84	4,99	0,05	2,34	2,61	3,32	8,32
48	16	8,63	24,36	1,85	0,15	3,19	1,58	1,58	6,50
0	20	10,65	95,94	10,50	0,25	0,25	0,30	18,88	19,68
4	20	10,51	88,93	13,65	0,25	0,42	1,04	13,67	15,38
8	20	10,53	91,90	7,24	0,28	0,46	0,42	13,14	14,30
12	20	10,55	86,20	7,95	0,23	0,45	1,11	11,23	13,02
16	20	10,64	92,63	15,25	0,27	0,16	0,89	16,50	17,82
20	20	10,63	70,26	7,10	0,36	0,77	0,90	4,80	6,83
24	20	10,94	81,64	8,10	0,35	0,81	1,07	9,89	12,12
28	20	10,19	71,52	0,90	0,22	1,65	0,93	7,04	9,84
32	20	10,92	87,43	7,34	0,20	0,66	1,02	13,11	14,99
36	20	10,50	93,26	5,38	0,15	0,29	0,54	13,60	14,58
40	20	9,86	54,96	3,47	0,09	0,96	3,82	5,95	10,82
44	20	7,70	8,26	1,25	0,13	1,70	4,09	0,53	6,45
48	20	8,03	17,12	1,29	0,21	2,36	5,03	1,57	9,17
0	24	10,37	84,64	3,25	0,37	0,90	0,56	10,09	11,92
4	24	10,48	84,86	6,53	0,21	0,81	1,32	13,13	15,47
8	24	10,12	57,87	6,85	0,43	2,25	1,80	6,16	10,64
12	24	9,82	58,97	4,02	0,25	1,99	1,01	4,67	7,92
16	24	10,65	90,55	12,25	0,30	0,30	1,20	17,26	19,06
20	24	10,67	95,33	11,25	0,35	0,04	0,43	16,60	17,42
24	24	10,63	92,03	6,09	0,28	0,40	0,48	13,39	14,55
28	24	10,40	66,87	4,77	0,19	1,55	1,19	5,90	8,83
32	24	10,72	92,61	13,44	0,15	0,15	0,57	10,88	11,75
36	24	10,47	93,45	6,88	0,16	0,55	0,27	13,97	14,95

TABELA A1. Continuação

Coor X	Coor Y	pH	PST	CE	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	CTC
m	m		%	dS/m	cmol _c /kg				
40	24	8,97	52,29	4,00	0,09	1,77	2,51	4,78	9,15
44	24	6,77	5,62	0,74	0,15	2,76	1,83	0,28	5,02
48	24	7,75	67,66	1,65	0,12	2,60	5,05	16,25	24,02
0	28	10,48	92,16	4,85	0,34	0,49	0,47	15,29	16,59
4	28	10,85	95,11	16,33	0,26	0,21	0,50	18,92	19,89
8	28	10,57	75,36	13,26	0,25	0,48	0,20	2,83	3,76
12	28	10,33	82,02	7,98	0,32	1,14	1,18	12,04	14,68
16	28	10,93	89,04	7,50	0,26	0,56	0,99	14,69	16,50
20	28	10,91	93,26	17,65	0,31	0,24	0,77	18,14	19,46
24	28	10,47	85,30	5,60	0,55	1,14	0,33	11,65	13,67
28	28	10,67	70,05	4,25	0,32	1,20	1,35	6,73	9,60
32	28	10,56	91,90	11,50	0,28	0,36	0,62	14,28	15,54
36	28	10,36	79,47	4,50	0,25	1,34	1,32	11,23	14,14
40	28	7,66	54,08	14,50	0,14	2,46	2,00	5,42	10,02
44	28	7,05	6,79	1,25	0,19	2,76	1,78	0,34	5,07
48	28	8,20	27,23	1,98	0,10	3,31	3,77	2,69	9,87
0	32	10,87	86,94	25,10	0,34	0,58	0,98	12,62	14,52
4	32	10,02	72,21	6,85	0,27	1,75	1,96	10,37	14,35
8	32	10,25	72,22	5,56	0,32	1,99	1,65	10,30	14,26
12	32	10,73	84,16	5,85	0,37	0,45	1,71	13,44	15,97
16	32	10,49	94,17	8,50	0,35	0,67	0,07	17,77	18,86
20	32	10,63	96,39	12,50	0,23	0,27	0,19	18,53	19,22
24	32	10,60	95,60	9,62	0,25	0,25	0,43	20,26	21,19
28	32	10,51	87,76	5,23	0,27	0,63	0,65	11,18	12,73
32	32	10,42	72,51	6,96	0,25	0,94	1,27	6,48	8,94
36	32	9,09	41,72	2,53	0,42	2,59	2,42	3,89	9,32
40	32	8,15	10,29	1,13	0,16	1,82	2,32	0,49	4,79
44	32	8,91	14,57	7,25	0,10	4,65	3,68	1,44	9,87
48	32	8,28	25,68	1,98	0,10	4,61	4,60	3,22	12,53
0	36	10,82	89,88	5,58	0,28	0,61	0,58	13,03	14,50
4	36	9,59	42,81	3,45	0,17	3,95	2,05	4,62	10,79
8	36	10,50	87,52	8,50	0,34	0,67	0,70	11,98	13,69
12	36	10,81	93,72	9,78	0,34	0,32	0,38	15,43	16,47
16	36	10,45	93,13	13,50	0,25	0,50	0,50	16,93	18,18
20	36	10,52	73,51	15,50	0,57	1,38	1,37	9,22	12,54
24	36	10,73	96,48	12,50	0,18	0,21	0,32	19,52	20,23
28	36	10,54	89,81	5,01	0,38	0,62	0,44	12,64	14,08
32	36	10,48	89,33	7,60	0,30	0,44	0,72	12,25	13,71
36	36	7,57	8,58	1,44	0,20	2,50	4,76	0,70	8,16
40	36	7,49	15,42	1,45	0,23	1,97	5,33	1,37	8,90
44	36	8,13	24,76	1,86	0,12	4,41	3,70	2,71	10,94
48	36	8,13	34,99	6,22	0,10	4,03	3,85	4,29	12,27
0	40	10,39	38,70	8,05	0,31	0,98	0,39	1,06	2,74
4	40	9,78	45,88	4,65	0,42	2,95	2,90	5,31	11,58
8	40	9,93	59,20	5,29	0,35	2,51	1,07	5,69	9,62

TABELA A1. Continuação

Coor X	Coor Y	pH	PST	CE	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	CTC
m	m		%	dS/m	cmol _c /kg				
12	40	10,68	84,61	12,54	0,40	0,84	1,48	14,94	17,66
16	40	10,33	87,37	5,28	0,34	1,40	0,59	16,07	18,40
20	40	10,62	90,60	5,97	0,22	0,75	0,59	15,06	16,62
24	40	10,54	59,25	16,50	0,28	0,60	0,54	2,07	3,49
28	40	10,43	91,32	17,03	0,29	0,58	0,31	12,46	13,65
32	40	10,59	95,76	11,94	0,13	0,34	0,29	17,04	17,78
36	40	7,71	22,43	1,28	0,15	2,95	1,87	1,43	6,40
40	40	7,78	68,04	2,02	0,16	3,74	2,93	14,54	21,37
44	40	8,56	4,56	2,50	0,16	4,51	7,25	0,57	12,49
48	40	7,88	20,78	2,65	0,15	4,52	5,32	2,62	12,61
0	44	10,78	96,35	24,80	0,14	0,10	0,50	19,79	20,53
4	44	10,29	77,91	10,85	0,37	1,81	1,67	13,58	17,43
8	44	9,92	75,29	14,50	0,26	1,87	1,96	12,45	16,54
12	44	10,62	95,57	18,98	0,25	0,24	0,52	21,75	22,76
16	44	10,47	87,50	31,56	0,16	0,53	1,24	13,54	15,47
20	44	10,40	88,21	24,35	0,16	0,42	1,37	14,63	16,58
24	44	9,76	72,18	10,38	0,28	2,26	0,81	8,68	12,03
28	44	10,18	92,54	25,65	0,16	0,68	0,55	17,31	18,70
32	44	8,36	22,28	2,02	0,15	2,87	2,99	1,72	7,73
36	44	7,31	20,93	3,44	0,22	3,05	4,41	2,03	9,71
40	44	8,24	22,37	4,68	0,16	4,54	7,98	3,65	16,33
44	44	8,91	22,72	1,75	0,10	4,51	9,49	4,15	18,25
48	44	8,68	64,55	3,13	0,10	3,25	4,20	13,76	21,31
0	48	10,21	91,10	10,75	0,26	0,62	0,54	14,53	15,95
4	48	10,58	96,28	18,10	0,20	0,42	0,05	17,39	18,06
8	48	10,38	88,00	12,10	0,25	0,32	0,81	10,14	11,52
12	48	10,43	89,84	7,58	0,25	0,86	0,39	13,25	14,75
16	48	10,35	83,74	11,25	0,18	1,61	0,62	12,39	14,80
20	48	9,90	53,93	3,35	0,20	2,45	1,28	4,60	8,53
24	48	10,25	83,50	4,75	0,16	1,26	0,63	10,41	12,46
28	48	9,75	78,89	16,95	0,16	1,28	1,53	11,10	14,07
32	48	9,97	81,31	5,85	0,19	1,93	0,54	11,57	14,23
36	48	8,79	62,24	4,40	0,13	1,54	4,76	10,60	17,03
40	48	8,38	54,61	6,17	0,12	3,39	7,04	12,69	23,24
44	48	8,64	28,79	1,65	0,16	3,74	5,39	3,76	13,05
48	48	7,61	26,11	2,61	0,14	3,84	3,53	2,65	10,16
0	52	10,73	87,80	15,70	0,17	0,76	1,10	14,60	16,63
4	52	10,15	59,17	7,95	0,25	1,95	1,61	5,52	9,33
8	52	10,43	91,06	19,56	0,22	0,54	0,43	12,19	13,38
12	52	10,03	75,66	10,36	0,28	1,70	1,49	10,79	14,26
16	52	10,12	88,23	6,13	0,20	1,11	0,55	14,00	15,86
20	52	9,99	62,42	3,89	0,18	2,48	1,47	6,84	10,97
24	52	10,14	77,29	5,55	0,24	1,67	0,87	9,43	12,21
28	52	8,50	49,36	4,80	0,12	3,03	2,09	5,10	10,34
32	52	8,85	61,33	5,78	0,10	3,56	2,18	9,26	15,10

TABELA A1. Continuação

Coor X	Coor Y	pH	PST	CE	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	CTC
m	m		%	dS/m	cmol _c /kg				
36	52	8,69	35,76	1,59	0,19	3,49	4,48	4,54	12,70
40	52	8,08	22,38	1,43	0,26	4,45	4,85	2,76	12,32
44	52	8,51	26,26	1,56	0,16	5,35	5,28	3,84	14,63
48	52	8,15	21,91	1,43	0,12	4,33	4,44	2,49	11,38

TABELA A2. Resultados de semivariância de pH sem eliminação de dados.

Distância (m)	Pares	Semivariância Y(h)
4,000	270	0,223
5,657	268	0,336
8,613	713	0,426
11,314	215	0,710
12,407	634	0,635
14,422	386	0,722
16,323	587	0,772
17,572	539	0,898
20,157	810	0,947
21,541	316	0,999
22,627	152	1,150
23,872	748	1,019
25,456	521	1,107

TABELA A3. Resultados de semivariância de pH com eliminação de dados.

Distância (m)	Pares	Semivariância Y(h)
4,00	185	0,137
5,657	161	0,134
8,000	159	0,141
8,944	289	0,144
12,154	553	0,161
14,422	238	0,161
16,000	118	0,176
16,634	232	0,179
17,888	206	0,185
20,157	499	0,195
20,541	174	0,177
23,327	333	0,214
25,044	439	0,193
26,833	130	0,187

TABELA A4. Resultados dos dados de semivariância de PST.

Distância (m)	Pares	Semivariância $\gamma(h)$
4,000	272	265,154
5,657	242	320,520
8,000	242	379,299
8,944	451	442,188
11,314	222	523,892
12,417	649	502,083
14,422	383	605,583
16,652	201	505,231
17,889	548	595,951
20,162	348	632,727

TABELA A5. Resultados de semivariância de CE sem eliminação de dados.

Distância (m)	Pares	Semivariância $\gamma(h)$
4,000	337	19,41
5,657	312	23,365
8,613	884	24,649
11,314	264	27,331
12,421	807	24,031
14,422	482	27,535
16,320	730	25,983
17,581	656	27,197
20,160	1051	27,057
21,541	390	30,256
22,627	180	26,175
23,874	932	28,228
25,450	666	31,644

TABELA A6. Resultados de semivariância de CE com eliminação de dados.

Distância (m)	Pares	Semivariância $\gamma(h)$
4,000	321	12,746
5,657	298	15,714
8,613	840	16,611
11,314	250	17,729
12,421	772	18,047
14,422	458	18,469
16,320	694	17,853
17,581	624	18,217
20,160	1001	19,628
21,541	369	20,018
22,627	171	18,679
23,874	889	20,640
25,450	630	21,935

TABELA A7. Resultados dos dados de semivariância para CTC.

Distância (m)	Pares	Semivariância $\gamma(h)$
4,000	237	15,460
5,657	237	17,863
8,000	253	18,968
8,944	436	20,268
12,158	825	21,318
14,422	370	19,864
16,000	192	19,998
16,643	521	20,742
17,889	319	20,621
20,162	791	21,663
21,541	279	20,804
23,336	547	21,004
25,053	780	24,104
26,833	235	23,096
28,403	677	21,216
29,777	421	21,905
31,514	303	22,391

TABELA A8. Resultados de semivariância de potássio.

Distância (m)	Pares (n ^o)	Semivariância Y(h)
4,000	237	0,006
5,657	237	0,006
8,000	253	0,008
8,944	436	0,009
12,158	825	0,010
14,422	370	0,013
16,000	192	0,013
16,643	521	0,013
17,889	319	0,014
20,162	791	0,015
21,541	279	0,015
23,336	547	0,016
25,053	780	0,016
26,833	235	0,017
28,403	677	0,014
29,777	421	0,014
31,514	303	0,016

TABELA A9. Resultados de semivariância de cálcio.

Distância (m)	Pares (n ^o)	Semivariância Y(h)
4,000	237	0,384
5,657	237	0,622
8,000	253	0,653
8,944	436	0,799
12,158	825	0,872
14,422	370	1,023
16,000	192	1,094
16,643	521	1,093
17,889	319	1,200
20,162	791	1,237
21,541	279	1,190
23,336	547	1,378
25,053	780	1,381
26,833	235	1,295
28,403	677	1,481
29,777	421	1,523
31,514	303	1,431

TABELA A10. Resultados de semivariância de magnésio sem eliminação de dados.

Distância (m)	Pares	Semivariância $\gamma(h)$
4,000	237	0,681
5,657	237	1,061
8,000	253	1,171
8,944	436	1,219
12,158	825	1,462
14,422	370	1,683
16,000	192	1,827
16,643	521	1,665
17,889	319	1,848
20,162	791	2,005
21,541	279	1,987
23,336	547	2,237
25,053	780	2,409
26,833	235	2,267
28,403	677	2,562
29,777	421	2,652
31,514	303	2,482

TABELA A11. Resultados de semivariância de magnésio com eliminação de dados.

Distância (m)	Pares	Semivariância $\gamma(h)$
4,000	214	0,415
5,657	196	0,588
8,000	197	0,445
8,944	395	0,595
11,314	182	0,642
12,424	537	0,655
14,422	312	0,717
16,000	168	0,669
16,645	462	0,839
17,889	288	0,795
20,160	708	0,825
21,541	234	0,953
23,086	361	0,979
24,222	352	0,836
25,459	421	0,921
26,833	194	0,985
28,593	765	0,575

TABELA A12. Resultados de semivariância de sódio.

Distância (m)	Pares	Semivariância $\gamma(h)$
4,000	337	18,734
5,657	312	21,719
8,613	884	24,149
11,314	264	29,970
12,421	807	26,700
14,422	482	28,417
16,320	730	27,851
17,581	656	29,153
20,160	1051	30,537
21,541	390	31,266
22,627	180	27,344
23,874	932	33,349
25,450	666	33,628