

ANÁLISE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS DO PERÍMETRO IRRIGADO BAIXO ACARAÚ-CE

Eurileny Lucas de Almeida¹

¹ Universidade Federal do Ceará - UFC
Caixa Postal 12.168 - 60450-760 - Fortaleza - CE, Brasil
eurileny@yahoo.com.br

Resumo. A caracterização e estudo de solos são a base para determinação do uso da terra. O conhecimento da dependência espacial dos atributos físico-hídricos do solo é importante, visto que é fundamental para o entendimento do comportamento desses atributos no espaço e assim permite realizar práticas de manejo diferenciado. O objetivo deste capítulo é aplicar geoestatística na elaboração de mapas de atributos físico-hídricos dos solos do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú. Para a caracterização físico-hídrica dos solos do Perímetro, foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada e indeformada na profundidade de 20-30 cm, em uma malha irregular de 34 pontos amostrais distribuídos por toda a área de estudo. Foram feitas as seguintes análises laboratoriais: granulometria, densidade do solo e partículas, foram também obtidas curva de retenção de água no solo pelo método do papel filtro. Com os dados obtidos foram realizadas a análise estatística descritiva e análise geoestatística com avaliação da dependência espacial. Por meio da Krigagem ordinária foram obtidos os mapas dos atributos avaliados. O mapa de densidade das partículas apresentou a melhor validação cruzada. Todos os atributos apresentaram alta dependência espacial e os mapas gerados podem ser usados como base de dados na elaboração dos projetos e manejo da irrigação no Perímetro Irrigado Baixo Acaraú.

Palavras chave: Agricultura de precisão, krigagem, granulometria

1 Introdução

Assim como o ar e a água, o solo possui grande importância na vida de todos os seres vivos. A caracterização e estudo de solos são a base para determinação do uso da terra, pois se inadequado provoca a degradação com consequências na capacidade produtiva e na qualidade de vida das populações dependentes destes solos.

Os atributos físicos dos solos influenciam diretamente o fluxo superficial e o movimento da água no solo, sendo fundamentais para o manejo da irrigação. A variação desses atributos é o produto da ação dos fatores de formação do solo interagindo com o espaço em diferentes escalas de tempo.

A variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo como textura, densidade, capacidade de campo e ponto de murcha permanente são característica própria dos solos e o seu conhecimento é de grande utilidade no planejamento das atividades na agricultura de precisão. Um dos inconvenientes que se tem para a adequada descrição desses atributos do solo está relacionado ao grande número de amostras, ou seja, a densidade de amostragem é geralmente elevada e, portanto, o custo é consideravelmente alto. A agricultura de precisão se baseia na aplicação de tecnologias de maneira localizada de acordo com a variabilidade espacial, a qual a geoestatística está diretamente relacionada.

A geoestatística é priorizada quando um determinado atributo do solo varia de um local para outro com certa continuidade, que é expressa através da dependência espacial.

O conhecimento da dependência espacial dos atributos físico-hídricos do solo é importante, visto que é fundamental para o entendimento do comportamento desses atributos no espaço e assim permite realizar o zoneamento da área em glebas que receberão práticas de manejo diferenciado. A construção de mapas com a variabilidade espacial de atributos físico-hídricos

possibilita a visualização espacial, permitindo determinar áreas que requerem maiores cuidados de conservação do solo.

A textura do solo é uma das características físicas mais estáveis e representa a distribuição quantitativa das partículas sólidas quanta ao tamanho (FERREIRA, 2010). Cada tipo de partícula presente contribui para a natureza do solo como um todo. As partículas maiores funcionam como o esqueleto do solo e ajudam a tornar o solo permeável e bem areado (THOMPSON; TROEH, 2007). A argila juntamente com matéria orgânica armazena água e nutrientes vegetais.

Para Silveira Neto (2006), quando se trata de solos argilosos, um aspecto a ser estudado é a estrutura do solo, cuja importância, tendo em vista o desenvolvimento radicular das plantas, associa-se à densidade, porosidade total e à distribuição dos poros por tamanho. Por definição, a densidade do solo é a razão de sua massa de sólidos por seu volume total. Normalmente as determinações de densidade e de porosidade do solo são as avaliações mais comuns e difundidas para identificar camadas compactadas no solo (LANZANOVA, 2007).

Tendo em vista o exposto, o objetivo deste trabalho é aplicar geoestatística na elaboração de mapas de areia, argila, densidades e atributos hídricos dos solos do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú.

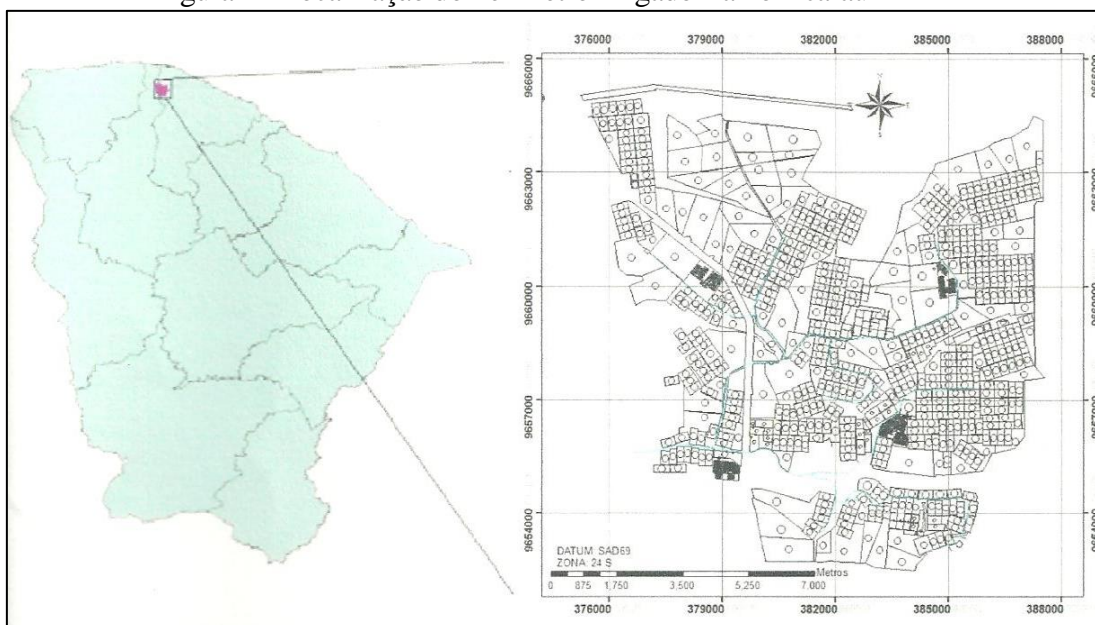
Sendo a hipótese: Os atributos físico-hídricos dos solos do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú possuem dependência espacial e essas podem ser estimadas por semivariogramas, possibilitando a elaboração de mapas e visualização de áreas que merecem manejo diferenciado.

2 Material e métodos

2.1 Descrição da área

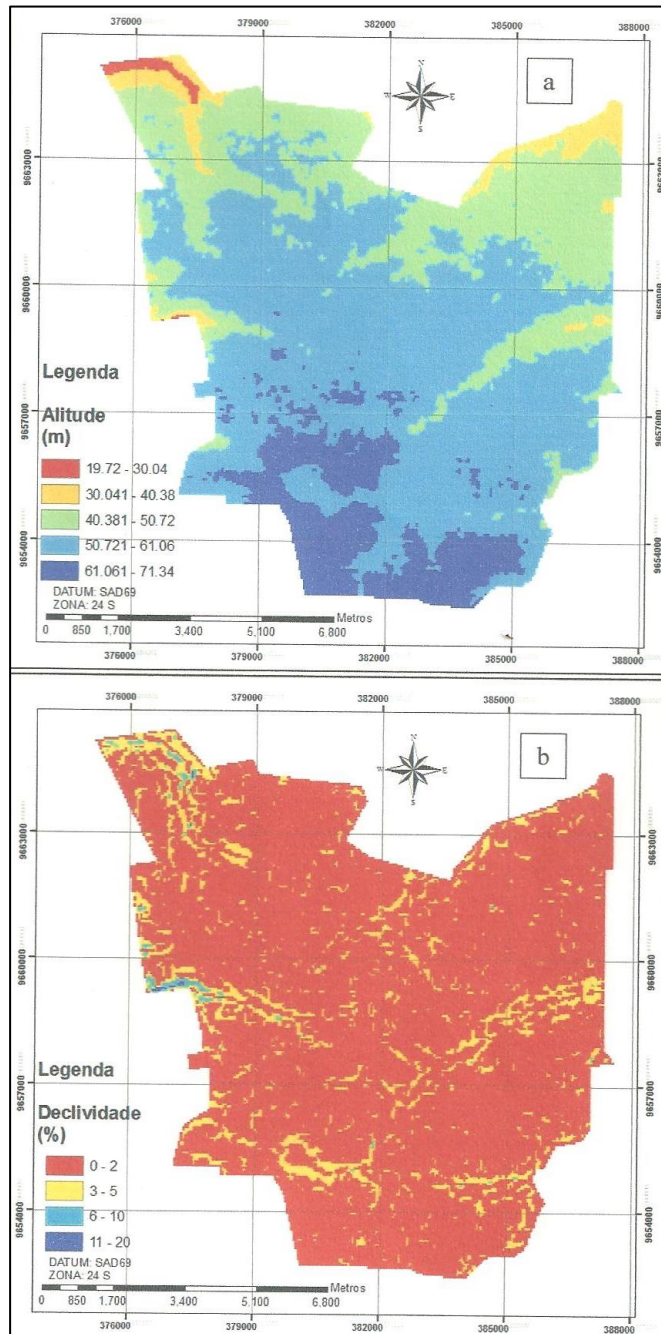
O Perímetro Irrigado Baixo Acaraú está inserido no divisor topográfico de duas bacias hidrográficas, na parte baixa da Bacia Hidrográfica do rio Acaraú e na Bacia Litorânea; localizado na região setentrional do Estado do Ceará (Figura 1). Os municípios abrangentes são: Acaraú, Marco e Bela Cruz. O Perímetro ocupa uma área de aproximadamente 10 mil hectares, 8335 ha irrigados.

Figura 1 - Localização do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú



Quanto ao relevo, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), proveniente dos dados da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), o Perímetro apresenta gradiente altimétrico de 51,62 m, distribuído entre as cotas de 19,72 a 71,34, conforme visualizado na Figura 2a. Já na Figura 2b, pode-se observar que a área do Perímetro apresenta predominância de declividade plana (0 a 2 %).

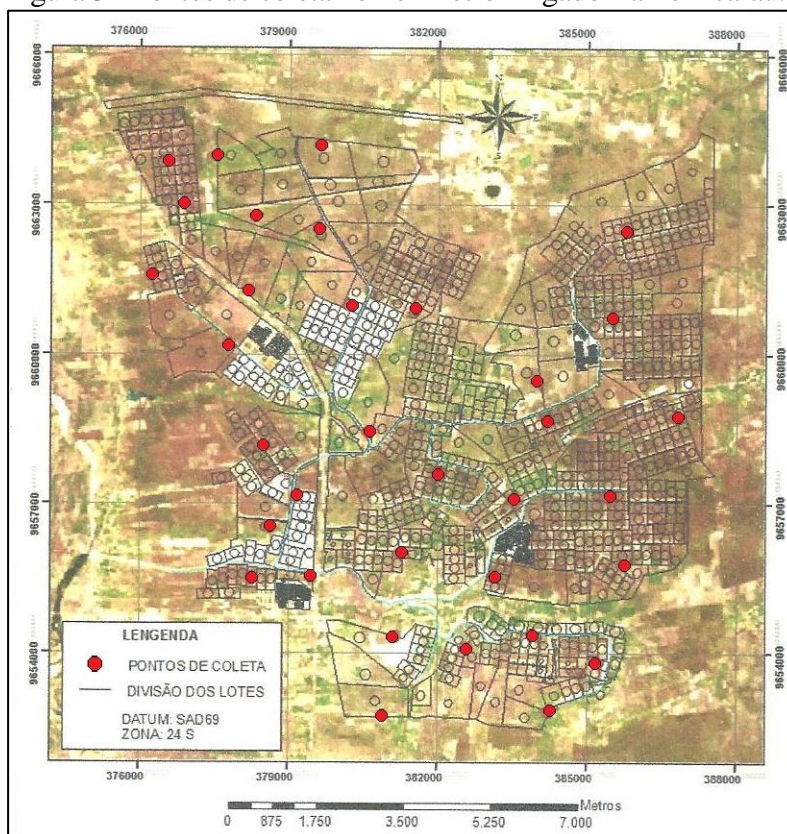
Figura 2 - Mapas de altitude (a) e declividade (b) do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, obtidas com imagem SRTM



2.2 Coleta de solo

Para a caracterização físico-hídrica dos solos do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada e indeformada na profundidade de 20-30 cm, em uma malha irregular de 34 pontos amostrais distribuídos por toda a área de estudo (Figura 3).

Figura 3 - Pontos de coleta no Perímetro Irrigado Baixo Acaraú.



2.3 Análises laboratoriais

2.3.1 Granulometria

As amostras deformadas foram secas ao ar e passadas em peneiras de 2,0 mm, obtendo assim terra fina seca ao ar (TFSA).

A granulometria foi determinada pelo método da pipeta, com dispersão de 20 g de TFSA com hidróxido de sódio 1 mol.L⁻¹. As areias foram separadas em peneira de malha 0,053 mm de diâmetro. O silte e argila foram separados por sedimentação, conforme a Lei de Stokes. A distribuição das partículas por tamanho (Tabela 1) foi classificada de acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).

Tabela 1 - Distribuição das partículas por tamanho

CASCALHO	AREIA MUITO GROSSA	AREIA GROSSA	AREIA MÉDIA	AREIA FINA	AREIA MUITO FINA	SILTE	ARGILA
2,00mm	1,00mm	0,5mm	0,25mm	0,1mm	0,05mm	0,002mm	

Fonte: Citada por Amaro Filho, Assis Junior e Mota (2008)

2.3.2 Densidade

Para densidade do solo (Equação 1) foram utilizadas amostras de solo indeformado, coletadas com amostrador tipo Uhland e secas a 105 °C até massa constante.

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$$

ρ_s - densidade do solo (kg.m^{-3}); m_s - massa do solo seco (kg); V_s - volume do solo (m^3)

Para determinação da densidade de partículas foi utilizado o método do balão volumétrico, que consiste em colocar 20g de terra fina seca em estufa em um balão volumétrico de 50 mL, completando seu volume com álcool. Na equação 8, pode-se observar o cálculo para obtenção da densidade das partículas.

$$\rho_p = \frac{m_s}{50 - \text{volume de álcool gasto}} \quad (2)$$

ρ_p - densidade das partículas (kg.m^{-3}); m_s - massa do solo seco (kg)

2.4 Curva de retenção de água no solo

Para obtenção da curva de retenção de água no solo, nos 34 pontos (Figura 3), foi utilizado o método do papel filtro, onde sua eficácia nos solos do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú foi comprovada por Almeida et al. (2016).

14.6 Análise estatística

Foi realizada análise descritiva dos dados para cada atributo estudado, utilizando a estatística clássica por intermédio do software IBM SPSS Statistics 19, tendo sido calculadas a média, mediana, erro padrão da media, valores mínimo e máximo, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, curtose e assimetria.

Foi efetuada também a análise da distribuição de frequência dos atributos e teste de hipótese de normalidade, onde foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, teste K-S, a 5%. Nele a hipótese nula, julga ser a amostra vinda de uma população normal. Estes procedimentos foram realizados sem a retirada de nenhum ponto amostral discrepante (outlier).

14.7 Análise geoestatística

Inicialmente foi efetuado a análise da dependência espacial, sendo avaliada com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca, pela análise do semivariograma (Equação 3), para cada atributo da pesquisa, ajustado pelo software GS+ (ROBERTSON, 1998). Foram testados os semivariogramas do tipo esférico, exponencial, linear e gaussiano. Para avaliar o melhor modelo do semivariograma ajustado, foi utilizada a validação cruzada, gerando uma estimativa do atributo em cada ponto amostral. Assim, o modelo escolhido foi o que apresentou o maior coeficiente de determinação entre os valores observados e estimados.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

$N(h)$ - o numero de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados pelo valor h .

Em cada atributo foi listado o patamar (C_0+C), alcance (a) e o efeito pepita (C_0). Para avaliar a dependência espacial (ADE) foi utilizada a equação (4), seguindo sugestões de Robertson (1998), que considerou fraca dependência espacial para valores de ADE < 25%;

dependência espacial média para $25\% < ADE < 75\%$ e forte dependência espacial para $ADE > 75\%$.

$$ADE = \left(\frac{c}{(c + c_o)} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

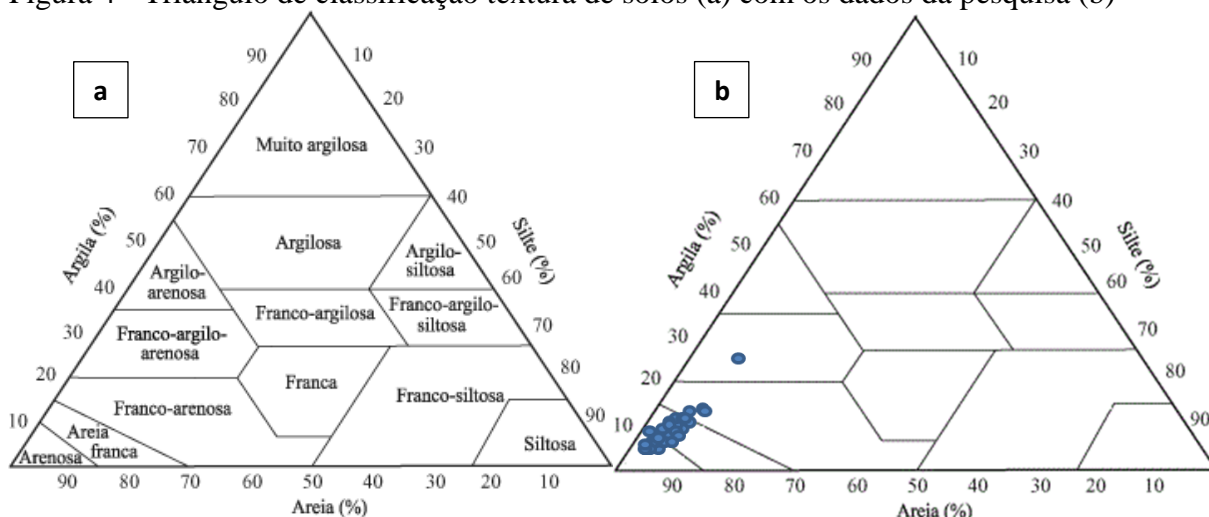
ADE - avaliador da dependência espacial (%); C - variância e C+Co - o patamar.

Por meio da interpolação por Krigagem ordinária, foram obtidos os mapas dos atributos avaliados, utilizando o software GS+.

3 Resultados e discussão

Foram utilizados resultados de análises granulométricas de 34 pontos, que se encontram apresentados no triângulo textural da Figura 4b. As amostras se enquadraram nas classes texturais areia franca, franco-arenosa, arenosa e uma amostra na franco-argilo-arenosa.

Figura 4 - Triângulo de classificação textura de solos (a) com os dados da pesquisa (b)



Fonte: a – Citado por Santos et al. (2005)

3.1 Estatística descritiva

As análises estatísticas descritiva dos dados de granulometria, densidade e umidade na capacidade de campo e ponto de murcha permanente estão apresentadas na Tabela 2. Os valores de densidade e umidade, a média e mediana estão próximos, mostrando distribuição simétrica, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria próximos a zero.

Os valores elevados de coeficiente de variação (CV), podem ser considerados como indicadores da existência de heterogeneidade nos dados, como lembra Campos et al. (2007). Com base nos limites proposto por Gomes (1976), a areia, densidade dos solos e densidade das partículas apresentaram baixa variação ($CV < 10\%$), nenhum atributo apresentou variação média ($10\% < CV < 20\%$), o grau de variação alto foi encontrado na umidade na capacidade de campo ($20\% < CV < 30\%$) e o grau de variação muito alto na argila e umidade no ponto de murcha permanente ($CV > 30\%$).

Tabela 2 - Medidas estatísticas descritivas e distribuição de frequência da granulometria

Análise exploratória	Areia	Argila	Densidade do solo	Densidade das partículas	θ_{CC}	θ_{PMP}
----------------------	-------	--------	-------------------	--------------------------	---------------	----------------

Média	862.687	95.532	1.631	2.647	0.257	0.044
Mediana	873.700	91.325	1.630	2.650	0.255	0.039
Variância	2445.741	1541.613	0.005	0.001	0.003	0.000
Desvio padrão	49.454	39.263	0.068	0.038	0.057	0.016
Mínimo	670.740	45.840	1.480	2.560	0.144	0.021
Máximo	922.440	249.600	1.850	2.730	0.366	0.087
Amplitude	251.700	203.760	0.370	0.170	0.222	0.066
CV	5.733	41.100	4.198	1.449	22.069	37.279
Assimetria	-1.884	1.921	0.554	-0.185	-0.112	0.897
Curtose	5.707	6.056	2.427	0.003	-0.633	0.456
K-S ¹	0.142	0.139	0.125	0.106	0.106	0.130
Distribuição	N ²	N	N	N	N	N

1 – K-S = Kolmogorov-Smirnov; 2 – N = Distribuição Normal.

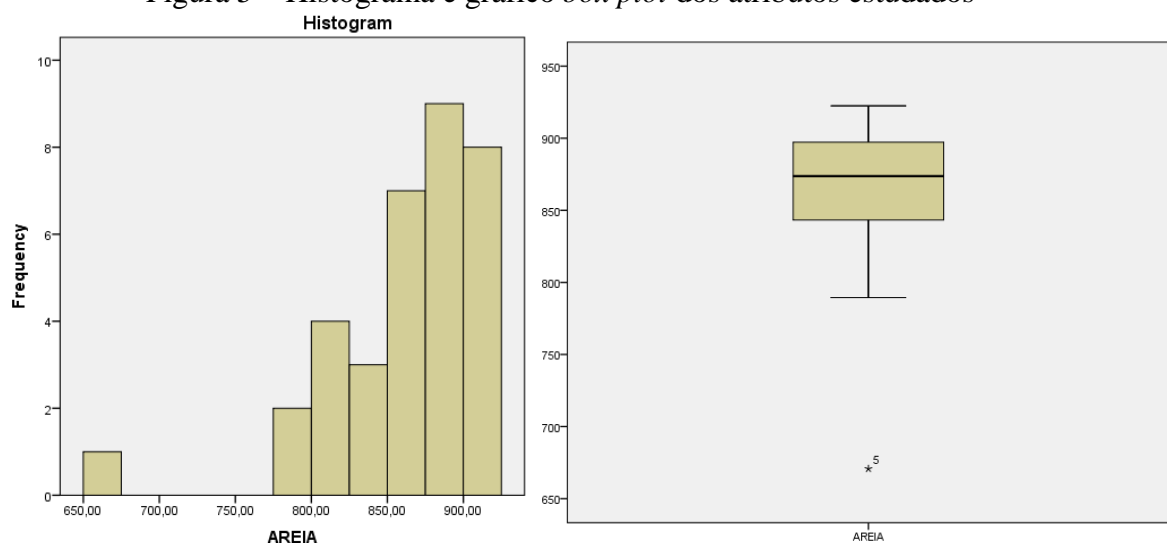
Segundo Isaaks e Srivastava (1989), o coeficiente de assimetria e curtose é mais sensível a valores extremos do que a média e o desvio padrão, pois um único valor pode influenciar fortemente estes coeficientes, uma vez que os desvios entre cada valor e a média são elevados à terceira potência.

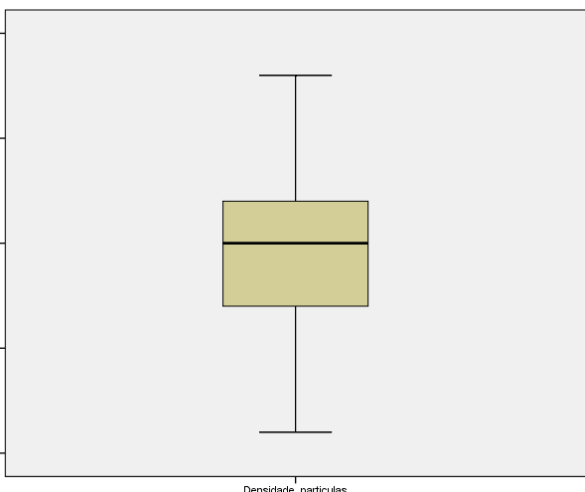
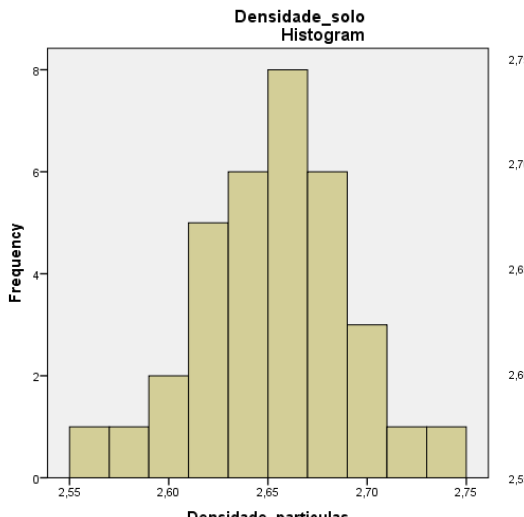
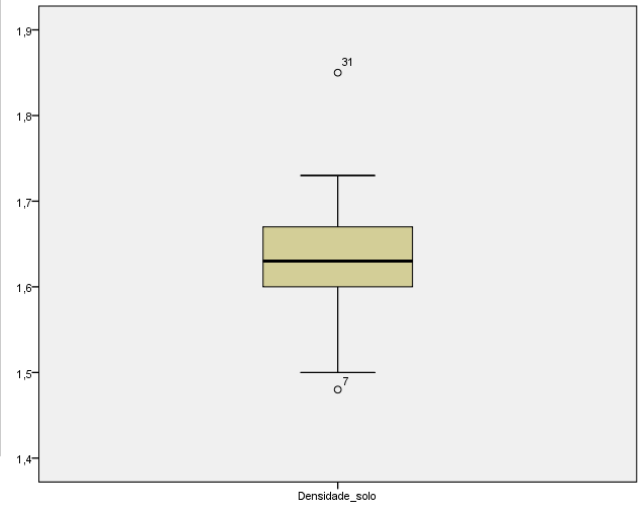
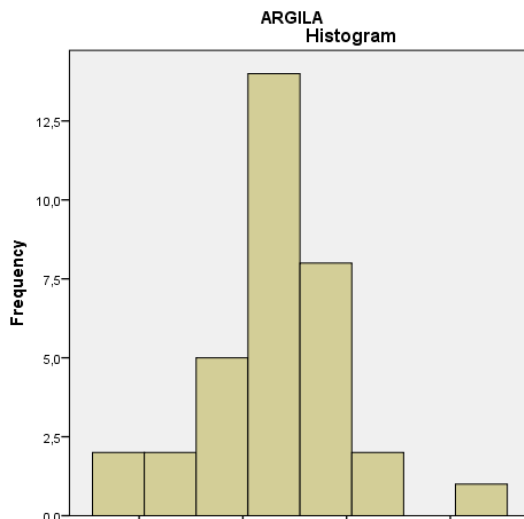
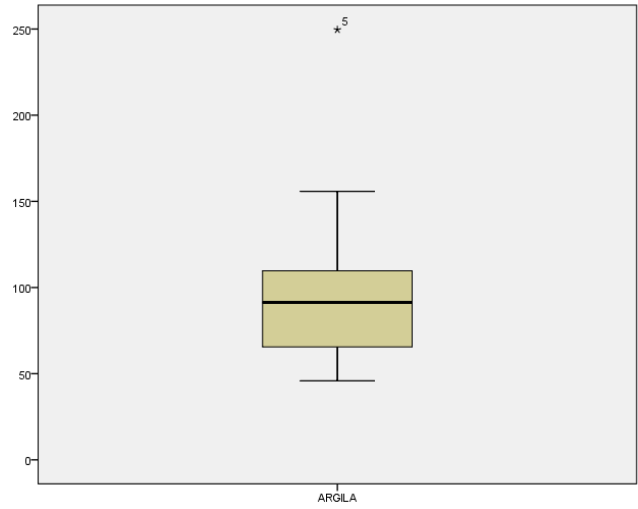
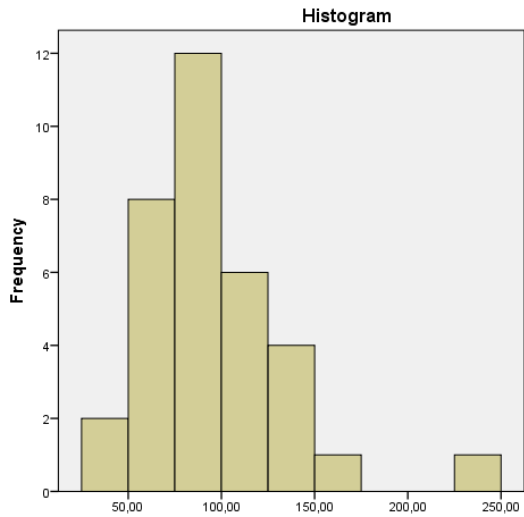
A medida de assimetria de uma distribuição pode ser realizada pelo coeficiente de assimetria de Pearson. Para os dados de granulometria observa-se distribuição assimétrica forte ($|AS| \geq 1,0$) e para os demais atributos uma assimetria moderada ($0,15 \leq |AS| < 1,0$), com exceção da umidade na CC que obteve distribuição simétrica ($|AS| < 0,15$) (Figura 5 e Tabela 2).

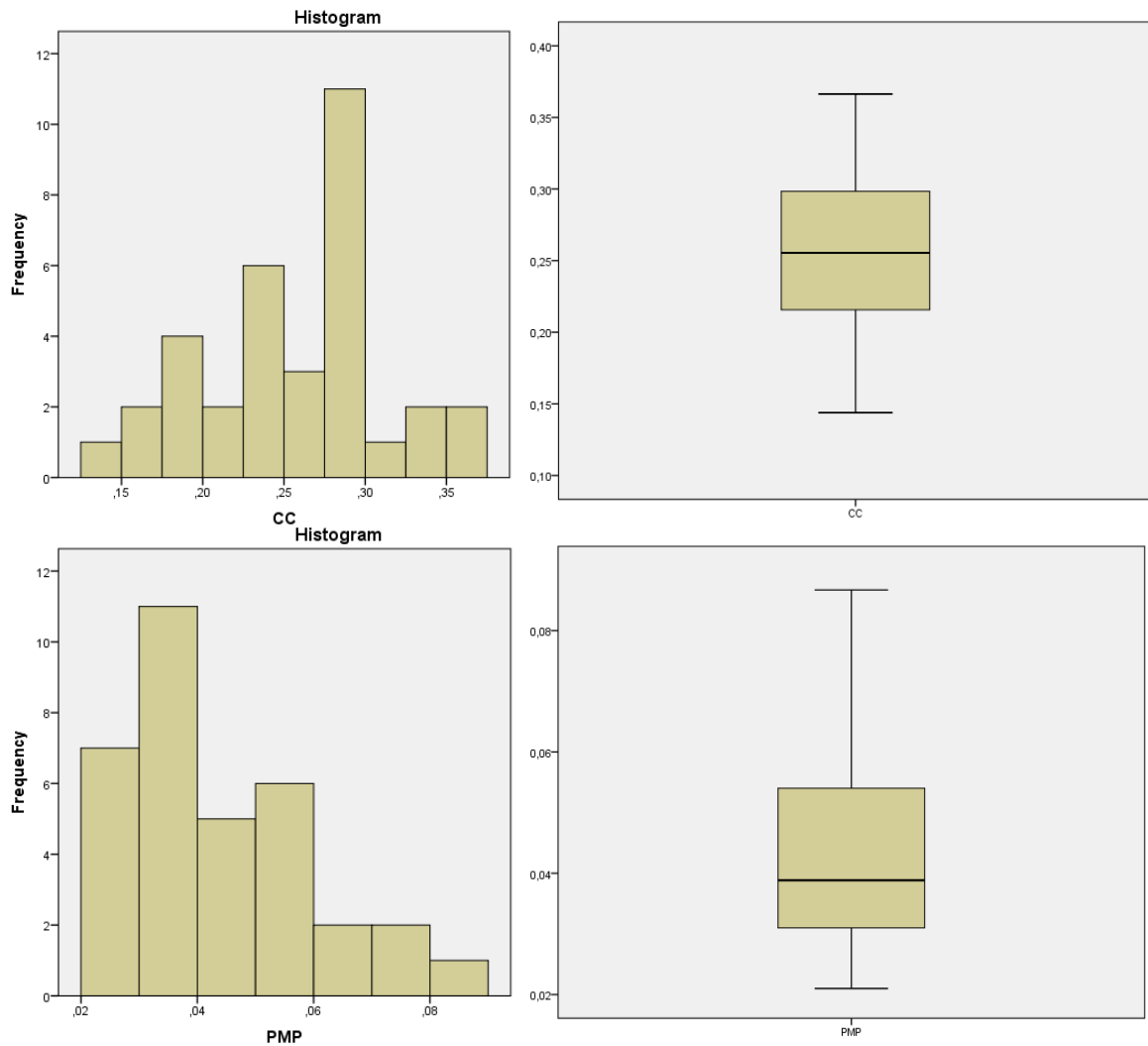
Para testar a hipótese de normalidade foi usado o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 5% de probabilidade. Todos os atributos seguiram uma distribuição normal.

Na figura 5, nos gráficos *box plot* estão destacados valores outliers em argila areia e densidade do solo.

Figura 5 – Histograma e gráfico *box plot* dos atributos estudados







3.2 Dependência espacial

Na tabela 3 e Figura 6 estão apresentados os valores dos parâmetros e os semivariograma para cada atributo estudado. A dependência espacial foi forte para todos os atributos evidenciando assim a não aleatoriedade dos atributos no espaço, uma vez que os valores da Avaliação da Dependência Espacial - ADE foram altos ($ADE > 75\%$), indicada pela relação entre o efeito pepita e o patamar, com exceção da densidade das partículas.

O software GS+ ajustou os modelos esférico, com alcance da dependência espacial de 2270 m e 2390 m para os valores de areia e argila, respectivamente, sendo assim as medições realizadas a distâncias maiores que o alcance, tem distribuição espacial aleatória e, portanto são independentes entre si, Assim, todas as amostras situadas nesta distância são utilizadas para estimar valores em locais não amostrados.

No ajuste dos semivariogramas, o modelo que melhor ajustou para as densidades foi o exponencial e o alcance foi de 1790m e 12760m para os valores de densidade do solo e densidade das partículas, respectivamente, sendo que o primeiro obteve alcance menor que os da granulometria, mostrando neste caso que a densidade do solo depende da granulometria.

Devido à alta variabilidade e a não normalidade dos valores dos parâmetros das curvas de retenção de água no solo, o ajuste do semivariograma foi realizado para a umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) e ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), já que nestes a distribuição foi normal. Os Semivariogramas foram ajustados ao modelo esférico tanto para a θ_{cc} quanto para a θ_{pmp} . O alcance para θ_{cc} foi bem mais elevado que para e θ_{pmp} , conforme figura 6.

No teste da validação cruzada (relação 1:1), cada ponto contido dentro do domínio espacial é removido individualmente, sendo seu valor estimado através da krigagem como se ele não existisse, permitindo assim a visualização da eficiência das estimativas dos dados. Pode-se observar na Tabela 3 que a melhor estimativa foi para densidade das partículas, cujo valor do coeficiente de determinação da Validação Cruzada -VC foi 0,214.

Os baixos valores de coeficiente de determinação da VC podem ser explicados pela baixa quantidade de pontos amostrais.

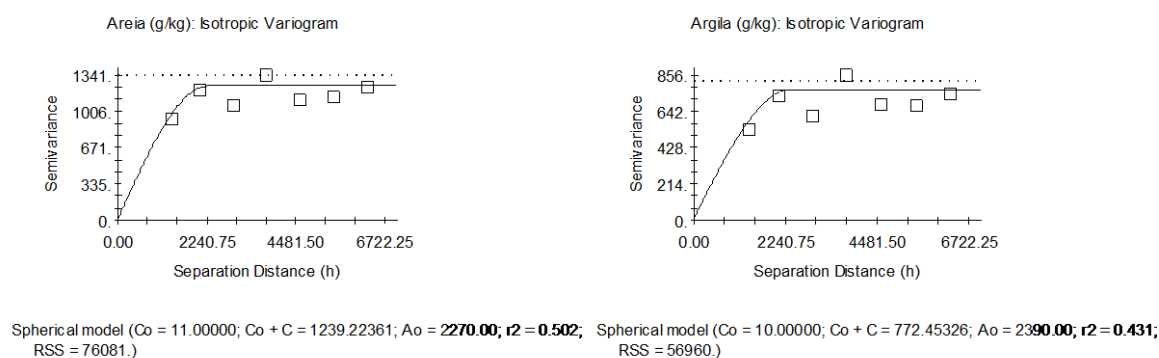
Os mapas gerados por interpolação utilizando a krigagem ordinária para areia, argila, densidade do solo, densidade das partículas, umidade na capacidade de campo e umidade no ponto de murcha permanente podem ser observados nas figuras 7, 8, 9 10, 11 e 12, respectivamente. Como esperado, os mapas das variáveis argila e areia apresentam comportamento inverso, ou seja, onde ocorrem os maiores teores de areia, observam-se os menores teores de argila. Ocorreu semelhante resultado em Campos et al, (2007),

Tabela 3 - Parâmetros dos semivariogramas para os atributos do solo

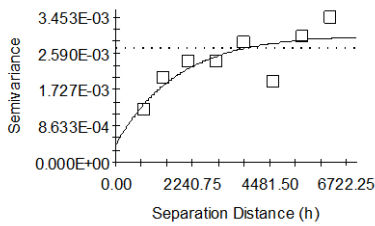
Parâmetros ^(a)	Areia (g/kg)	Argila (g/kg)	ρ solo (g/cm ³)	ρ partículas (g/cm ³)	θ_{cc} (cm/cm ³)	θ_{pmp} (cm/cm ³)
ADE (%)	99	99	86	67	86	99
Classe de dependência espacial	Forte	Forte	Forte	Média	Forte	Forte
VC	0.041	0.073	0.018	0,214	0,068	0,017

^aADE = Avaliação da Dependência Espacial e VC = Coeficiente de determinação para Validação Cruzada,

Figura 6 – Parâmetros e semivariogramas para os atributos do solo

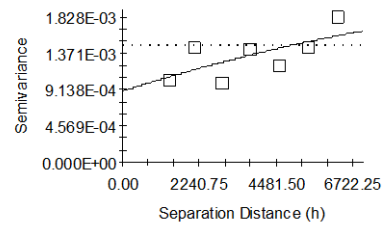


Densidade do solo (g/cm³): Isotropic Variogram



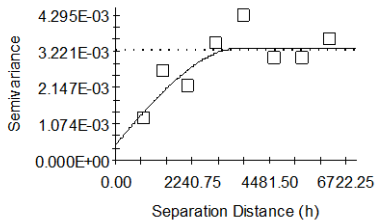
Exponential model (Co = 0.00042; Co + C = 0.00302; Ao = 1790.00; **r2 = 0.645**; RSS = 1.183E-06)

Densidade das partículas (g/cm³): Isotropic Variogram



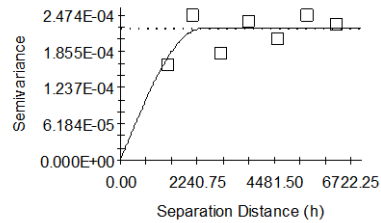
Exponential model (Co = 0.00089; Co + C = 0.00269; Ao = 12760.00; **r2 = 0.465**; RSS = 2.598E-07)

Umidade CC: Isotropic Variogram



Spherical model (Co = 0.00047; Co + C = 0.00330; Ao = 3597.09; **r2 = 0.704**; RSS = 1.952E-06)

Umidade PMP: Isotropic Variogram



Spherical model (Co = 0.00000; Co + C = 0.00022; Ao = 2340.00; **r2 = 0.468**; RSS = 3.670E-09)

Nota-se que os teores de areia decrescem na direção ao sudeste e sul, que estão localizadas nas maiores altitudes, sendo justificado pela presença dos solos mais argilosos, podendo ser observado no mapa de solos do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú contido no apêndice A. Já a argila decresceu no sentido norte e nordeste, onde se apresenta os solos mais arenosos (apêndice a).

Nas Figuras 9 e 10 estão apresentados os mapas de Krigagem ordinária para densidade do solo e densidade das partículas. Os maiores valores de densidade do solo e partículas se encontram mais ao norte e noroeste do mapa, diminuindo seus valores em direção ao leste e sul. É importante saber que sob condições de estrutura comparáveis, quanto mais argiloso o solo, menor sua densidade.

Os mapas gerados pela krigagem para a umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) e ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) estão expostos nas Figuras 11 e 12,

Pode-se observar que a θ_{cc} aumenta seus valores no centro do mapa e ao sul, podendo ser explicado pelos maiores teores de argila o sul, pois num mesmo potencial matricial, os solos mais argilosos retém mais água. Esta mesma tendência ocorre nos valores de θ_{pmp} (Figura 39),

Figura 7 – Mapa de Krigagem da fração areia do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú

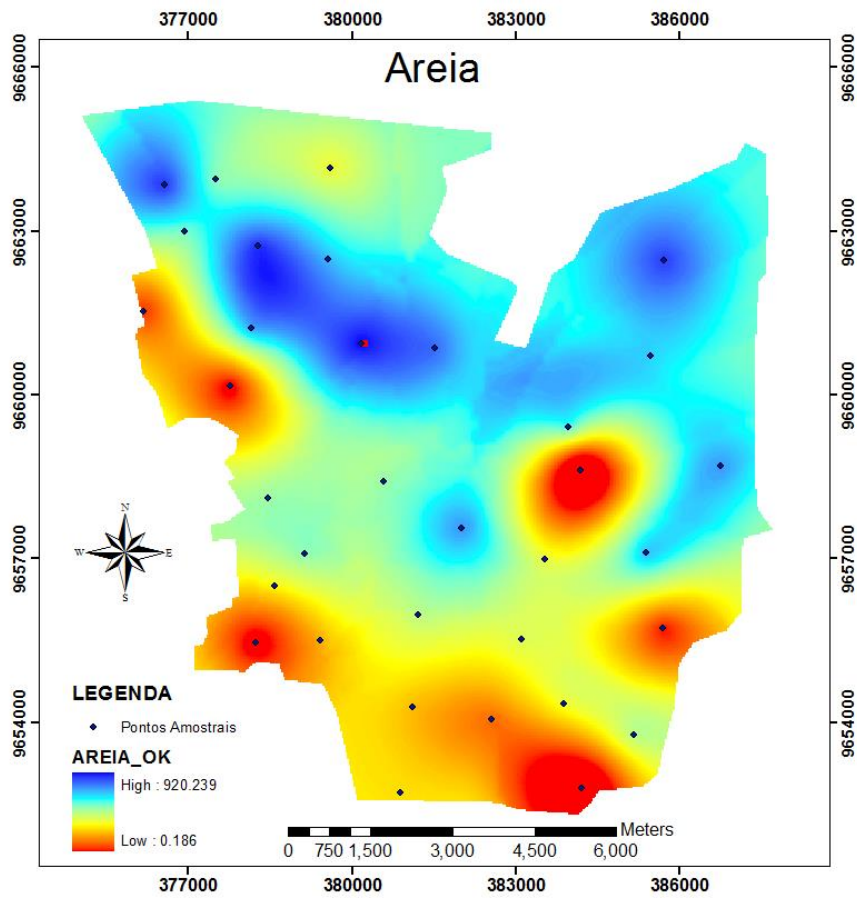


Figura 8 – Mapa de Krigagem da fração argila do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú

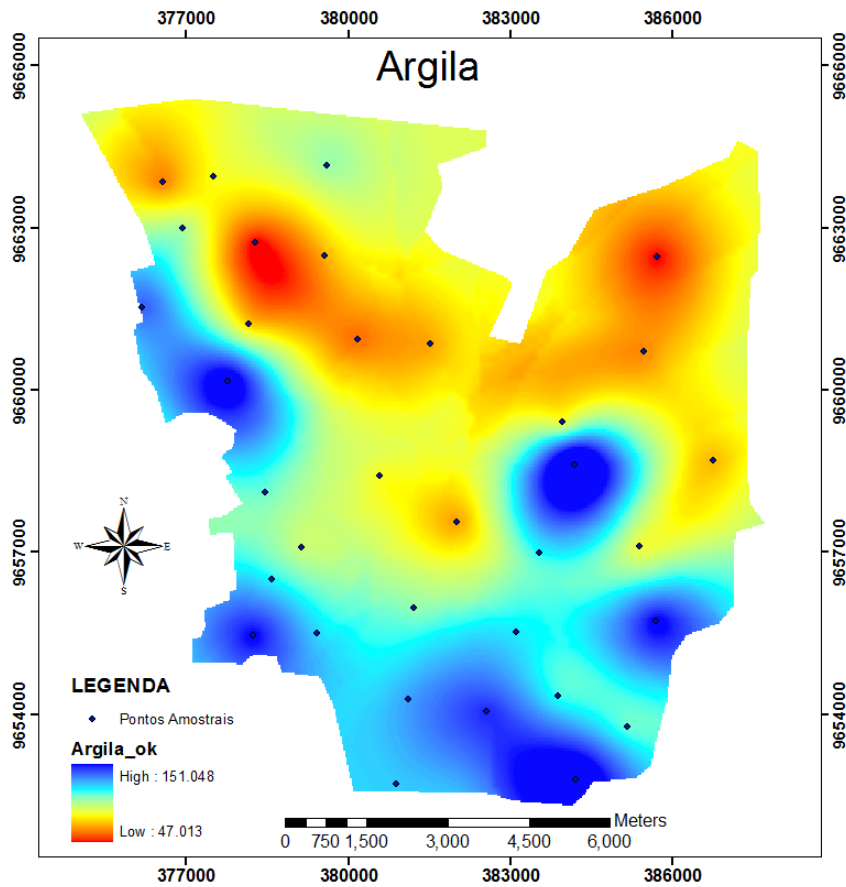


Figura 9 – Mapa de Krigagem da densidade do solo do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú

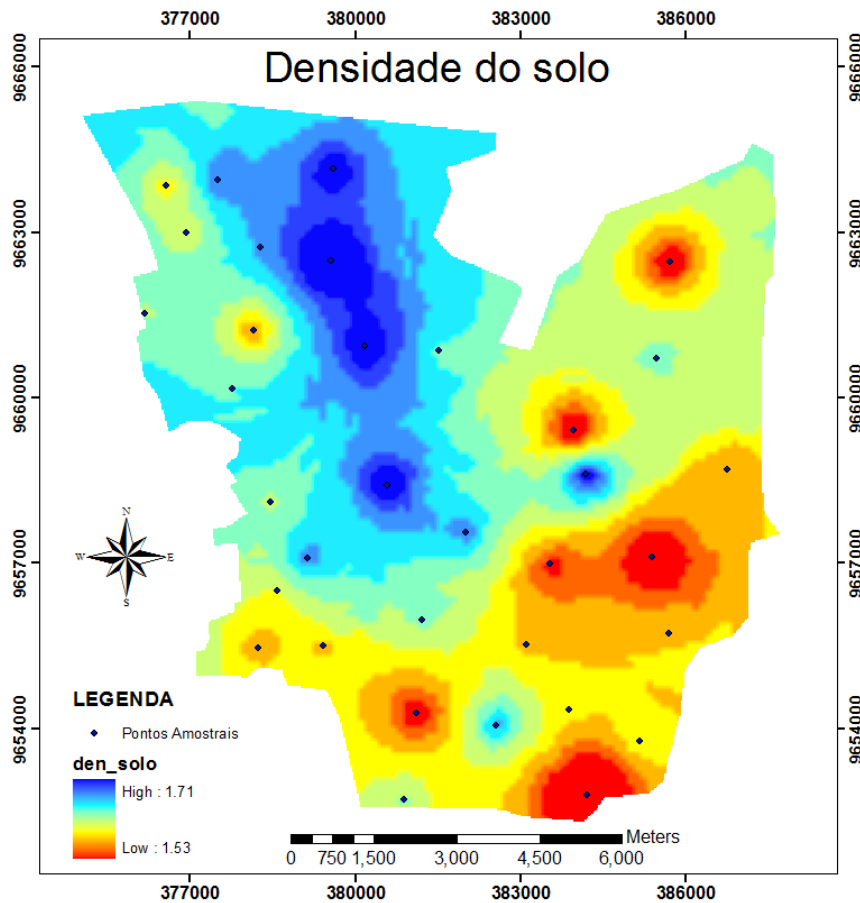


Figura 10 - Mapa da densidade das partículas do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú

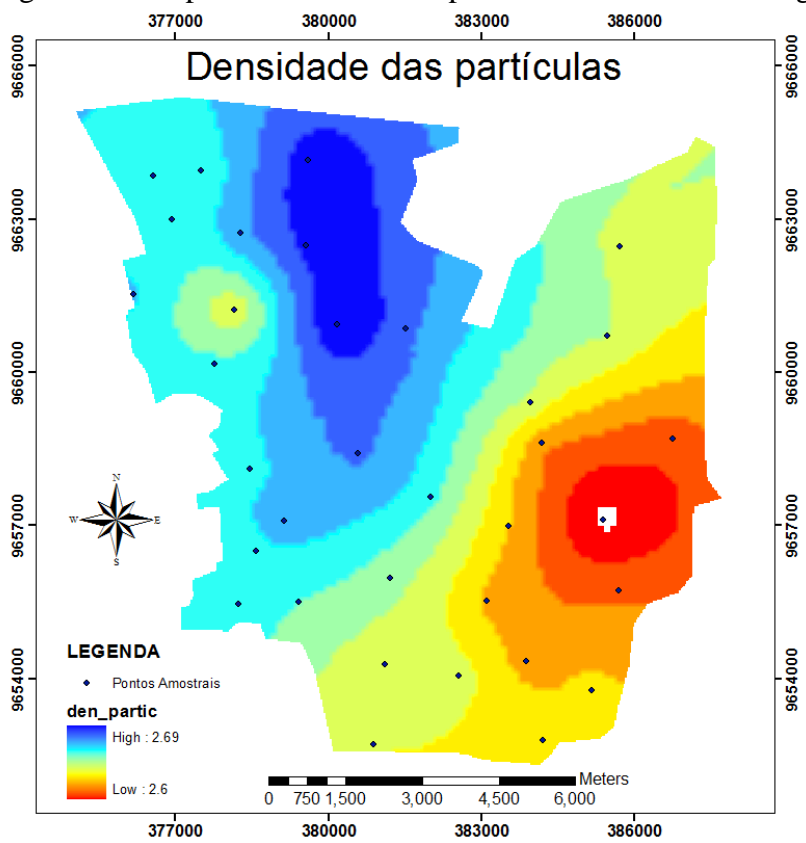


Figura 11 – Mapa de Krigagem do parâmetro θ_{cc} para os solos do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú

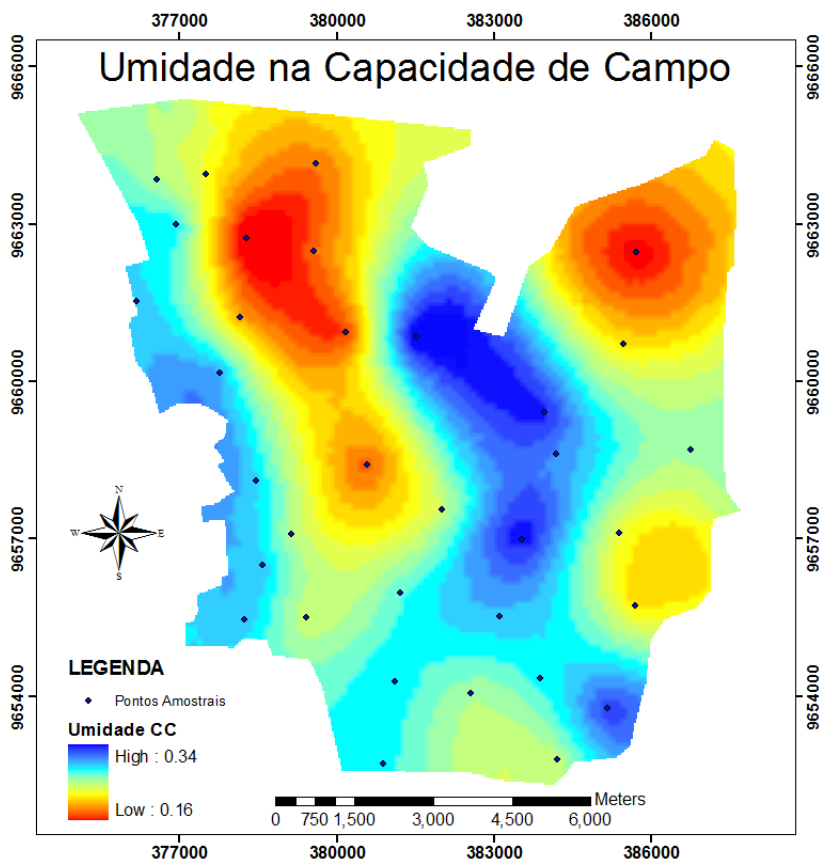
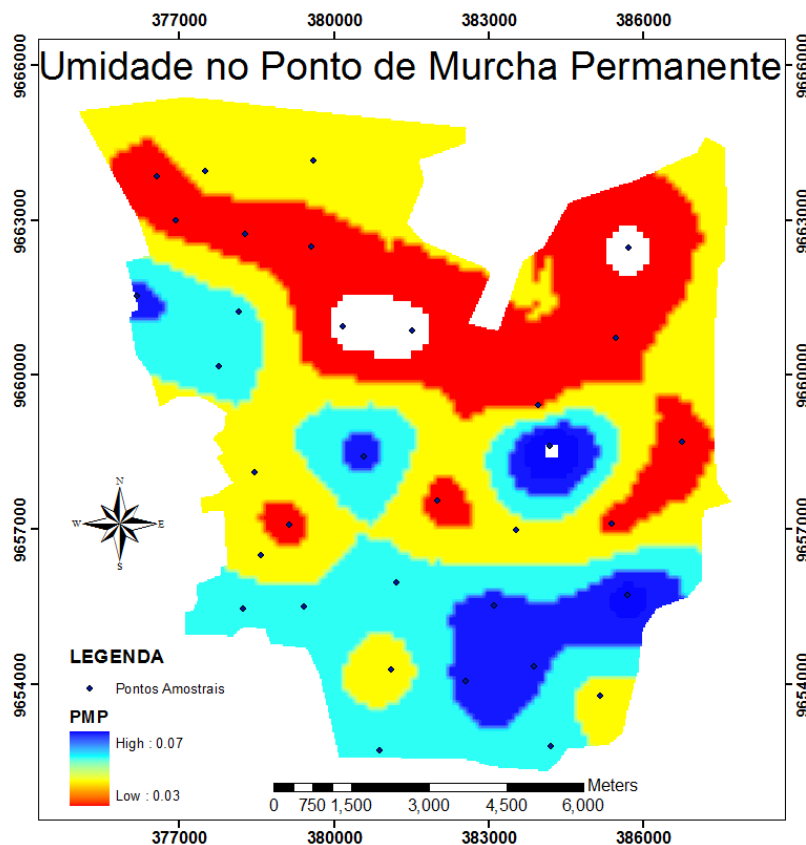


Figura 12 – Mapa de Krigagem da θ_{pmp} para os solos do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú



16 CONCLUSÃO

As propriedades físico-hídricas dos solos do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú apresentaram dependência espacial e puderam ser estimadas por semivariograma, que possibilitou a elaboração de mapas e visualização de áreas que merecem manejo diferenciado na irrigação.

Os mapas podem ser aproveitados na elaboração dos projetos e manejo da irrigação no Perímetro Irrigado Baixo Acaraú,

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J,A, *et al*, Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos, **R, Bras, Ci, Solo**, v, 19, p, 115-119, 1995,
- AMARO FILHO, J,; ASSIS JUNIOR, R, N,; MOTA, J, C, A, **Física do Solo: Conceitos e Aplicações**, Imprensa Universitária, Fortaleza, 2008, 289 p,
- ANKENY, M, D, *et al*, Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity, **Soil Sci, Soc, Am, J,**, v, 55, p, 467-470, 1991,
- ANTONINO, A, C, D, *et al*, Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo com infiltrômetro a disco, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v,5, n,2, p, 247-253, 2001,
- BRITO, A, S, **Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da permeabilidade ao ar em função dos conteúdos de água e ar no solo**, 2010, Tese (Doutorado em Ciências) -Universidade de São Paulo, Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz, 2010,
- CAMPOS, C, C, M,; FERRAZ, F, B,; FREITAS, E, V, S,; SOUZA, Z, M, Dependência espacial de atributos físicos e hídricos de um espodossolo da zona da mata de Pernambuco, **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v, 07, n, 1, 2007
- CAMPOS, R,C, *et al*, Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo, **R, Bras, Ci, Solo**, v, 19, p, 121-126, 1995,
- CARVALHO, O, S,; GASCÓ, J, M,; LOPÉZ, F, G,; REQUEJO, A, S, Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo, **R, Bras, Ci, Solo**, v, 22, p, 497-503, 1998
- CAVALCANTE, E, G, S, Variabilidade especial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v, 15, n, 3, p, 237-243,2011
- DALBIANCO, L, **Variabilidade espacial e estimativa da condutividade hidráulica e Caracterização físico-hídrica de uma microbacia hidrográfica rural**, 2009, Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009
- ESPIRITO SANTO, A, F, **Condutividade hidráulica saturada em função do tipo e uso do solo e método de determinação**, 2011, Dissertação (Mestrado em Produção Sustentável) -Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2011
- FERREIRA, M, F, **Caracterização Física do Solo**, In: Quirijn de Jong van Lier (Ed), (Org.), Física do Solo, 1 ed, Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v, 1, p, 1-27, 2010,
- GOMES, F, P, **Curso de estatística experimental**, Piracicaba: Ed, Centro Acadêmico Luiz de Queiroz, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1976, 250p
- GREGO, C, R,; VIEIRA, S, R, Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental, **R, Bras, Ci, Solo**, v, 29, p, 169-177, 2005

HU, W, *et al*, Spatial variability of soil hydraulic properties on a steep slope in the Loess Plateau of China, **Sci, agric**, Piracicaba, v,65, n,3, 2008

ISAAKS, E,H.; SRIVASTAVA, R,M, **An introduction to applied geostatistics**, New York: Oxford University, 561p, 1989

KITAMURA, A, E, **Inter-relações da variabilidade espacial da granulometria do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto**, Ilha Solteira, 2004, 109 p, Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004

KLUTE, A; DIRKSEN, C, **Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods**, In: KLUTE, A,, ed, **Methods of soil analysis**, Madison, Soil Science Society of America, 1986, p,697-734

LANZANOVA, M, E, *et al*, Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto, **R, Bras, Ci, Solo**, v,31, p, 1131-1140, 2007,

LIBARDI, P, L, **Água no solo**, In: Quirijn de Jong van Lier (Ed), (Org.), **Física do Solo**, 1 ed, Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, v, 1, p, 103-152,

LIBARDI, P, L, **Propriedades físico-hídricas do solo no estudo do manejo e da conservação do solo e da água**, In: Oliveira T, S, (Org.) **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**, Fortaleza, CE, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p 214-223, 2000,

MARQUES, J, D, O, *et al*, Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas, **Acta Amazonica**, v, 38, p, 193 - 206, 2008

MATA, J,D,V,.; GOLCALVES, A,C,A; VIEIRA, S,R,.; FOLEGATTI, M,V, Relação entre produtividade e resistência a penetração em área irrigada por pivô central, sob dois sistemas de prepare, **Acta Scientiarum**, Maringa, v,21, n,3, p,519-525, 1999

ROBERTSON, G,P, **GS+: geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**, Plainwell: **Gamma Design Software**, 1998, 152 p,

PEDROTTI, A; MELLO JÚNIOR, A,V, **Avanços em Ciência do solo: A Física do Solo na Produção Agrícola e Qualidade Ambiental**, Editora da UFS, FAPITEC-SE e SBCS, São Cristóvão, 2009,93p

PERROUX, K, M,.; WHITE, I, Designs for disc permeameters, **Soil Sci, Soc, Am, J**,, 52: 1205-1215, 1988,

RABAH, F, A, **Dependência espacial de atributos do solo obtidos por meio de semivariogramas e autocorrelogramas**, 2002, 90 f, Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, São Paulo, 2002

RECKZIEGEL, N, L,, *et al*, Parâmetros de ajuste da equação de van genuchten e sua variabilidade espacial em um neossolo quartzarenico em Petrolina - PE, In: XVI Congresso de Iniciação Científica, 2007, **Anais**,, Pelotas: Faculdade de agronomia Eliseu Maciel, 2007

SHAPIRO, S, S; WILK, M, B, An analysis of variance for normality (complete samples),

SHARP, **Instructor manual, Scientific computer**, Model EL-5500II, Sharp Eletronics Corporation, Japan, 196p

SANTOS, R,D.; LEMOS, R,C.; SANTOS, H,G.; KER, J,C.; ANJOS, L, H, C, **Manual de descrição e coleta de solo no campo**, 5,ed, Viçosa, MG, SBCS/SNLCS, 2005, 100 p **Biometrika**, v, 52, p, 591-611, 1965

SILVA, A, P.; LIBARDI, P, L.; CAMARGO, O,A, Influencia da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos, **Revista Brasileira de Ciências do solo**, v, 10, p, 91-95, 1986

SILVA, E, B.; LIBARDI, P, L, Propriedades hidráulicas de um solo não saturado utilizando-se o permeâmetro a disco, **Sci, Agric**, Piracicaba, v,57, n,3,2000,

SILVEIRA NETO, A, N, *et al*, Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v,36, p 29-35, 2006,

SOUSA J, R., QUEIROZ, J, E.; GHEYI, H, R, Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semiárido paraibano, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v,3, n,2, p, 140-144, 1999,

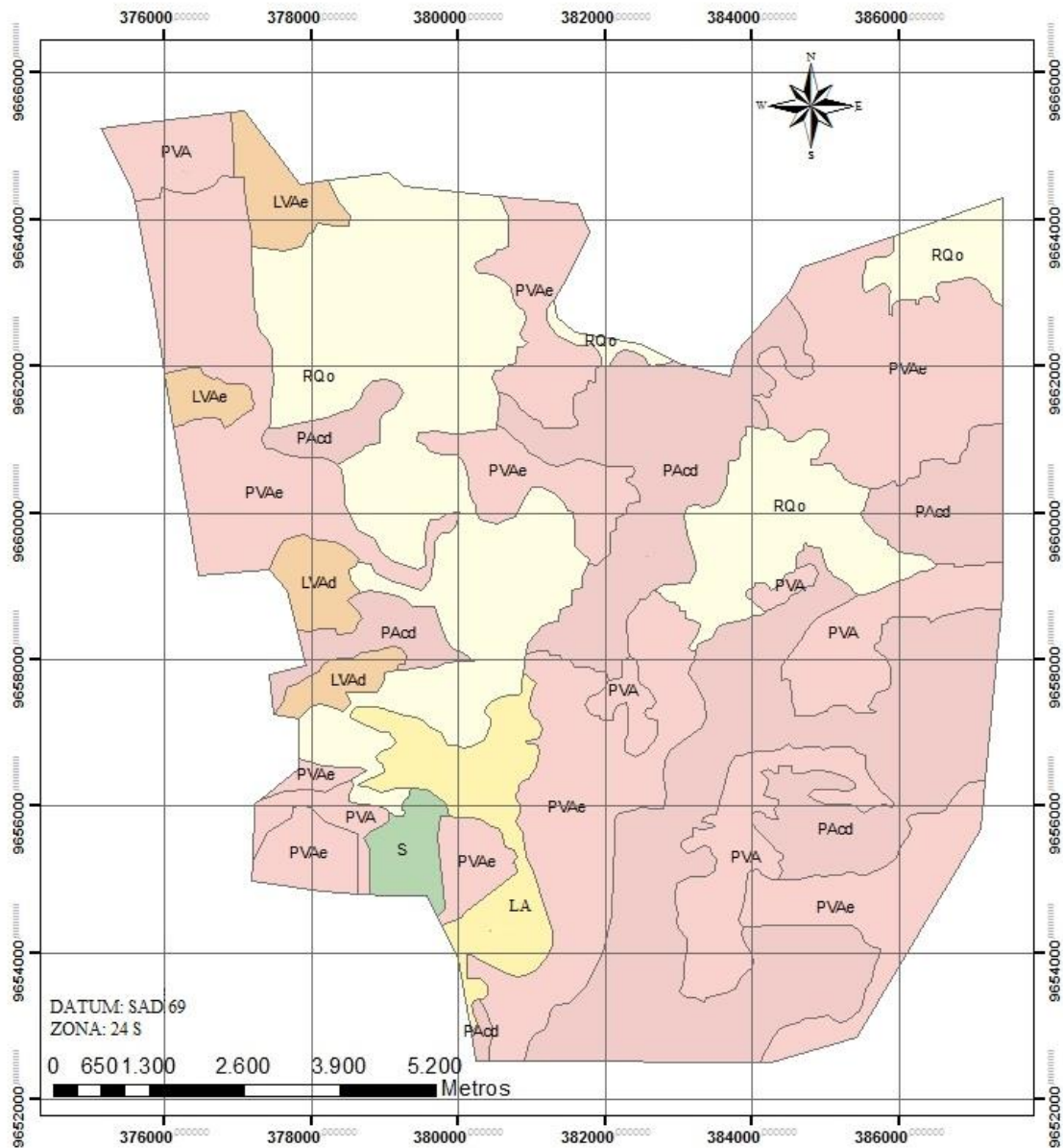
SOUZA, Z, M.; et al, Correlação dos atributos físicos e químicos do solo com a produtividade de cana-de-açúcar, **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v, 8, n, 2, 2008

THOMPSON, L, M.; TROEH, F, **Solos e fertilidade do solo**, São Paulo, Andrei Editora LTD A, 6ª ed, 718 p., 2007,









VAN GENUCHTEN, M, Th, A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils, **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v,44, p,892-898, 1980,
WANG, D, *et al*, Estimating soil hydraulic properties using tension infiltrometers with varying disk diameters, **Soil Science**, v, 163, n, 5, 1998,

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

Apêndice 1



LEGENDA

- | | |
|---|--|
|  Argissolo Acinzentado Distrófico - PAcd |  Latossolo Vermelho Amarelo distrófico - LVAd |
|  Argissolo Vermelho Amarelo - PVA |  Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico - LVAe |
|  Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico - PVAe |  Neossolo Quartzarênico - RQo |
|  Latossolo Amarelo - LA |  Planossolo - S |