

JÚLIO JOSÉ DO NASCIMENTO SILVA

**CARACTERIZAÇÃO EDAFOCLIMÁTICA EM UM CULTIVO
DE MAMONA (*Ricinus communis* L.) EM VALE ALUVIAL NO
AGRESTE DE PERNAMBUCO**

RECIFE – PE

Fevereiro-2008

JÚLIO JOSÉ DO NASCIMENTO SILVA

CARACTERIZAÇÃO EDAFOCLIMÁTICA EM UM CULTIVO DE
MAMONA (*Ricinus communis* L.) EM VALE ALUVIAL NO AGRESTE DE
PERNAMBUCO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro.

Co – Orientador: Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva.

RECIFE - PE

Fevereiro-2008

Ficha catalográfica

S586c Silva, Júlio José de Nascimento
Caracterização edafoclimática em um cultivo de mamona
(*Ricinus communis* L.) em vale aluvial no Agreste de
Pernambuco / Júlio José de Nascimento Silva. – Recife:
2008.
85 f.: il.

Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento
de Tecnologia Rural.
Inclui bibliografia.

CDD 633.85

1. Vale aluvial
2. Variabilidade Espacial
3. Mamona (*Ricinus communis* L.)
 - I. Montenegro, Abelardo Antônio de Assunção
 - II. Título

JÚLIO JOSÉ DO NASCIMENTO SILVA

Caracterização edafoclimática em um cultivo de mamona (*Ricinus communis* L.) em vale aluvial no Agreste de Pernambuco.

Dissertação defendida e aprovada em 29 de fevereiro de 2008 pela Banca Examinadora:

Orientador:

Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, Prof. PhD
DTR-UFRPE

Examinadores:

Ênio Farias de França e Silva, Prof. Dr
DTR-UFRPE

Marcus Metri Corrêa, Prof. Dr
DTR-UFRPE

Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão, Prof. Dr
CNPA-EMBRAPA

“Sonhe alto... Queira o melhor do melhor... Se pensarmos pequeno... Coisas pequenas teremos... Mas se desejarmos fortemente o melhor e, principalmente, lutarmos pelo melhor... O melhor vai se instalar em nossa vida. Porque sou do tamanho daquilo que vejo, e não do tamanho da minha altura”.

Carlos Drummond de Andrade

“É melhor tentar e falhar que preocupar-se e ver a vida passar. É melhor tentar, ainda que em vão, que sentar-se fazendo nada até o final. Eu prefiro na chuva caminhar que em dias tristes me esconder. Prefiro ser feliz embora louco, que em conformidade viver”.

Martin Luther King

“Desistir de aprender é egoísmo. Quando acalentamos o desejo de aprender mais, nossas vidas estarão repletas de genuína vitalidade e brilho”.

Daisaku Ikeda

“Posso todas as coisas naquele que me fortalece”.

Filipenses 4:13

Ao meu querido pai, Ademar (*In Memoriam*), que onde quer que esteja sempre estará comigo me guiando pelo melhor caminho e a minha querida mãe, Eva, que me incentivou desde o primeiro momento da minha vida, a conquistar esta glória, me ajudando a superar todas as dificuldades.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por ter guiado meus passos nessa caminhada árdua, mas gratificante.

A minha família, em especial meus pais, Ademar Pereira da Silva (*in memorian*) e Evaneuza Maria do Nascimento Silva e meus avós Amarina Pereira da Silva, José Pereira da Silva (*in memorian*), Júlio Francisco do Nascimento e Terezinha Silva do Nascimento que sempre se dedicaram e me ensinaram os valores da vida.

Aos meus queridos irmãos Ademar Jr e Whemerson, meu fiéis companheiros, que sempre confiaram no meu sucesso.

Aos meus amigos palmarenses inseparáveis, Lucas, Neto, Bruno e Márcio, os quais considero como verdadeiros irmãos.

Aos amigos de residência José de Almeida, José Francisco (Zézito) e Elias (Capixaba) pela amizade e pelos momentos de convivência e descontração.

Aos amigos e amigas de Mestrado, em especial a Adriana, Michelle, Aérica, Lígia, Felizarda, Jussálvia, Albert, Manoel, Pedro, George, Graciliano e Alexandre, que em pouco tempo de curso soubermos construir uma bela amizade.

Aos amigos da Sala 03 do DTR da UFRPE, Thaís, Táfnes, Ana Paula, Junior, Edimilson, Adriano, Eduardo, Francisco, José Roberto, Edivan, Robertson, Issac, Cléber e todos que fazem parte do laboratório de hidrologia aplicada pelo trabalho em conjunto, empenho, disponibilidade e alegria que demonstraram durante todo o período de coleta de dados e análise das informações.

As minhas amigas de “msn”, Nérig e Pollyana, pela amizade e pelo incentivo durante a fase de confecção desta dissertação;

Aos Professores Dr. Abelardo Montenegro e Dr. Ênio França pela orientação, supervisão e apoio na elaboração deste trabalho.

A todos os meus professores da Pós-graduação, em especial aos professores Dr. Marcus Metri e Dr. Fernando Cartaxo, pela contribuição que deram ao meu crescimento pessoal, acadêmico e profissional durante todo o curso.

Aos funcionários da UFRPE, José Luiz (Lulinha), Júnior Granja, Sônia, Ednalva (Nana) e Anacleto pela ajuda e serviços prestados ao longo do curso.

Ao Sr. Malaquias Xavier de Oliveira e família, autor principal desta obra, pela considerável ajuda, tanto pela área disponibilizada como pela sua dedicação no manejo da cultura durante o experimento de campo.

Ao CNPq/CT-Agro/CT-Hidro pelo suporte financeiro aplicado neste trabalho.

A Embrapa Algodão, nas pessoas de Waltermilton Cartaxo e Leandro Silva, pela contribuição técnico-científica e pela amizade construída durante a execução deste trabalho.

A todos que dedicaram sua parcela de orientação e ajuda ao longo não só do curso, mas também da vida. Meus sinceros agradecimentos.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produção, área colhida, rendimento médio, importação e exportação de mamona em baga do Brasil (1000t), no período 1977 a 2007.....	4
Tabela 2 Coeficiente de cultivo (Kc) correspondente à cultura da mamona, em diferentes fases de desenvolvimento.	15
Tabela 3 Análise de fertilidade do solo da área de estudo. Pesqueira-PE, 2007.....	34
Tabela 4 Análise da textura, densidade do solo (Ds), densidade da partícula e porosidade total do solo da área experimental. Pesqueira-PE, 2007.....	34
Tabela 5 Produção e produtividade de feijão e de mamona em bagas e grãos na área experimental. Pesqueira-PE, 2007.....	46
Tabela 6 Valores de evapotranspiração acumulada mensal e a média diária, e desvio percentual tomando-se Penman-Monteith como padrão, para o ano de 2007. Pesqueira-PE, 2007.....	49
Tabela 7 Coeficiente de cultura (Kc), precipitação (P), evaporação (EV), evapotranspiração de referência (ET _o) e evapotranspiração da cultura (ET _c) médios e acumulados, durante os fases da cultura. Pesqueira-PE, 2007.....	52
Tabela 8 Estatística clássica dos teores de areia silte e argila. Pesqueira-PE, 2007.....	54
Tabela 9 Parâmetros do semivariogramas dos teores de areia, silte e argila, nas três profundidades. Pesqueira-PE, 2007.....	55
Tabela 10 Estatística clássica da condutividade elétrica média do extrato de saturação (CE _{es}) em dS.m ⁻¹ no início da estação chuvosa nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm e no final da estação chuvosa na profundidade de 0-40cm. Pesqueira-PE, 2007.....	60
Tabela 11 Parâmetros do semivariogramas da condutividade elétrica média do extrato de saturação (CE _{es}) em dS m ⁻¹ no início da estação chuvosa nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm e no final da estação chuvosa na profundidade de 0-40cm. Pesqueira-PE, 2007.	61
Tabela 12 Estatística clássica da concentração de Na (mmolc/L) no início da estação chuvosa nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm e no final da estação chuvosa na profundidade de 0-40cm. Pesqueira-PE, 2007.	63
Tabela 13 Parâmetros do semivariogramas da concentração de sódio (Na), no início da estação chuvosa nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm, e no final da estação chuvosa na profundidade de 0-40cm. Pesqueira-PE, 2007.....	64
Tabela 14 Estatística clássica para as variáveis de crescimento da cultura da mamona: altura de plantas e diâmetro caulinar. Pesqueira-PE, 2007.....	66
Tabela 15 Parâmetros dos semivariogramas para as variáveis de crescimento da cultura da mamona: Altura de plantas e diâmetro caulinar. Pesqueira-PE, 2007.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Maiores produtores de mamona em 2005 (Fonte: RAMOS et al., 2006).....	4
Figura 2. Localização da área de estudo no município de Pesqueira – PE (Fonte: Silva et al., 2007).....	23
Figura 3. Esquema representativo da área experimental. Pesqueira-PE, 2007.....	25
Figura 4. Tanque Classe “A”. Pesqueira-PE, 2007.....	26
Figura 5. Tensímetro de punção em campo. Pesqueira-PE, 2007.....	28
Figura 6. Sonda de Nêutrons no momento da leitura no campo. Pesqueira-PE, 2007.....	29
Figura 7. Estação tensiométrica junto com tubo de acesso para Sonda de Nêutrons. Pesqueira-PE, 2007.....	29
Figura 8. Triângulo de classificação textural de solos (LEMOS & SANTOS, 1996).....	31
Figura 9. Percentuais de areia, argila e silte do solo estudado. Pesqueira-PE, 2007.....	35
Figura 10. Curva Característica de Retenção de umidade do solo. Grupo 1: A. na profundidade 0-20 cm. B. na profundidade 20-40 cm. Ajustada por van Genuchten (1980).....	36
Figura 11. Curva Característica de Retenção de umidade do solo. Grupo 2: A. na profundidade 0-20 cm. B. na profundidade 20-40 cm. Ajustada por van Genuchten (1980).....	37
Figura 12. Curva Característica de Retenção de umidade do solo. Grupo 3: E. na profundidade 0-20 cm. F. na profundidade 20-40 cm. Ajustada por van Genuchten (1980).....	38
Figura 13. Potencial matricial (kPa) ao logo do ciclo da cultura na região no grupo 1. Pesqueira-PE, 2007.....	39
Figura 14. Potencial matricial (kPa) ao logo do ciclo da cultura na região. A. grupo 2. B. grupo 3. Pesqueira-PE, 2007.....	40
Figura 15. Curva de calibração neutrônica para o solo estudado. Pesqueira-PE, 2007.....	41
Figura 16. Umidade do solo estimada pela sonda de nêutrons. A. grupo 1. B. grupo 2. C. grupo 3. Pesqueira-PE, 2007.....	42
Figura 17. Variação do nível do lençol d’água subterrâneo ao longo do tempo. Pesqueira-PE, 2007.....	43
Figura 18. A. Crescimento médio das plantas ao longo do ciclo da cultura. B. Evolução do diâmetro caulinar ao longo do ciclo da cultura. C. Estimativa de área foliar ao longo do ciclo da cultura. Pesqueira-PE, 2007.....	44
Figura 19. Plantio da mamona. A. 23 DAS. B. 72. DAS. C. 79 DAS. D. 164 DAS. E. 200 DAS. Pesqueira-PE, 2007.....	45
Figura 20. Produção parcial e total de mamona ao longo das linhas de cultivo. Pesqueira-PE, 2007.....	47
Figura 21. Pluviômetro localizado na propriedade do agricultor. Pesqueira-PE, 2007.....	47
Figura 22. Distribuição da precipitação ao longo do ano na área experimental.....	48
Figura 23. Precipitação, evaporação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração da cultura ao longo do tempo na fase inicial da cultura. Pesqueira-PE, 2007.....	50
Figura 24. Precipitação, evaporação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração da cultura ao longo do tempo na fase de desenvolvimento da cultura. Pesqueira-PE, 2007.....	50
Figura 25. Precipitação, evaporação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração da cultura ao longo do tempo na fase intermediária da cultura. Pesqueira-PE, 2007.....	51

Figura 26. Precipitação, evaporação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração da cultura ao longo do tempo na fase final de desenvolvimento da cultura. Pesqueira-PE, 2007.	51
Figura 27. Precipitação, ETo Tanque Classe “A” e ETo Penman-Monteith: A. mensal. B. acumulado ao longo do ciclo da cultura. Pesqueira-PE, 2007.....	53
Figura 28. Semivariograma e mapa de isolinhas para os atributos: A. areia na camada de 0-20cm. B. argila na camada de 0-20cm. Pesqueira-PE, 2007.....	57
Figura 29. Semivariograma e mapa de isolinhas para os atributos: A. silte na camada de 0-20cm. B. areia na camada de 20-40cm. C. argila na camada de 20-40cm. D. silte na camada de 20-40cm. Pesqueira-PE, 2007.....	58
Figura 30. Semivariograma e mapa de isolinhas para os atributos: A. areia na camada de 40-60cm. B. argila na camada de 40-60cm. C. areia na camada de 40-60cm. Pesqueira-PE, 2007.....	59
Figura 31. Semivariograma e mapa de isolinhas da CEes. A. na profundidade de 0-20cm. B. na profundidade de 20-40cm. C. na profundidade de 0-40cm. Pesqueira-PE, 2007.....	62
Figura 32. Semivariograma e mapa de isolinhas do teor de Sódio (Na ⁺). A. na profundidade de 0-20cm. B. na profundidade de 20-40cm. C. na profundidade de 0-40cm. Pesqueira-PE, 2007.....	65
Figura 33. Semivariograma e mapa de isolinhas para altura das plantas. A. 16 DAS. B. 37 DAS. Pesqueira-PE, 2007.....	68
Figura 34. Semivariograma e mapa de isolinhas para altura das plantas. A. 51 DAS. B. 63 DAS. C. 72 DAS. D. 81 DAS. Pesqueira-PE, 2007.	69
Figura 35. Semivariograma e mapa de isolinhas para altura das plantas. A. 97 DAS. B. 133 DAS. I 168 DAS. J. 200 DAS. Pesqueira-PE, 2007.....	70
Figura 36. Semivariograma e mapa de isolinhas para diâmetro caulinar. A. 32 DAS. B. 51 DAS. C. 63 DAS. Pesqueira-PE, 2007.....	71
Figura 37. Semivariograma e mapa de isolinhas para diâmetro caulinar. A. 72DAS. B. 81 DAS. C. 97 DAS. Pesqueira-PE, 2007.....	72
Figura 38. Semivariograma e mapa de isolinhas para diâmetro caulinar. A. 133DAS. B. 168 DAS. C. 200 DAS. Pesqueira-PE, 2007.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- ψ - potencial total da água no solo, cm
- ψ_p - componente de pressão do potencial da água no solo, cm
- ψ_g - componente gravitacional do potencial da água no solo, cm
- ψ_{os} - componente osmótica do potencial da água no solo, cm
- ψ_m - componente matricial do potencial da água no solo, cm
- θ_v – umidade volumétrica, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
- θ_s – umidade de saturação, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
- θ_r – umidade residual, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
- α – parâmetro de ajuste da Eq de Genuchten (1980), cm^{-1}
- m - parâmetro de ajuste da equação Eq de Genuchten (1980), adimensional
- n – parâmetro de ajuste da equação Eq de Genuchten (1980), adimensional
- Kc - Coeficiente de cultura, $\text{mm} \cdot \text{mm}^{-1}$
- ETc - Evapotranspiração da cultura, mm
- ETo - Evapotranspiração de referência, mm
- ETm - Evapotranspiração de máxima da cultura, mm
- Kt - coeficiente do Tanque Classe “A”
- Kc - coeficiente de cultura
- ΔA - variação do armazenamento de água no perfil do solo, mm
- P – Precipitação pluvial, mm
- I – Irrigação, mm
- AC – ascensão capilar, mm
- DI – drenagem interna, mm
- DS - deflúvio superficial, mm
- S = Área foliar; cm^2
- P = Comprimento da nervura principal, cm
- T = Média do comprimento das duas nervuras laterais, cm
- ECA = Evaporação diária do Tanque Classe “A”, mm
- $L_{anterior}$ = Leitura anterior da régua instalada no tanque, mm
- L_{atual} = Leitura atual da régua instalada no tanque, mm
- ETo_{PM} = Evapotranspiração de referência, $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$

s = Declividade da curva de pressão de vapor

γ = Constante psicrométrica, $\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

γ^* = Constante psicrométrica modificada, $\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

Rn = Saldo de Radiação, $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$

G = Fluxo de calor no solo, $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$

T = Temperatura média diária, $^\circ\text{C}$

U_2 = Velocidade média do vento medida a 2m de altura, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

λ = Calor latente de evaporação da água, $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

e_a = Pressão de vapor de saturação, kPa

e_d = Pressão de vapor real, kPa

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

DISME - Distrito de Meteorologia

T_m = Temperatura média mensal do ar, Kelvin

I = Índice de calor

CN - Contagem normalizada

C_{solo} - Contagem normalizada no solo

C_{barril} - contagem normalizada no barril

TRFA - terra fina seca ao ar

TFSE - terra fina seca na estufa

Pt - porosidade total do solo, %

Ds - densidade global, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Dp - densidade das partículas, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

θ_m - umidade do solo na base de massa, $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$

p_{ss} - Peso do solo seco a 105°C por 48 horas, g

p_{su} - Peso do solo úmido, g

θ_v - umidade do solo na base de volume, $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$

CEes - Condutividade elétrica no extrato saturado

DAS – Dias após o semeio

Co - Efeito pepita

Co+C – Patamar

Ao - Alcance, m

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	xii
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. A cultura da Mamona (<i>Ricinus communis</i> L.)	3
2.1.1. Panorama do agronegócio da mamona no Brasil	3
2.1.2. Importância da cultura da mamona como matriz energética	5
2.1.3. Descrição Botânica	6
2.1.4. Aspectos Agronômicos	7
2.1.5. Clima, Solos e Necessidades Hídricas	7
2.1.6. Cultivares recomendadas para a região Nordeste	7
2.1.7. Configuração e densidade de plantio	7
2.2. A água no solo e o desenvolvimento das plantas	8
2.2.1. Armazenamento de água no solo	9
2.2.2. Potencial da água no solo	9
2.2.3. Água disponível à planta	10
2.2.4. Umidade e Tensão da Água do Solo: Curva-característica do solo	10
2.3. Evapotranspiração	12
2.3.1. Evapotranspiração Potencial de Referência (ETo)	13
2.3.2. Evapotranspiração Real (ER)	14
2.3.3. Evapotranspiração da Cultura (ETc) e Coeficiente de Cultura (Kc)	14
2.3.4. Evapotranspiração Máxima (ETm)	15
2.3.5. Estimativa da Evapotranspiração	16
2.4. Balanço Hídrico	16
2.5. Zoneamento e Aptidão Agroclimática da cultura da Mamona	18
2.6. Variabilidade Espacial dos Atributos do Sistema Solo-Planta	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. Área de estudo	23
3.2. A unidade experimental	24
3.3. Estimativa da Evapotranspiração Potencial de Referência (ETo)	25
3.3.1. Tanque Classe A	25
3.3.2. Penman-Monteith:	26
3.4. Balanço Hídrico Climatológico	27
3.5. Avaliação da tensão da água no solo	28
3.6. Avaliação do perfil de umidade do solo	28
3.7. Coleta de amostras de solo para análises físicas e químicas	30

3.8.	Determinação da curva característica de retenção de umidade do solo.	31
3.9.	Distribuição espacial das variáveis de crescimento da cultura e das características físico-químicas do solo	32
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1.	Caracterização do solo da área de estudo	34
4.1.1.	Análise da fertilidade	34
4.1.2.	Análise textural	34
4.1.3.	Curva de retenção da água no solo: Curva Característica	35
4.1.4.	Análise da tensiometria	39
4.1.5.	Avaliação da umidade do solo com sonda de nêutrons	40
4.2.	Análise da cultura	43
4.2.1.	Variáveis de crescimento: Altura de plantas, diâmetro caulinar e estimativa da área foliar	43
4.2.2.	Produtividade	46
4.3.	Análise dos parâmetros climatológicos	47
4.3.1.	Precipitação	47
4.3.2.	Evapotranspiração de referência (ET _o) e Evapotranspiração de cultura (ET _c)	48
4.3.3.	Balanço Hídrico	52
4.4.	Análise da variabilidade espacial de atributos edáficos e de crescimento da cultura	53
4.4.1.	Granulometria	54
4.4.2.	Condutividade elétrica e teor de sódio do extrato de saturação do solo (Na)	59
4.4.3.	Variáveis de crescimento: altura de plantas e diâmetro caulinar	65
5.	CONCLUSÕES	74
6.	REFERÊNCIAS	75

CARACTERIZAÇÃO EDAFOCLIMÁTICA EM CULTURA DE MAMONA (*Ricinus communis* L.) EM VALE ALUVIAL NO AGRESTE DE PERNAMBUCO

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho foi avaliar o potencial da cultura da mamoneira em vales aluviais no Agreste de Pernambuco. A pesquisa foi conduzida na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, Pesqueira-PE. Utilizou-se a cultivar BRS 188 – Paraguaçu, que segundo a literatura se adequa às condições locais. O cultivo experimental iniciou-se no dia 15/03/2007, terminando seu primeiro ciclo no dia 31/10/07. Neste período, o plantio foi conduzido em regime de sequeiro, havendo apenas uma irrigação de salvação de 12 mm. Para tanto, foram avaliadas as condições edafoclimáticas em que se desenvolveu a cultura, como granulometria do solo, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), fertilidade média do solo, evapotranspiração de referência (ET_o). Pelo Tanque Classe “A” e adotando-se coeficiente de cultura para mamona da FAO, estimou-se a evapotranspiração da cultura (ET_c). Os parâmetros avaliados da cultura foram a altura de plantas, diâmetro caulinar, índice de área foliar e produtividade. Todos estes parâmetros foram estimados por meio de estatística descritiva, onde se observou os valores médios de CEes de 1,48 dS.m⁻¹, antes do plantio, e de 0,96 dS m⁻¹ no final do ciclo, com classe textural franco arenosa. A ET_o média durante o ciclo foi de 2,98 mm.dia⁻¹ e a ET_c de 2,08 mm.dia⁻¹, enquanto o potencial matricial médio da água do solo foi de -27.97 kPa. As plantas alcançaram, até o final do 1º ciclo, 3,32 m de altura com diâmetro caulinar de 65 mm, no tocante à estimativa da área foliar, obteve-se valor de 4,42 m², no período de maior desenvolvimento vegetativo, e a produtividade estimada foi de 2900 kg.ha⁻¹, média do experimento. Outrossim, utilizou-se também técnicas geoestatísticas para observar o grau de dependência e a variabilidade espacial dos atributos de solo, granulometria e CEes, bem como dos atributos de crescimento diâmetro caulinar e altura das plantas. Todos os parâmetros se ajustaram a uma distribuição Normal, com exceção do diâmetro caulinar aos 200 dias após a semeadura, e apresentou de médio a baixo grau de dependência espacial. Nenhuma das variáveis estudadas apresentou efeito pepita puro, ajustando-se modelos teóricos aos semivariogramas experimentais. Os mapas de isolinhas que foram produzidos permitiram observar regiões mais heterogêneas, onde um manejo localizado da área pode ser desenvolvido.

Palavras-chave: Vale aluvial, variabilidade espacial, mamona

**CHARACTERISATION EDAFIC AND CLIMATIC IN CASTOR BEAN CROP
(*Ricinus comunnis* L.) AN ALLUVIAL VALLEY OF PERNAMBUCO “AGRESTE”**

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the potential of the castor bean culture in an alluvial valley of Pernambuco Agreste. The research was conducted in the Nossa Senhora do Rosário farm, Pesqueira-PE. It was cultivated the BRS 188 – Paraguaçu castor bean, which according to the literature is suitable to the local conditions. The cultivation experiment started up on 15/03/2007, finishing his first stage on 31/10/07. In this period, the experiment was conducted on a dry condition, with only one irrigation application of 12 mm. Therefore, the soil and climate conditions were evaluated wider which where the culture was developed, such as soil texture, electrical conductivity of the saturation extract (CEes), average soil fertility, reference evapotranspiration (ET_0). Based on the Tanque Class "A" and employing crop coefficient for castor bean suggested by culture FAO, it was estimated the crop evapotranspiration (ET_c). The parameters evaluated were the height of the plants, stem diameter, leaf area index and productivity. All these parameters were estimated using descriptive statistics. It has been observed mean values of 1.48 dS.m^{-1} for CEes, before planting, and of 0.96 dS.m^{-1} at the end of the cycle, at sandy-loam area. The ET_0 average over the cycle was 2.98 mm.day^{-1} and ET_c of 2.08 mm.day^{-1} , while the average soil water matric potential was -27.97 kPa . By the end of 1^o cycle, the plants were 3.32 m tall with a diameter of 65 mm; regarding the estimation of the leaf area, a value of 4.42 m has been obtained of highest vegetative growth, and the approximate yield was 2900 kg.ha^{-1} . On the other hand, it was also used geostatistics techniques to observe the degree of dependency for the attributes and the spatial variability of soil, texture and CEes, and the attributes crop stem diameter and height of the plants. All parameters adjusted to a normal distribution, except free with the exception of stem diameter, for 200 days after sowing, showing a medium to low degree of spatial dependence. None of the variables showed pure nugget effect, adjusting to theoretical models for the semivariograms. The contour maps produced isolinhas the observation of the most heterogeneous areas, where a local management strategy can be developed.

Key words: Alluvial valley, spatial variability, castor bean.

1. INTRODUÇÃO

A busca mundial pela sustentabilidade ambiental, com base na substituição progressiva dos combustíveis minerais derivados do petróleo, responsáveis diretos pelo efeito estufa, por combustíveis renováveis de origem vegetal, dentre eles o biodiesel do óleo da mamona, criou uma perspectiva real para a expansão do seu cultivo, em escala comercial no semi-árido brasileiro, principalmente na agricultura familiar, que já tem tradição no cultivo desta oleaginosa (BELTRÃO et al., 2005).

Há grandes possibilidades desta cultura vir a se tornar a principal fonte de matéria-prima para suprir esta demanda, especialmente no Nordeste. Entretanto, a produtividade da mamoneira no Nordeste brasileiro ainda é baixa, o que se deve, em parte, ao baixo nível tecnológico empregado por grande parte dos agricultores, os quais acreditam que a planta não necessita de muitos cuidados técnicos. Realmente, a cultura apresenta ampla capacidade de adaptação à seca, sendo considerada xerófila, porém é sensível ao excesso de umidade por períodos prolongados, notadamente na fase inicial e na frutificação (AMORIM NETO et al., 2001; BELTRÃO et al., 2003)

A faixa ideal de precipitação pluviométrica para produção da mamona varia entre 750 e 1500 mm, com um mínimo de 600 a 750 mm durante todo o ciclo da cultura, ajustando-se o plantio de forma que a planta receba de 400 a 500 mm até o início da floração (TÁVORA, 1982).

Barreto & Amaral (2004) também destacam que, na região Nordeste do Brasil, normalmente não se encontram condições naturais de precipitação pluvial com frequência e distribuição suficientes para atender plenamente às necessidades hídricas das plantas. Nesse caso, a irrigação como prática agrícola possibilita melhores rendimentos das culturas.

Barros Júnior et al. (2006) ressaltam que, por ser uma planta com capacidade de produzir satisfatoriamente bem sob condições de baixa precipitação pluvial, a mamona se apresenta como uma alternativa de grande importância para o semi-árido brasileiro. Nesta região, a cultura, mesmo tendo a produtividade afetada, tem-se mostrado resistente ao clima adverso quando se verificam perdas totais em outras culturas, servindo, desta forma, como uma alternativa de trabalho e de renda para o agricultor da região semi-árida do Nordeste do Brasil.

Nesse cenário, a pequena agricultura ou a agricultura familiar vem-se constituindo importante fonte de renda em pequenas comunidades pobres e contribuindo para diminuir o êxodo rural. Diversas culturas de subsistência vêm sendo implantadas. No entanto, dada às

condições climáticas adversas com concentração da precipitação em um período curto do ano, a prática da irrigação se torna imperiosa para o desenvolvimento da agricultura. Com escassos recursos hídricos de superfície, e mais susceptíveis às variações climáticas, os recursos hídricos subterrâneos vêm sendo mais utilizados para a prática da pequena agricultura irrigada, ao mesmo tempo em que outros usos, como o abastecimento doméstico e a dessedentação animal são dependentes dessa fonte, quando os recursos superficiais se esgotam, de acordo com Costa et al. (2003), citados por Almeida et al. (2004).

Os vales aluviais do semi-árido apresentam elevado potencial para a pequena agricultura, embora sejam susceptíveis a processos de acúmulo de sais, tanto na zona não-saturada quanto na saturada, a depender, dentre outros fatores, da distribuição espacial de suas características hidráulicas. A irrigação nessas áreas pode incorrer em impactos ambientais quanto ao solo e à água subterrânea. Para minimizar esses impactos é necessária a adoção de taxas de aplicação e lâminas de lavagem compatíveis com a capacidade de infiltração do solo, em particular nos solos de textura fina, onde a infiltrabilidade pode ser limitada e processos de ascensão capilar tendem a ser relevantes, influenciando o processo de acúmulo de sais. Em tais áreas, a não consideração da variabilidade espacial dos atributos do solo e de suas aptidões pode afetar intensamente os planos de manejo agrícola (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2006).

As práticas de manejo utilizadas, profundidade do lençol freático, permeabilidade do solo, taxa de evapotranspiração, chuvas, salinidade da água subterrânea e outros fatores hidrogeológicos são os responsáveis pela variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas dos solos (CHAVES et al, 2005).

Outrossim, a variabilidade nos aspectos produtivos e de desenvolvimento de uma cultura dentro do campo pode ser inerente do solo, clima ou induzida pelo manejo. Entre modificações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo causadas por práticas de manejo, estão a compactação do solo pelas máquinas agrícolas e a variabilidade no estande das culturas e nos teores de nutrientes no solo devido à aplicação desuniforme de sementes, fertilizantes e corretivos (MIRANDA et al., 2005).

Objetivou-se com este trabalho realizar caracterização edafoclimática em cultivo de mamona na agricultura familiar, em solo aluvial no município de Pesqueira, Agreste de Pernambuco, bem como avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos e químicos do solo e de variáveis de crescimento da cultura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A cultura da Mamona (*Ricinus communis* L.)

2.1.1. Panorama do agronegócio da mamona no Brasil

A análise do agronegócio da mamona no Brasil demonstra um declínio na década de 90, em comparação aos principais países integrantes deste agronegócio, conforme demonstrado na Tabela 1. O declínio da cultura da mamona no Brasil pode ser constatado ao verificar-se o histórico da produção nacional de mamona em baga durante o período 1980/2004, conforme Savy Filho et al. (1999), citado por Santos et al. (2001), o declínio do cultivo da cultura ocorreu por não ter acontecido no Brasil melhoria tecnológica no uso de fertilizantes, nas sementes, no preparo do solo, no plantio e na colheita. Também contribuíram para este declínio a desorganização do mercado interno, tanto para o produtor como para o consumidor final, os baixos preços pagos ao produtor agrícola e as reduzidas ofertas de crédito e assistência técnica (MENDES, 2005).

A produção nacional de mamona foi a segunda do mundo na década de 80, quando a produção média anual correspondeu a 23% da produção mundial e a área total cultivada correspondeu aproximadamente 24%. Na década de 90, estes valores caíram para 6% e 11%, respectivamente. A importação brasileira de mamona foi a segunda do mundo na década de 80; porém, na década de 90, o Brasil não integrava mais o grupo dos maiores importadores. Quanto à exportação de mamona, o Brasil não consta entre os principais exportadores de bagas no período analisado (MENDES, 2005).

Esta queda na produção fez com que o Brasil passasse de primeiro produtor mundial e principal exportador para a terceira posição entre os países produtores desta cultura, suplantado por Índia e China (Figura 1), ocupando hoje, a posição de pequeno exportador de óleo e seus derivados (RAMOS et al., 2006).

Tabela 1. Produção, área colhida, rendimento médio, importação e exportação de mamona em baga do Brasil (1000t), no período 1977 a 2007.

ANO	Produção (toneladas)	Área colhida (ha)	Produtividade média (kg/ha)	Importação (toneladas)	Exportação (toneladas)
1977	317,083	350,336	905	6,302	0,000
1978	325,149	374,798	868	7,247	0,000
1979	280,688	440,511	637	14,459	0,000
1980	291,812	447,364	652	7,510	0,000
1981	191,148	461,824	414	15,912	0,000
1982	171,777	270,130	636	10,961	0,000
1983	222,678	412,955	539	10,698	0,000
1984	417,657	496,844	841	28,181	6,272
1985	263,237	457,078	576	68,657	3,985
1986	103,568	262,516	395	46,738	0,003
1987	147,901	278,869	530	26,271	0,003
1988	128,586	269,119	478	8,112	0,000
1989	147,971	286,703	516	38,197	0,000
1990	129,678	233,555	555	21,016	0,000
1991	102,120	175,336	582	21,787	0,000
1992	43,188	141,074	306	13,387	0,011
1993	54,039	106,319	508	5,130	0,000
1994	33,149	76,427	434	1,882	0,000
1995	41,346	119,849	345	1,275	0,003
1996	97,445	153,138	636	1,075	0,000
1997	16,683	63,233	264	0,250	0,016
1998	33,357	103,763	321	0,254	0,000
1999	112,849	208,538	541	0,446	0,000
2000	99,950	171,624	582	0,000	0,000
2001	75,961	122,248	621	3,620	0,030
2002	83,682	133,879	625	9,332	0,000
2003	138,745	172,704	803	0,000	-
2004	171,845	231,998	741	0,000	-
2005	209,800	215,100	975	-	-
2006	103,900	147,900	703	-	-
2007	93,700	155,600	602	-	-

Fonte: FAOSTAT (2005), adaptado por Mendes (2005); CONAB (2008).

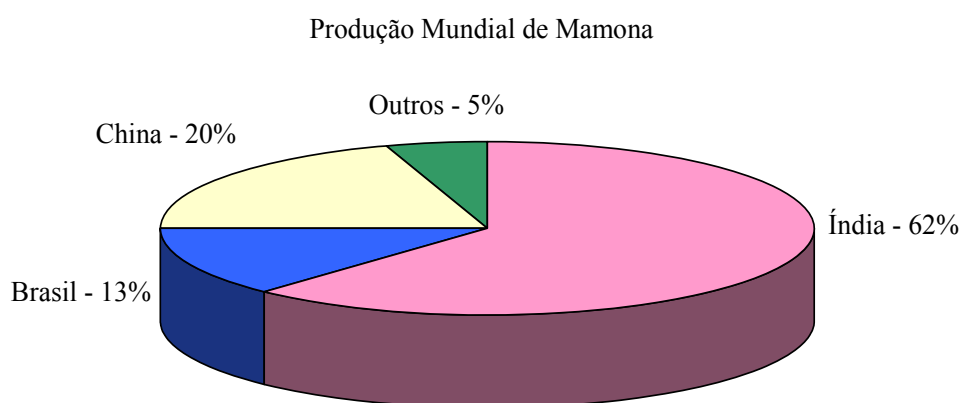


Figura 1. Maiores produtores de mamona em 2005 (Fonte: RAMOS et al., 2006).

2.1.2. Importância da cultura da mamona como matriz energética

Com o fortalecimento do Programa Nacional do Biodiesel, estima-se que mais de 50% de nossa energia deverá ser proveniente de fontes renováveis, em futuro próximo. Uma dessas procedências energéticas é representada pelas oleaginosas (PEREIRA, 2007).

O cultivo destas plantas utilizadas na obtenção de óleos que servem como matérias-primas na produção do biodiesel, tem se intensificado, e várias indústrias de extração de óleo estão em fase de adaptação ou de construção. A mamoneira é uma das mais promissoras para o semi-árido e o Agreste de Pernambuco, devido a fácil adaptação ao clima dessa região (DRUMMOND et al., 2006).

Segundo Freire (2001), a mamoneira é uma oleaginosa de alto valor industrial. O óleo extraído de suas sementes é de elevada importância, devido à versatilidade na química do produto. É matéria-prima para a fabricação de plásticos, fibras sintéticas, esmaltes, resinas e lubrificantes. Por meio da ricinoquímica, mais especificamente na química do óleo da mamona, podem ser obtidos produtos bem mais elaborados nas indústrias farmacêutica, de cosméticos e na aeronáutica. Além dessas aplicações destaca-se a mais recente possibilidade de uso em escala industrial: produção do biodiesel. Para atender a Lei Federal 11.097/2004, até o ano de 2008, O Brasil deve adicionar 2% de biodiesel ao diesel de petróleo (chamado de mistura B2). Para cumprir a exigência da Legislação, serão necessários 16.578 m³ de biodiesel para o Estado de Pernambuco.

Levando-se em consideração que cerca de 50% de biomassa (torta) dessa oleaginosa é gerada na cadeia produtiva do biodiesel, pode-se verificar a problemática com relação a grande produção desse resíduo agro-industrial que, para o Estado de Pernambuco, é de 13.201 m³/ano (DRUMMOND et al., 2006). Inúmeras pesquisas sugerem a utilização de biomassa para fins energéticos, principalmente para combustíveis. Estudos já apontam que, a utilização da biomassa para fins energéticos vem tendo uma participação crescente perante a matriz energética mundial, levando a estimativas de que, até o ano de 2050, deverá dobrar o uso mundial de biomassa disponível (FISCHER & SCHRATTENHOLZER 2001, RATHMANN et al., 2005).

A biomassa ou materiais vegetais vastamente utilizados no Estado de Pernambuco como fontes alternativas de energia, são: bagaço de cana de açúcar, casca de coco, lenha, serragem de madeira e eucalipto. O potencial energético da biomassa de oleaginosas consegue igualar ou superar, em valores de poder calorífico, essas fontes alternativas. Esse potencial requer maiores estudos para viabilizar sua utilização como complemento ou substituição de

materiais, que são utilizados em fornos e caldeiras industriais, provenientes de biomas importantes, evitando dessa forma desmatamentos, promovendo maior sustentabilidade e contribuindo com a matriz energética de Pernambuco (PEREIRA, 2007).

2.1.3. Descrição Botânica

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma das 7000 espécies da família das euforbiáceas, possivelmente originária da antiga Abissínia, atual Etiópia, no continente africano, também conhecida no Brasil como carrapateira, palma-cristi e enxerida; em espanhol: higuierilla, higuereite ou higuera; em francês: ricinu; em inglês: castor bean e, em alemão: wunder-baun. Apresenta metabolismo fotossintético C₃, ramificação caulinar do tipo simpodial, raízes fistulosas; vários tipos de expressão de sexualidade; elevadas taxas de respiração e particularidade da inflorescência. Nos tipos normais apresenta as flores masculinas na parte inferior e femininas na parte superior, com polinização do tipo anemófila. (BELTRÃO & SILVA, 1999).

Segundo Beltrão et al. (2001), a espécie *Ricinus communis* L. é polimórfica, com seis subespécies e 25 variedades botânicas e centenas de cultivares como Sipeal 28, IAC 38, Campinas, BRS 149 (Nordestina), BRS 188 (Paraguaçu) entre outras. A mamoneira apresenta grande variação no hábito de crescimento, cor da folhagem e caule, tamanho das sementes, coloração e conteúdo do óleo, sendo uma planta perene quando as condições ambientais, sobretudo temperatura e umidade, permitem (WEISS, 1973; MAZZANI, 1983). De acordo com Popova & Moshkin (1986), a mamoneira pode atingir até dez metros de altura e viver mais de dez anos. A altura da planta é controlada por fatores genéticos e ambientais (MILANI, 2006).

Atualmente a mamoneira está classificada, segundo Popova & Moshkin (1986), como:

Subdivisão	Fanerogamea ou espermatophita
Filo	Angiospermae
Classe	Dicotyledonea
Subclasse	Archichlamydeae
Ordem	Geraniales
Família	Euphorbiaceae
Gênero	<i>Ricinus</i>
Espécie	<i>Ricinus communis</i>

2.1.4. Aspectos Agronômicos

A cultura da mamona (*Ricinus communis* L.) representa uma importante opção para a agricultura familiar do semi-árido do Nordeste brasileiro, pois esta planta é bastante resistente a seca, evento que em oito de cada dez anos ocorre nesta região, e tem um bom mercado, podendo ser consorciada com outras culturas, em especial o feijão (AZEVEDO & LIMA, 2001). Esta cultura possui um óleo com diversas utilizações industriais, desde próteses ósseas até lubrificantes de motores. A atual legislação que institui a adição de biodiesel ao diesel criou grande expectativa na produção de mamona, visto ser um dos óleos indicados para a produção deste, gerando uma demanda por cultivares com adaptação em regiões onde o cultivo da mamona não é tradicional.

2.1.5. Clima, Solos e Necessidades Hídricas

A mamona é uma planta de clima tropical e por isso prefere locais de temperatura do ar variando entre 20 e 30° C, precipitações pluviais mínimas de 500 mm, elevada insolação, e baixa umidade relativa do ar, durante a maior parte do seu ciclo. Prefere solos de textura média, não muito argilosos, planos ou de relevo suave ondulado, sem perigo de encharcamento ou inundação. Não suporta solos muito salinos preferindo solos com condutividade elétrica abaixo de 3,0 dS.m⁻¹ e com baixa sodicidade. A altitude do local deve ser de no mínimo 300 metros, podendo chegar a 1.100metros (BELTRÃO et al., 2003).

2.1.6. Cultivares recomendadas para a região Nordeste

No semi-árido nordestino recomendam-se cultivares de porte médio em torno de 1,7 a 2,0m de altura em condições de cultivo de sequeiro, de frutos semi-indeiscentes e de sementes grandes, com teor de óleo mínimo de 47%, como as BRS 149 Nordestina e BRS 188 Paraguaçu. (BELTRÃO et al., 2003)

2.1.7. Configuração e densidade de plantio

De modo geral, para cultivares com as características anteriormente descritas, utiliza-se uma população de 3.333 plantas/ha, espaçamento de 3,0m x 1,0m, com uma planta por cova. Caso a semente tenha elevado valor cultural (germinação x pureza), deve-se colocar somente

uma semente por cova, com 2,0 a 3,0cm de profundidade. Em solos de alta fertilidade pode-se utilizar espaçamento de 4,0m x 1,0m; em solo pouco fértil e arenoso, deve-se usar o espaçamento de 2,0m x 1,0m com uma planta por cova, mudando o esquema de consórcio no caso de optar por este tipo de sistema (BELTRÃO et al., 2003).

O cultivo solteiro ou isolado é menos rentável que o consorciado com feijão (*Vigna unguiculata* L. ou *Phaseolus vulgaris* L.) ou gergelim (*Sesamum indicum* L.) ou ainda amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Deve-se evitar o consórcio de gramíneas, em especial milho e sorgo, por serem muito competitivos e reduzir a produtividade da mamoneira. No caso do feijão deve-se usar três a quatro fileiras espaçadas entre si de 0,5m, com 10 plantas por metro de fileira, começando pelo centro do espaçamento da mamona, 3,0m x 1,0m, deixando-se 0,75m de cada lado livre, e plantar a mamona 15 dias antes para reduzir a competição nesta cultura. No caso do amendoim e do gergelim, ainda não há dados conclusivos, porém pode-se plantar duas fileiras no centro, espaçadas entre si de 0,6m e plantadas 20 dias depois da mamona. Esta técnica possibilita, além da melhora do índice de utilização da terra, o aumento do rendimento por área (De MARIE, 2001).

2.2. A água no solo e o desenvolvimento das plantas

No semi-árido nordestino, pela sua própria definição, a água é o fator mais limitante para obtenção de elevadas produtividades agrícolas, de forma regular, ao longo dos anos. Entretanto, outra característica regional é a extrema variabilidade das condições climáticas fazendo com que, em alguns anos, o suprimento de água às plantas seja suficiente para estas atingirem altas produtividades, enquanto em outros anos pode levar à perda total das colheitas (ANTONINO et al., 2000).

Segundo Tormena et al. (1999), o solo constitui um reservatório ao qual se repõe, periodicamente, a água retirada pela cultura, respeitando-se um valor limite inferior para a disponibilidade de água.

À medida que a umidade do solo vai diminuindo, torna-se mais difícil a absorção de água pelas raízes das plantas, isso porque vai aumentando a força de retenção, enquanto diminui a disponibilidade hídrica no solo. Assim, nem toda água armazenada no solo está disponível às plantas (LIBARDI, 2000).

2.2.1. Armazenamento de água no solo

No solo, a água ocupa os espaços porosos formados pelo arranjo físico das partículas da fase sólida e, freqüentemente, concorrendo com a fase gasosa do solo. Da água que chega ao solo, uma parte é armazenada, exibindo variação no tempo e no espaço, sobretudo na superfície do solo, devido à evaporação e atividade das raízes das plantas (GONZÁLES & ALVES, 2005).

O armazenamento de água a ser considerado nos estudos de balanço hídrico é função da profundidade de exploração das raízes no solo. Em função do tipo de solo, profundidade das raízes e tipo de cultura podem ser definidos limites máximo e mínimo do armazenamento de água no solo, dentro dos quais a cultura tem seu desenvolvimento favorecido (ALFONSI et al., 1998).

2.2.2. Potencial da água no solo

Bergamaschi et al. (1992) ressaltam que ao longo de várias décadas, o estado hídrico do solo foi expresso e medido na base de quantidade de umidade (gravimétrica ou volumétrica). Entretanto, como as características de retenção de água do solo variam muito, principalmente em função da textura, do conteúdo de matéria orgânica e do estado de agregação, houve a necessidade de expressar a umidade do solo em termos de potencial de água no solo (ψ), que tem um significado físico mais consistente e que está relacionado ao estado energético da água no solo na planta e na atmosfera (SANTIAGO, 2002).

De acordo com Reichardt & Timm (2004) o potencial da água no solo define (ψ), o estado de energia do sistema no ponto considerado. Composto por uma série de componentes sendo: a componente de pressão (ψ_p), que aparece toda vez que a pressão que atua sobre a água do solo é diferente e maior que a pressão que atua sobre a água padrão; componente gravitacional (ψ_g), que aparece em decorrência da presença do campo gravitacional terrestre; componente osmótica (ψ_{os}), que aparece pelo fato de a água no solo ser uma solução de sais minerais e outros solutos e a água padrão ser pura; e por fim, a componente matricial (ψ_m) que envolve a interação entre a matriz sólida do solo e a água, como forças de adsorção e capilaridade. Esses fenômenos geram pressões negativas, denominadas tensões ou sucções. Diante do exposto, o potencial total da água no solo pode ser assim descrito:

$$\psi = \psi_p + \psi_g + \psi_{os} + \psi_m \quad (1)$$

2.2.3. Água disponível à planta

A quantificação da água disponível às plantas (AD), situada entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), é necessária para o manejo da água do solo na agricultura irrigada, com reflexos na lâmina de água de irrigação; contudo, esses limites têm sido objeto de crítica e estudos (SOUZA & REICHARDT, 1996).

Para Veihmeyer & Hendrickson (1949), a CC refere-se à quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha drenado e a taxa de movimento descendente haja decrescido acentuadamente. Em solos permeáveis de estrutura e textura uniformes, isto geralmente ocorre dois a três dias depois de uma chuva ou irrigação. Quando o solo se encontra na CC, os macroporos estão livres de água e os microporos cheios. A classificação do diâmetro dos poros, proposta por Richards (1965), define micro e macroporos àqueles com diâmetro menor e maior que 0,05 mm, respectivamente. Considerando-se que os macroporos são esvaziados no potencial matricial de -0,006 MPa, este pode ser utilizado para estimar a capacidade de campo (KLEIN et al., 2006).

Klein et al. (2006), relatam que o PMP é o teor de água do solo no qual as plantas experimentam perdas de turgescência das folhas e desta murcha não se recuperam quando colocadas em um ambiente escuro e saturado. O PMP representa, portanto, o teor de água mínimo disponível no solo para o desenvolvimento das plantas. Com base neste conceito, Hillel (1980) comenta que o PMP é uma grandeza física de um solo, estimada pelo teor de água retida no potencial matricial de aproximadamente -1,5 MPa .

Tormena et al. (1999) ressaltam que o conceito de água disponível (AD) entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), ($AD = CC - PMP$) é amplamente utilizado. Em uma abordagem quantitativa procura-se estabelecer, para fins de projeto e manejo de irrigação, um percentual da disponibilidade total de água no solo que poderia ser usado pela cultura, sem quedas no rendimento. O valor p é função da cultura e do nível de evapotranspiração local. Este conceito é útil para a definição do momento de se irrigar, no método do balanço de água, sendo necessário monitorar a umidade do solo.

2.2.4. Umidade e Tensão da Água do Solo: Curva-característica do solo

O solo possui poros de dimensões e formas as mais diversas e irregulares. Fenômenos semelhantes à ascensão de água em um capilar ocorrem no solo e conferem um estado de

energia negativa à água nele contida. Esta energia ou tensão é a componente matricial do potencial total da água do solo (BLACKBURN, 2002).

A obtenção da relação entre umidade do solo (θ) e o potencial matricial do solo (Ψ_m), a chamada “curva característica de retenção da água no solo” (CHILDS, 1940), ou simplesmente curva de retenção, é parte fundamental da caracterização das propriedades hidráulicas do solo (KLUTE, 1986). O estudo da relação entre o conteúdo de água no solo e seu potencial, bem como suas implicações no movimento e na disponibilidade de água às plantas, remonta ao início do século XX (BUCKINGHAM, 1907; GARDNER, 1920; RICHARDS, 1928, citados por CICHOTA & van LIER, 2004.)

Paralelamente, diferentes culturas apresentam diferentes intervalos de tensões admissíveis para que ocorra um aproveitamento satisfatório da água disponível. Portanto, dados que relacionam direta ou indiretamente a componente matricial à umidade são de suma importância no aproveitamento racional da água, bem como no aumento da produção agrícola (BLACKBURN, 2002).

Para a determinação da curva de retenção da água no solo, pode-se empregar vários métodos como o funil de placa porosa, mesa de tensão ou câmaras de pressão (panela de Richards), em amostras de solo indeformado ou deformado (EMBRAPA, 1997). Em campo, uma combinação de métodos é utilizada, na maioria das vezes o potencial da água (ψ) é determinado por um tensiômetro conectado a um manômetro de mercúrio ou a um transdutor de pressão, enquanto que técnicas como a moderação de neutrons, reflectometria no domínio do tempo (TDR) e gravimetria são utilizadas para a determinação da umidade volumétrica (θ_v) (VAZ et al, 2003).

Devido às dificuldades experimentais e ao longo tempo envolvido nessas determinações, tem-se observado um crescente interesse por métodos indiretos de estimativa da capacidade de retenção da água nos solos (ARYA et al. 1999; PACHEPSKY & RAWLS, 1999), os quais utilizam dados taxonômicos simples. Dentre eles, os mais importantes são os métodos da Função de Pedotransferência (PTF), que descreve equações que expressam dependências entre a retenção da água e condutividade hidráulica com parâmetros básicos disponíveis em levantamentos de solos. O modelo de Arya e Paris (1981) usa a similaridade entre as curvas de distribuição do tamanho de partículas e as curvas de retenção de água no solo.

Tomazella et al. (2000) desenvolveram um modelo de PTF para as condições de solos brasileiros, utilizando dados de mais de 500 horizontes. O desenvolvimento das equações de PTF adaptadas para as condições de solos tropicais, possibilitou a determinação dos parâmetros da curva de retenção de van Genuchten (1980) com uma precisão muito maior do

que com o uso de equações de PTF desenvolvidas para outros solos. Já o modelo de Arya e Paris (1981), ainda carece de validação para as condições de solos brasileiros. Essa ausência de trabalhos deve-se, provavelmente, à dificuldade da obtenção das curvas completas de distribuição do tamanho das partículas dos solos, que é uma análise muito mais difícil e trabalhosa que a simples textura, utilizada nas equações de PTF.

O modelo de van Genuchten (1980), citado acima, é largamente utilizado na literatura, podendo ser expresso como:

$$\theta_v = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[\frac{1}{1 + (\alpha \cdot \psi_m)^n} \right]^m \quad (2)$$

$$m = 1 - \left(\frac{1}{n} \right) \quad (3)$$

Em que:

θ_v – umidade volumétrica, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

θ_s – umidade de saturação, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

θ_r – umidade residual, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

α – parâmetro de ajuste, cm^{-1}

ψ_m – componente matricial do potencial da água no solo, cm

m e n – parâmetros de ajuste da equação, adimensionais.

2.3. Evapotranspiração

O termo evapotranspiração é usado para representar a passagem da água do estado líquido para o gasoso e inclui dois processos distintos. A água de um solo úmido ou de um reservatório, barragem ou lago pode evaporar, sendo o processo regido por leis puramente físicas, e a esse processo se reserva o termo “evaporação”. Já na evaporação de água através de uma planta, fenômenos biológicos limitam as leis físicas, e a esse processo se reserva o termo “transpiração”. (REICHARDT & TIMM, 2004). Quando ambos os processos ocorrem simultaneamente, como numa superfície vegetada, utiliza-se o termo evapotranspiração. Esta definição foi utilizada por Thornthwaite, no início da década de 40, para expressar tal fenômeno (PEREIRA et al., 1997).

Pode-se afirmar que o clima é um dos fatores mais importantes na determinação da lâmina de água evapotranspirada pelas culturas. Excluindo-se os fatores climáticos, a

evapotranspiração também é influenciada pela própria cultura e proporcional as suas características de crescimento. O meio ambiente local, condições de solo e sua umidade, fertilizantes, infestações de pragas e doenças, práticas agrícolas e de irrigação e outros fatores também podem influir na taxa de crescimento e na evapotranspiração (DOORENBOS & PRUITT, 1977).

As pesquisas realizadas para estimar a evapotranspiração fornecem informações da quantidade de água consumida pelas plantas, gerando dados para o manejo da água e para o dimensionamento dos sistemas, tendo a FAO, nas duas últimas décadas, recomendado a realização de pesquisas locais para determinar a demanda hídrica das culturas, principalmente para estimar e medir a evapotranspiração (CURI & CAMPELO JÚNIOR, 2001).

Faria et al. (2006) ressaltam que a quantificação do fluxo de vapor d'água para a atmosfera proveniente de superfícies úmidas, como em áreas cultivadas ou em pousio, é de grande interesse para determinação das necessidades hídricas de cultivos e disponibilidade hídrica do solo.

A evapotranspiração é um dos componentes do ciclo hidrológico que mais apresenta incerteza na sua determinação, baseada muitas vezes em modelos teóricos que, por sua vez, necessitam de informações hidrometeorológicas do local (OLIVEIRA et al, 2006).

Wendland et al. (2004) destacam que os modelos teóricos mais utilizados foram desenvolvidos para o Hemisfério Norte, pressupondo condições de disponibilidade hídrica constante. Para regiões caracterizadas por períodos secos e chuvosos distintos e claramente definidos, esses métodos podem conduzir a erros grosseiros.

2.3.1. Evapotranspiração Potencial de Referência (ET_o)

Com intuito de padronizar a evapotranspiração de comunidades vegetais, foram fixadas as condições nas quais sua medida deve ser feita. Definiu-se, então, a Evapotranspiração potencial de referência (ET_o) como a quantidade de água evapotranspirada na unidade de tempo e de área por uma cultura de baixo porte, verde, cobrindo totalmente o solo, de altura uniforme e sem deficiência de água. Em nossas condições, utiliza-se uma parcela de grama Batatais (*Paspalum notatum* L.) que, nas regiões tropicais e subtropicais permanece praticamente verde e em pleno desenvolvimento durante todo o ano, desde que seja irrigada (REICHARDT & TIMM, 2004).

Smith (1991) define ET_o como sendo a evapotranspiração de uma cultura hipotética, com altura fixa de 0,12m, albedo igual a 0,23, e resistência da cobertura ao transporte de

vapor d'água a 36 s m^{-1} , que representaria a evapotranspiração de um gramado verde, de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo e sem falta de água (PEREIRA et al., 1997).

2.3.2. Evapotranspiração Real (ER)

Pereira et al., (1997) relatam que a evapotranspiração real (ER) é aquela que ocorre numa superfície vegetada, independente de sua área, de seu porte e das condições de umidade do solo. Portanto, ER é aquela que ocorre em qualquer circunstância, sem imposição de qualquer condição de contorno. Logo, ER pode assumir tanto o valor potencial como outro qualquer. A ER pode ser limitada tanto pela disponibilidade de radiação solar como pelo suprimento de umidade do solo.

2.3.3. Evapotranspiração da Cultura (ETc) e Coeficiente de Cultura (Kc)

Bezerra (2004) cita que a evapotranspiração da mamoneira ainda não foi devidamente estimada no Brasil. Alguns pesquisadores ressaltam que há necessidade de uma precipitação mínima de 700 a 850 mm distribuídos durante o ciclo para que se obtenha boa produtividade (AZEVEDO & LIMA, 2001; SAVY FILHO, 1999). Essa variabilidade se dá em função das condições da planta e do local de cultivo.

Desde o plantio até a colheita, uma cultura vai progressivamente crescendo e ocupando a área disponível. Nessas condições, ocorre evapotranspiração real, que na prática é denominada de evapotranspiração da cultura (ETc) (PEREIRA et al., 1997).

Devido as diferenças da interface cultura-atmosfera entre a grama batatais e outras culturas, também em diferentes estádios de desenvolvimento, estabeleceu-se um coeficiente de cultura (Kc) mediante a relação entre ETc e ET_o.

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad (4)$$

O coeficiente de cultura (Kc) representa a integração dos efeitos de três características que distinguem a ETc da evapotranspiração de referência (ET_o): a altura da cultura, a resistência de superfície e o albedo da superfície cultura-solo, que representa a razão entre as radiações de ondas curtas refletidas e incidentes, parâmetro fundamental na determinação do balanço de radiação à superfície (LEITÃO & OLIVEIRA, 2000).

Durante o período vegetativo, o valor de Kc varia com o desenvolvimento da cultura e com a fração de cobertura da superfície do solo, pela vegetação (REICHARDT & TIMM, 2004).

Doorenbos & Pruitt (1977) apresentaram coeficientes de cultura para várias espécies de interesse agrônomo, inclusive a mamoneira, quantificando e caracterizaram os seus respectivos estádios de desenvolvimento (Tabela 2). Entretanto, os valores correspondentes as fases I e II são oriundos de interpolação, em função da ETo durante as fases iniciais e da frequência de irrigação ou das chuvas periódicas.

Estes autores ainda recomendam que sejam realizados estudos regionais visando ajustar-se Kc's para as condições edafoclimáticas locais e as características varietais.

Tabela 2 Coeficiente de cultivo (Kc) correspondente à cultura da mamona, em diferentes fases de desenvolvimento.

Estádios de Desenvolvimento	Caracterização dos Estádios	Duração Aproximada (dias)	Kc's
Estádio I – Fase inicial	Germinação e crescimento inicial, quando a superfície do solo está coberta muito pouca ou quase nada pela cultura.	25	0,35
Estádio II – Fase de crescimento	Desde o final da fase inicial até se chegar a uma cobertura com sombreamento efetivo completo.	40	0,75
Estádio III – Fase do período intermediário	Desde o final da fase anterior até o momento de início da maturação, manifestada pela descoloração das folhas ou sua queda	65	1,05
Estádio IV – Fase do período final	Do estágio anterior até a plena maturação ou colheita	50	0,50

Fonte: Doorenbos & Pruitt (1977).

2.3.4. Evapotranspiração Máxima (ETm)

Bezerra (2004), afirma que a evapotranspiração máxima da cultura corresponde a sua maior demanda de água e esta é variável em função do estágio da planta e das condições climáticas atmosféricas do momento.

Como na cultura em pleno desenvolvimento o valor de Kc é máximo, podendo mesmo assumir valores maiores que 1, tais valores indicam que a cultura em questão perde mais água que a grama Batatais, ambas submetidas às mesmas condições climáticas. A ETm representa, então, a máxima perda de água que certa cultura sofre, em dado estágio de desenvolvimento, quando não há restrições de água no solo (REICHARDT & TIMM, 2004).

2.3.5. Estimativa da Evapotranspiração

Burman et al. (1983) revisaram vários métodos de determinação da evapotranspiração, adotados em diversas partes do mundo. Estes autores classificaram os métodos em dois grandes grupos: o primeiro grupo inclui os métodos onde a evapotranspiração potencial pode ser determinada a partir de medidas diretas como os lisímetros, balanço hídrico e controle de umidade no solo. No segundo grupo estão os métodos que utilizam dados climáticos, também chamados de métodos indiretos, nos quais a evaporação ou a evapotranspiração de referência são avaliadas por fórmulas empíricas e posteriormente, são correlacionadas com a evapotranspiração da cultura por meio de coeficientes de proporcionalidade, tais como coeficiente do Tanque Classe “A” (K_p) e coeficiente de cultura (K_c) (MACHADO & MATOS, 2000).

A Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) consideram o método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) como padrão de estimativa da evapotranspiração de referência, a partir de dados meteorológicos, sendo utilizado também para avaliar outros métodos (SMITH, 1991).

Medeiros et al. (2003) relatam que têm-se verificado em diversos trabalhos que o desempenho do método de Penman-Monteith é satisfatório, quando comparado com medidas em lisímetros: Allen et al. (1986), Allen et al. (1989), Jensen et al. (1990), Allen et al. (1994), Ribeiro (1996), Maggioletto (1996), Camargo & Sentelhas (1997), Sentelhas (1998), Pereira (1998) e Hussein (1999). Muitas vezes, no entanto, seu emprego é restringido pela limitada disponibilidade de dados meteorológicos, o que acaba exigindo o uso de métodos mais simples, como por exemplo, o Tanque Classe “A”.

2.4. Balanço Hídrico

Segundo Reichardt e Timm (2004), o balanço hídrico do solo representa o somatório das quantidades de água que entram e saem de um elemento de um volume de solo, e num dado intervalo de tempo; o resultado é a quantidade líquida de água que nele permanece. Do ponto de vista agrônomo, o balanço hídrico é fundamental, pois define as condições hídricas sob as quais a cultura se desenvolveu.

No semi-árido nordestino, pela sua própria definição, a água é o fator mais limitante à obtenção de elevadas produtividades agrícolas, de forma regular, ao longo dos anos;

entretanto, outra característica regional é a extrema variabilidade das condições climáticas (Reddy, 1983) fazendo com que, em alguns anos, o suprimento de água às plantas seja suficiente para atingirem altas produtividades, enquanto em outros anos possa levar à perda total das colheitas (ANTONINO et al., 2000).

Estes mesmos autores destacam também que as culturas de subsistência são normalmente estabelecidas em baixios (várzeas), com semeadura após as primeiras chuvas; muitas vezes, esta semeadura é perdida quando as plântulas morrem, por falta de água, devido à distribuição irregular da chuva e à ausência de água armazenada no perfil do solo. Apesar da importância da disponibilidade hídrica na região semi-árida, são poucas as pesquisas sobre balanço hídrico do solo e a maior parte foi realizada em solo irrigado.

Para se efetuar o balanço hídrico de uma cultura, é necessário computar as entradas de água no solo via precipitação pluvial (P) ou irrigação (I), a partir da sua infiltração na superfície, juntamente com ascensão capilar (AC); e as saídas, representadas pela drenagem interna (DI), evapotranspiração (ET) e deflúvio superficial (DS) num volume de solo, com base na configuração do sistema radicular da cultura em estudo, em determinado período de tempo; se a quantidade de água que entra no tempo considerado for maior que a quantidade que sai durante o mesmo período, o saldo será positivo. Tanto o saldo positivo como o negativo podem ser medidos pela variação de armazenagem (ΔA) de água no perfil do solo no período considerado (LIBARDI, 1995), expressa como:

$$\Delta A = P + I + AC - DI - ET - DS \quad (5)$$

Em que:

ΔA – Variação de armazenagem, mm;

P – Precipitação, mm;

I – Irrigação, mm;

AC – Ascensão capilar, mm;

DI – Drenagem interna, mm;

ET – Evapotranspiração, mm;

DS – Deflúvio superficial, mm.

Cintra et al. (2000) destacam a importância do balanço hídrico como ferramenta para definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico para a cultura, estando relacionado não só ao conhecimento dos fatores que o compõem (evapotranspiração, precipitação, drenagem interna ou ascensão capilar) como, também, ao conhecimento das características da

planta, principalmente da sua fenologia, que representa o ponto de partida para a interpretação coerente dos resultados do balanço.

Na prática, efetuar diretamente a contabilidade hídrica de uma parcela de solo com vegetação não é uma atividade simples e, dependendo das condições do local, nem sempre possível. As medidas feitas com o objetivo de estabelecer o balanço hídrico de uma determinada área vegetada, em um intervalo de tempo, normalmente exigem o emprego de equipamentos sofisticados e de mão-de-obra especializada, o que torna tais medidas normalmente inacessíveis ao pequeno agricultor. Estudos dessa natureza, que levam em conta todos os fluxos envolvidos, ficam restritos a pequenas áreas e se destinam à verificação da validade de modelos matemáticos, desenvolvidos com a finalidade de simular o balanço hídrico (MEDEIROS, 2007).

O balanço hídrico climatológico (BHC), descrito por Thornthwaite & Mather (1955), é uma das diversas maneiras de se monitorar o armazenamento de água no solo. Partindo-se do suprimento natural de água ao solo, representado pelas chuvas, e da demanda atmosférica, através da evapotranspiração potencial, e com uma capacidade de água disponível apropriada ao tipo de planta cultivada, o BHC fornece estimativas da evapotranspiração real, da deficiência, do excedente, e o armazenamento de água no solo, tanto na escala diária como mensal (PEREIRA et al, 1997).

Dantas et al. (2004) também ressaltam que este método pode ser utilizado para estimar a evapotranspiração potencial, baseado em índices de calor. É um método simples e adequado para estimar a disponibilidade de água no solo e tem sido recomendado devido à simplicidade das medidas necessárias e precisão dos resultados. Estes mesmos autores também destacam que, na metodologia do balanço hídrico, são empregados apenas dados de temperatura do ar e de precipitação. Também é um critério apropriado para definir as características climáticas do local e podendo-se utilizar valores médios mensais.

2.5. Zoneamento e Aptidão Agroclimática da cultura da Mamona

O programa de zoneamento Agroclimático do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), teve início no Brasil em 1996, e desde então tem-se constituído num instrumento de apoio à política agrícola do governo federal na área de crédito e seguridade rural. Tornou-se ainda, um instrumento de indução ao uso de tecnologias e de suporte para a tomada decisão no Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (PROAGRO), além de

servir de referencial para as empresas privadas que atuam na área securitária no Brasil (CUNHA & ASSAD, 2001).

O zoneamento procura trabalhar focalizando o risco climático associado à distribuição de chuvas, levando em conta o clima e o solo para definir a melhor época de plantio (Santana et al., 2006).

Medeiros (2007) relata que o zoneamento agrícola de risco climático, com delimitação de regiões aptas ao desenvolvimento das culturas, constitui-se em importante ferramenta para a tomada de decisão em agronegócios. A definição de épocas de semeadura com base em estudos probabilísticos de distribuição temporal das chuvas, associada à recomendação de cultivares mais produtivas, mais resistentes às secas e de ciclos mais curtos, podem diminuir os efeitos causados pela má distribuição das chuvas, como ocorre no Nordeste brasileiro.

A expansão registrada no cultivo da mamona no Nordeste brasileiro, nos últimos anos, está diretamente relacionada à alta capacidade de adaptação desta cultura às condições predominantes da região semi-árida, onde as condições edafoclimáticas restringem o desenvolvimento de culturas mais exigentes. No Brasil, seu cultivo comercial ocorre, praticamente, em todos os estados nordestinos, a exceção de Sergipe e Maranhão, que embora possuam áreas com aptidão ao cultivo, não registram plantios comerciais (AMORIM NETO et al., 2001).

Dentre as características climáticas do Estado da Pernambuco pode-se observar regime de chuva influenciado pela presença da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), umidade das massas de ar oriundas do Oceano Atlântico e Equatoriais Continentais. A determinação dos possíveis riscos climáticos que a cultura da mamona poderá sofrer no período de plantio até a sua colheita é fundamental para a elaboração e desenvolvimento de políticas agrícolas, investimento rural e seguro agrícola (AMARAL et al., 2004).

De acordo com a classificação de Köppen, no Nordeste predominam os seguintes tipos climáticos: (As') Quente e úmido, com chuvas de outono-inverno e ocorre desde o litoral até o Planalto da Borborema. A época chuvosa tem início em março, e duração até julho e agosto, com período de estiagem de setembro a fevereiro. A temperatura do ar apresenta valores médios anuais compreendidos entre 22° a 26°C; (Bsh) Semi-árido quente, compreende a microrregião do Brejo Paraibano e o Planalto da Borborema. Apresenta grande irregularidade no regime pluviométrico, e temperatura média superior a 26° C; (Aw') Quente e seco, com chuvas desde o município de Patos, na Paraíba, até o Ceará. As maiores precipitações pluviométricas ocorrem nos meses de fevereiro e março, com médias anuais superiores a 600 mm. A estação seca corresponde ao período de maio até dezembro (AMARAL et al., 2004).

Para determinação dos municípios favoráveis ao cultivo da mamona, também se utilizam alguns parâmetros edafoclimáticos da cultura, e assim definiu-se algumas classes como predominantes para o desenvolvimento da produção como: “Condições Plenamente Favoráveis”, com temperatura média do ar entre 20° a 30°C, precipitação em torno de 500mm no período de maior necessidade hídrica da cultura, variação de altitude de 300 a 1500 metros umidade relativa abaixo de 80%, sendo a ideal em torno de 65%. Já a “Desfavorabilidade Plena” ocorre em localidades com temperatura média do ar inferior a 20°C ou superior a 30°C, precipitação menor que 500mm no período de maior incidência, altitude menor que 300m ou superior a 1500m (AMARAL et al., 2004).

2.6. Variabilidade Espacial dos Atributos do Sistema Solo-Planta

Observações realizadas em estudos agronômicos do sistema solo-planta-atmosfera precisam incluir considerações sobre a variabilidade espacial e temporal de atributos de solos e de plantas em condições de campo, além dos parâmetros atmosféricos. O solo e as distribuições das diferentes partes da plantas, dentro e fora do solo, são fundamentalmente heterogêneos. As variações no solo são decorrentes das taxas variáveis nas quais atuaram os processos de sua formação e das diversas atuações do homem durante seu cultivo. A distribuição radicular e da parte aérea das plantas dependem das propriedades do solo, das operações de plantio, de pragas e doenças. Assim, medidas de parâmetros do solo e da planta apresentam muitas irregularidades que podem ou não ser atribuídas ao acaso em relação à sua distribuição espacial no campo (REICHARDT & TIMM, 2004).

No Brasil, são poucos os estudos que consideram a variabilidade espacial de atributos físicos em uma unidade de mapeamento de solo. O conhecimento da distribuição das propriedades do solo no campo é importante para o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (SOUZA et al., 2004), servindo de base para agricultura de precisão.

Souza et al (2004) também destacam que o estudo dos atributos físicos e químicos do solo em um importante instrumento no processo de análise de produtividade e da conseqüente escolha sobre técnicas de manejo, a serem adotadas em uma determinada área, localmente.

O conhecimento de características físico-hídricas do solo como a capacidade de retenção de água, densidade do solo e granulometria, dentre outras, é relevante na escolha do sistema de irrigação a ser utilizado, no cálculo da quantidade de água a ser aplicada na irrigação, bem como sua frequência de aplicação, tornando-se óbvio que o conhecimento da variabilidade

destas propriedades dentro da área a ser irrigada é de extrema importância. Além disso, a variabilidade espacial de características físicas do solo como porosidade total e densidade podem auxiliar no monitoramento da compactação do solo em áreas de uso intensivo de máquinas agrícolas (LIMA et al 2006).

Eguchi et al. (2003) salientam que a estatística clássica e a geoestatística são duas ferramentas poderosas e que se interagem na análise dos dados físico-hídricos do solo, avaliando a magnitude de variação espacial e a estrutura de variabilidade espacial, podendo auxiliar na compreensão e definição de estratégias de manejo do solo para fins de irrigação, drenagem e conservação do solo.

No que diz respeito à produção agrícola, as culturas de um modo geral recebem um manejo convencional, no qual as práticas culturais são aplicadas uniformemente porque se assume a homogeneidade dos fatores de produção em todo o campo. Porém, segundo Cassel et al. (1988) e Marques Júnior e Corá (1998), o desconhecimento pontual dos fatores de produção pode tornar as metas de produtividade impróprias, e levar ao uso excessivo de insumos, conduzindo a uma produção ineficiente com altos custos e danos ambientais (MIRANDA et al, 2005).

A variabilidade de um campo agrícola influencia fatores de produção ligados à disponibilidade de nutrientes, suprimento de água e, conseqüentemente, ao ambiente onde estão localizadas as raízes (MANTOVANI et al., 1998). Se for constatada alta variabilidade espacial dos fatores produtivos e da produtividade das culturas, a localização das regiões de alto e baixo potencial produtivo pode trazer benefícios, permitindo adoção de estratégias como a aplicação localizada de insumos e tratos culturais (MORTON et al., 1998; NIELSEN et al., 1997; PLANT et al., 1999).

Miranda et al. (2005) também relatam que a variabilidade na produtividade de uma cultura dentro do campo pode ser inerente do solo, clima ou induzida pelo manejo. Entre modificações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo causadas por práticas de manejo, estão a compactação do solo pelas máquinas agrícolas e a variabilidade no estande das culturas e nos teores de nutrientes no solo devido à aplicação desuniforme de sementes, fertilizantes e corretivos.

A utilização de ferramentas geoestatísticas, além de identificar a existência ou não de dependência espacial entre as observações, pode ser aplicada em mapeamento, orientação de futuras amostragens e modelagem. Se os valores próximos não são independentes entre si, pode-se usar ferramentas de interpolação e estimação de valores em locais não medidos, a

exemplo do processo de krigagem; desta forma, uma representação mais realista da área estudada pode ser obtida (QUEIROZ et al 1999).

Os mapas de produtividade, segundo Broos et al. (1998) e Staford et al. (1998), permitem visualizar a variabilidade dos fatores de produção e da produtividade das culturas. A análise destes mapas e a correlação entre propriedades do solo e da cultura possibilitam decisões de manejo sobre irrigação e drenagem, plantio, variedades adaptadas, aplicação localizada de sementes, fertilizantes e corretivos, herbicidas e defensivos agrícolas, e intensidade do preparo do solo.

Os mapas de isovalores são gerados por interpolação a partir de medições em um conjunto de vários pontos ou células, com área e posição geográfica conhecida (MANTOVANI et al., 1998; MIRANDA et al., 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, a 230 km de Recife-PE, nas proximidades da rodovia BR-232, com coordenadas geográficas de 08°10'25" S e 35°11' W, de latitude e longitude, respectivamente, e 650 m de altitude, de acordo com (Figura 2).

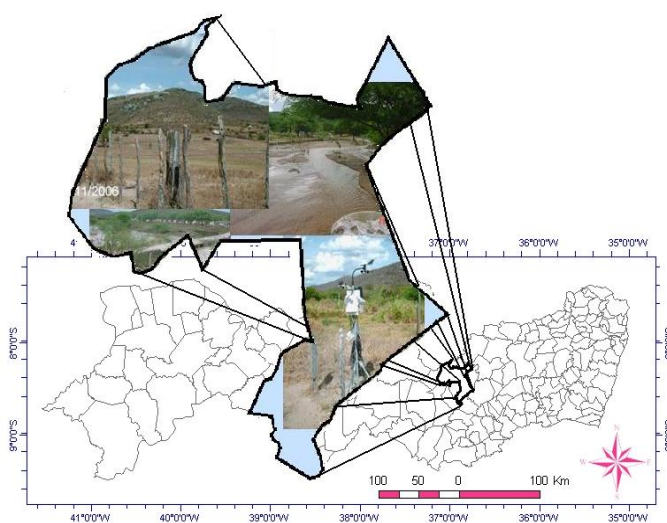


Figura 2. Localização da área de estudo no município de Pesqueira – PE (Fonte: Silva et al., 2007).

De acordo com Ribeiro et al. (1999), o local possui uma superfície geomórfica aplainada, que constitui o terraço fluvial do Rio Ipanema, formado por sedimentos aluviais de textura variada. A planície aluvial é limitada por encostas suaves onduladas ou onduladas, do piemonte de maciços montanhosos que circundam o vale e, em alguns pontos o limitam abruptamente. Estas encostas são caracterizadas por solos pouco profundos, desenvolvidos do embasamento geológico referido ao Pré-cambriano indiviso representado, principalmente, por gnaisses e granitos (RIBEIRO et al. 1999).

O clima do local é classificado, segundo Köeppen, como BShw' semi-árido quente, caatinga hiperxerófila, com temperatura média anual em torno de 27°C, a umidade relativa média anual do ar é de 73%, e a velocidade média do vento é de 2,5 m/s (CISAGRO, 1990).

Dados obtidos de uma estação climatológica instalada no local registram uma precipitação média anual de 730 mm e uma evapotranspiração potencial de referência, estimada por Tanque Classe “A”, de 1638 mm anual (MONTENEGRO, 2001).

3.2. A unidade experimental

Foi instalado plantio no vale aluvial, no dia 15 de março de 2007, em linhas de cultivo com mamona cultivar BRS-188 Paraguaçu, numa área de 1444 m² com espaçamento de 3m x 1m, perfazendo um stand de 480 plantas, em consórcio com feijão-caupi com espaçamento 0,5m x 0,5m nas entrelinhas de mamona (Figura 3).

Durante todo ciclo, o plantio foi manejado em sistema de sequeiro. Devido à distribuição regular das chuvas durante o período, adotou-se irrigação suplementar, no fim do ciclo, mas não significativa. Nesta fase foram avaliadas as variáveis de crescimento: Diâmetro do caule, medido com paquímetro, e altura das plantas, aferidas com régua (CARDOSO et al., 2006). Ao todo foram realizadas 10 medições aos 16, 32, 51, 63, 72, 81, 97, 133, 168 e 200 dias após a semeadura (DAS), sendo avaliadas 160 plantas, em malha de 3x3m.

Para estimativa de área foliar foram realizadas 5 leituras aos 23, 72, 99, 164 e 231 DAS e utilizou-se o modelo desenvolvido por Severino et al. (2004), o qual melhor se ajusta a cultivar Paraguaçu, dado por:

$$S = 0,2439x(P + T)^{2,0898} \quad (6)$$

Em que:

S = Área foliar; em cm²;

P = Comprimento da nervura principal, em cm;

T = Média do comprimento das duas nervuras laterais.

Já a produtividade foi estimada em kg.ha⁻¹, pesando-se os cachos colhidos por área. Ao todo, foram realizadas 4 colheitas neste primeiro ciclo da cultura. Para obtenção da produtividade de sementes utilizou-se um fator conversão (F) para transformação de peso de cachos em peso de sementes, no valor 0,6, segundo Severino et al. (2005). Para o feijão caupi foi realizada uma única colheita, pesando-se os grãos e fazendo-se relação por área.

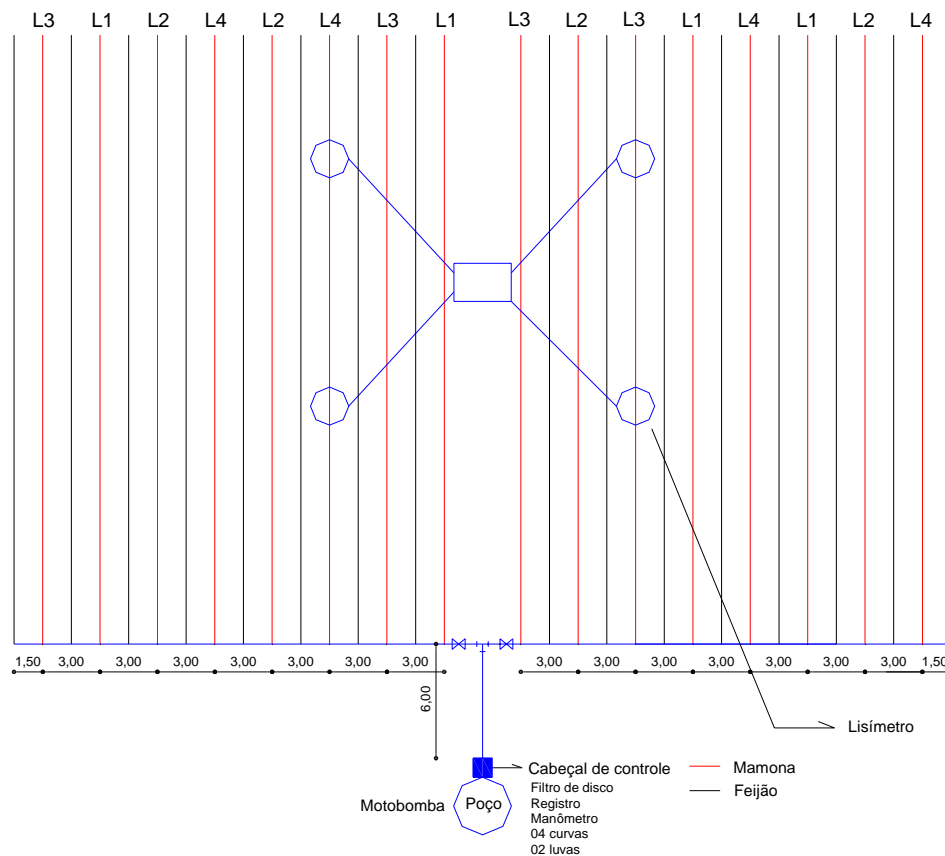


Figura 3. Esquema representativo da área experimental. Pesqueira-PE, 2007.

3.3. Estimativa da Evapotranspiração Potencial de Referência (ET_o)

3.3.1. Tanque Classe A

A Evapotranspiração potencial de referência (ET_o) pode ser estimada pelo método do Tanque Classe “A” conforme equação:

$$ET_o = ECAxKt \quad (7)$$

Em que:

Kt = Coeficiente de tanque:

O tanque utilizado neste estudo está circundado por grama, com velocidade média dos ventos de $168 \text{ km} \cdot \text{dia}^{-1}$ e umidade relativa média de 72%, por isso adotou-se valor do Kt igual a 0,75 (Figura 4).



Figura 4. Tanque Classe “A”. Pesqueira-PE, 2007.

As leituras foram realizadas nas primeiras horas da manhã, onde o balanço diário da evaporação foi obtido por meio da equação:

$$ECA = (L_{anterior} - L_{atual}) + P \quad (8)$$

Em que,

ECA = Evaporação diária do Tanque Classe “A”, em mm;

$L_{anterior}$ = Leitura anterior da régua instalada no tanque, em mm;

L_{atual} = Leitura atual da régua instalada no tanque, em mm;

P = Precipitação, em mm.

3.3.2. Penman-Monteith:

Outro método utilizado para determinação da Evapotranspiração de referência foi o modelo de Penman-Monteith, assim descrito:

$$ET_{O_{PM}} = \frac{s}{s + \gamma^*} (Rn - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{s + \gamma^*} \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_a - e_d) \quad (9)$$

Em que,

$ET_{O_{PM}}$ = Evapotranspiração de referência em $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$

s = Declividade da curva de pressão de vapor

γ = Constante psicrométrica em $\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

γ^* = Constante psicrométrica modificada em $\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

Rn = Saldo de Radiação em $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$

G = Fluxo de calor no solo em $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$

T = Temperatura média diária ($^\circ\text{C}$);

U_2 = Velocidade média do vento medida a 2m de altura em $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;

λ = Calor latente de evaporação da água em $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

e_a = Pressão de vapor de saturação em kPa

e_d = Pressão de vapor real em kPa

Os dados de superfície utilizados nesse trabalho referem-se a uma série de totais mensais de precipitação, temperatura e umidade que abrange os meses de janeiro a novembro de 2007, adquiridos ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), proveniente de uma estação monitorada pelo 3º DISME (Distrito de Meteorologia), localizada no município de Pesqueira, com coordenadas $8^\circ 24' \text{S}$ e $36^\circ 46' \text{W}$ e a uma altitude de 639 metros.

3.4. Balanço Hídrico Climatológico

Foi utilizado o método desenvolvido por Thornthwaite (1948), onde a equação que estabelece a correlação entre os valores da evapotranspiração potencial e da temperatura média do ar, em bases mensais, é:

$$ET_o = 16 \left(\frac{10Tm}{I} \right)^a \quad (10)$$

Em que:

ET_o = evapotranspiração potencial mensal em mm;

Tm = temperatura média mensal do ar em Kelvin (K)

I = é um índice de calor correspondente ao somatório de 12 índices mensais i , obtidos pela expressão:

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{Tm}{5} \right)^{1,514} \quad (11)$$

Sendo, a uma função cúbica de I , definida por:

$$a = (0,675I^3 - 77,1I^2 + 17,92I + 492,39) * 10^{-6} \quad (12)$$

Para este cálculo também foram utilizados os dados provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de uma estação monitorada pelo 3º Distrito de Meteorologia (DISME).

3.5. Avaliação da tensão da água no solo

Foram, instalados 32 tensiômetros divididos em 16 estações, para o monitoramento da umidade ao longo do perfil do solo nas profundidades de 20 e 40 cm. As leituras foram realizadas diariamente com o auxílio de tensímetro de punção (Figura 5).

Para um melhor entendimento da evolução da tensão da água no solo ao longo do período estudado, convencionou-se agrupar os dados observados nas estações, de acordo com a homogeneidade da textura, além de agrupar valores médios de tensão em pentadas (cinco dias). Os grupo ficaram assim distribuídos: Grupo 1 (estações 3, 4 e 5), grupo 2 (estações 7, 8, 9 e 10) e grupo 3 (estações 15 e 16).



Figura 5. Tensímetro de punção em campo. Pesqueira-PE, 2007

3.6. Avaliação do perfil de umidade do solo

Os perfis de umidade em campo foram obtidos utilizando-se a sonda de nêutrons modelo 503 DR Hydroprobe Moisture Gauge de fabricação da CPN International, inc (Figura 6).

Foram utilizados tubos de acesso de PVC, previamente instalados ao lado de cada estação tensiométrica, para execução de leituras nas profundidades de 20, 40, 60, 80, 100 e 120cm. (Figura 7). O tratamento realizado com aos dados tensiométricos, também foi utilizado para os dados de umidade, entretanto somente foram realizadas cinco leituras, nos dias 25/08/07; 13/09/07, 20/09/07, 21/09/07 e 31/10/07, perfazendo um total de cinco cenários, ao longo do tempo.



Figura 6. Sonda de Nêutrons no momento da leitura no campo. Pesqueira-PE, 2007.



Figura 7. Estação tensiométrica junto com tubo de acesso para Sonda de Nêutrons. Pesqueira-PE, 2007.

Na calibração da sonda de nêutrons foram realizadas 9 coletas em três locais para determinação da umidade volumétrica, próximas aos tubos de acesso, somando um total de 27 amostras de solo, onde o primeiro local se encontrava com o solo bastante seco, o seguinte

com o solo pouco mais umedecido e o terceiro com o solo bem umedecido, de forma a abranger uma ampla faixa de umidade. A calibração foi realizada por regressão linear simples da “Contagem Normalizada”, com a umidade determinada em laboratório. A contagem normalizada (CN) representa a razão entre o número de contagens no solo (C_{solo}) e o mesmo número de contagens, obtido num mesmo intervalo de tempo, em um moderador padrão (C_{barril}). Esta contagem é realizada em barril com água, de acordo com Blackburn (2002) expresso por:

$$CN = \frac{C_{solo}}{C_{barril}} \quad (13)$$

3.7. Coleta de amostras de solo para análises físicas e químicas

As amostras de solos foram coletadas utilizando um trado do tipo holandês e acondicionados em sacos plásticos. As referidas coletas foram realizadas antes do plantio, em 80 pontos, com malha retangular de 6m x 3m, em três profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, totalizando 240 amostras. Após as coletas, as amostras foram colocadas para secagem a sombra, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de diâmetro, para obtenção de terra fina seca ao ar (TRFA). As mesmas foram destinadas para determinação química e granulométrica.

As determinações físicas foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da UFRPE, de acordo com as metodologias propostas pela EMBRAPA (1997).

A granulometria foi determinada através do método do densímetro de Boyoucos, em que se utilizou como dispersante a solução de calgon (hexametáfosfato de sódio). Foram realizadas as determinações quantitativas das frações de argila (0,002mm), silte (0,002 - 0,05mm), areia (0,05 - 0,2mm), expressas em porcentagem.

Determinou-se a densidade das partículas através do balão volumétrico de 50ml, utilizando a terra fina seca na estufa (TFSE) a 105°C e álcool etílico absoluto, responsável pela determinação do volume ocupado pelas partículas. Os resultados foram expressos em g.m^{-3} de volume das partículas.

A densidade global foi determinada utilizando o método do tubo volumétrico, com resultado expresso em g.cm^{-3} .

A porosidade total foi calculada a partir dos valores da densidade global e densidade das partículas, expressa em porcentagem, segundo a expressão (17), proposta por Vomocil (1965):

aproximadamente de 24h na câmara de Richards foi determinada baseada no método proposto pela EMBRAPA (1997), segundo a equação:

$$\theta_m = \frac{psu - pss}{pss} \times 100 \quad (15)$$

Em que:

θ_m - umidade do solo na base de massa (g.g^{-1})

pss - Peso do solo seco a 105°C por 48 horas em (g).

psu - Peso do solo úmido (g)

Para o cálculo da umidade do solo na base de volume, pode-se escrever:

$$\theta_v = \theta_m \times D_s \quad (16)$$

com θ_v - umidade do solo na base de volume ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)

A umidade do solo em capacidade de campo foi obtida adotando uma tensão matricial igual a -10 kPa e o ponto de murcha permanente igual a -1500 kPa.

As análises foram feitas no laboratório de química e fertilidade do solo da UFRPE, baseadas nas metodologias propostas pela EMBRAPA (1997). A condutividade elétrica (CEes) foi determinada no extrato de saturação, obtido utilizando vácuo na pasta saturada. Os sais solúveis foram determinados no extrato de saturação por fotometria de chama, a partir extrato aquoso obtido por filtração a vácuo da pasta saturada, compreendendo os cátions: Sódio (Na^+) e Potássio (K^+).

3.9. Distribuição espacial das variáveis de crescimento da cultura e das características físico-químicas do solo

Para este trabalho as variáveis de crescimento observadas foram diâmetro do caule, medido com paquímetro, e altura das plantas aferidas com régua. Ao todo foram realizadas 10 medições nos seguintes períodos 16, 32, 51, 63, 72, 81, 97, 133, 168 e 200 dias após a semeadura (DAS). Foram avaliadas 160 plantas perfazendo uma malha de 3x3m. No tocante

aos parâmetros de textura do solo (areia, silte e argila), as amostras foram retiradas nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60cm, numa malha de 6x3m perfazendo 80 pontos de coleta, totalizando 240 amostras.

Para avaliar as variáveis químicas do solo: CEes (Condutividade elétrica no extrato saturado) e teor de sódio (Na), foram retiradas amostras de solos no início do plantio (30DAS) nas profundidades de 0-20 e 20-40cm e ao final do mesmo na profundidade de 0-40cm (230DAS). Foi utilizada uma malha 6x6m perfazendo 40 pontos de coleta, totalizando 120 amostras.

A análise da estatística descritiva foi realizada através da avaliação de medidas de tendência central (média, mediana e moda) e dispersão (desvio padrão, variância, coeficiente de variação), bem como de aderência à distribuição Normal, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov (KREYSZIG, 1970). Para análise geoestatística, utilizou-se a ferramenta geoestatística GEO-EAS (ENGLUND & SPARKS, 1992) e GS+ (ROBERTSON, 1998). Após a obtenção dos semivariogramas experimentais, foram testados os modelos gaussiano, esférico e exponencial, verificando se os erros padronizados apresentaram média próxima a zero e desvio-padrão próximo à unidade, segundo o critério de Jack-Knifing (VAUCLIN et al., 1983).

Para caracterização do grau de variabilidade, foram analisados os valores de coeficiente de variação (CV) dos atributos, conforme sugerido por Warrick & Nielsen (1980), os quais consideram baixa variabilidade quando $CV < 12\%$; média para o intervalo 12 - 60%, e alta variabilidade quando $CV > 60\%$. No que diz respeito ao grau de dependência espacial, utilizou-se a classificação proposta por Cambardella et al. (1994), na qual um determinado atributo pode ser considerado como exibindo forte, moderada ou fraca dependência espacial, em função da relação entre o efeito pepita e o patamar de seu semivariograma ajustado. Valores inferiores a 25% caracterizam forte dependência espacial, entre 25% e 75% moderada, enquanto que acima de 75%, fraca dependência. Para confecção dos mapas de isolinhas foi adotado o software Surfer 7.0 (SURFER, 1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização do solo da área de estudo

4.1.1. Análise da fertilidade

O resultado da análise de fertilidade do solo estudado é mostrado na Tabela 3. A mesma foi realizada no laboratório de fertilidade do solo da Embrapa Algodão, antes do plantio. De acordo com este resultado, não houve necessidade de aplicação de fertilizantes, segundo Cavalcanti (1998).

Tabela 3 Análise de fertilidade do solo da área de estudo. Pesqueira-PE, 2007.

pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	S	V	M.O.
(H ₂ O)	mg/dm ³	cmolc/dm ³					%	g/kg	
7,1	90,6	5,4	39,1	24,9	2,8	0,0	72,2	100	10,1

4.1.2. Análise textural

Os atributos físicos e a granulometria média da área de estudo, determinados segundo EMBRAPA (1997), estão descritos na Tabela 4 para as profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60cm, e de acordo com os resultados obtidos a Classe textural é Franco arenoso, segundo Lemos & Santos (1996).

Tabela 4 Análise da textura, densidade do solo (Ds), densidade da partícula e porosidade total do solo da área experimental. Pesqueira-PE, 2007.

Profundidade (cm)	Atributos						Classe Textural
	Areia	Argila	Silte	Ds	Dp	P	
	g/Kg			g/cm ³		(%)	
0-20	647,9	154,4	197,8	1,44	2,61	44,86	Franco arenoso
20-40	642,9	173,0	184,1	1,42	2,61	45,44	Franco arenoso
40-60	683,9	159,7	156,5	1,40	2,63	46,80	Franco arenoso

Na figura pode-se observar os percentuais de areia, argila e silte para as profundidades analisadas do solo da área experimental. Percebe-se um maior teor de areia na profundidade de 40 a 60 cm.

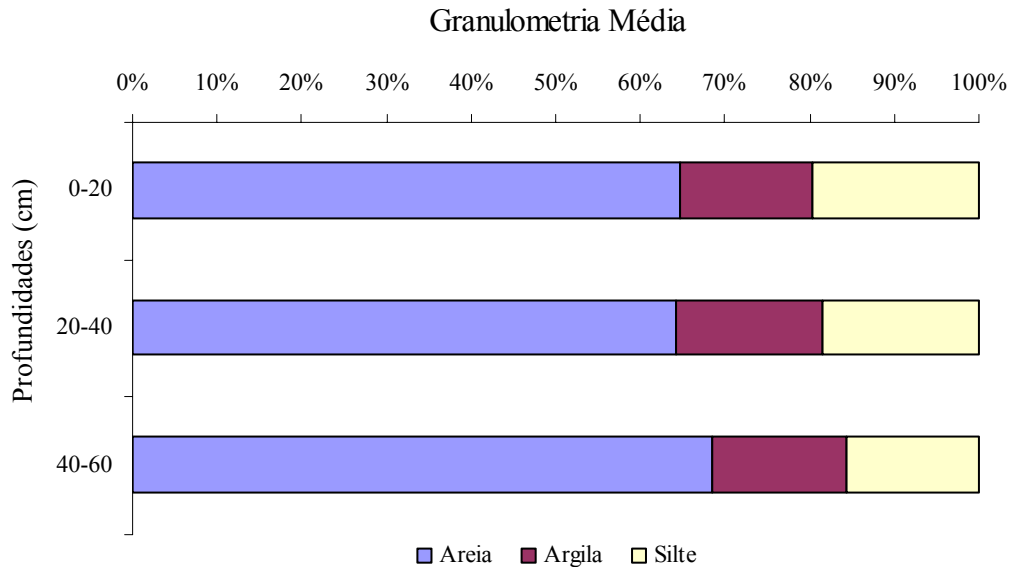
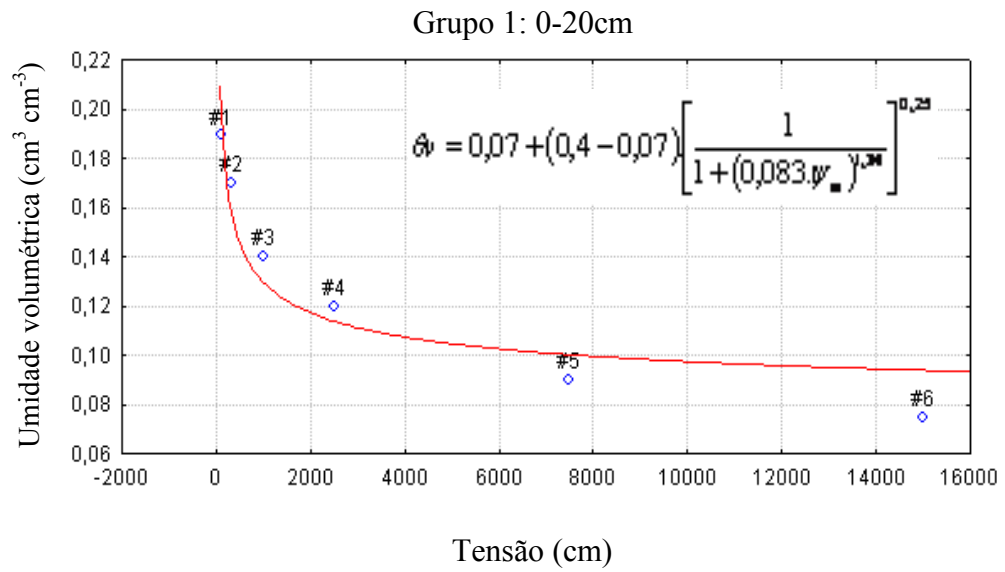


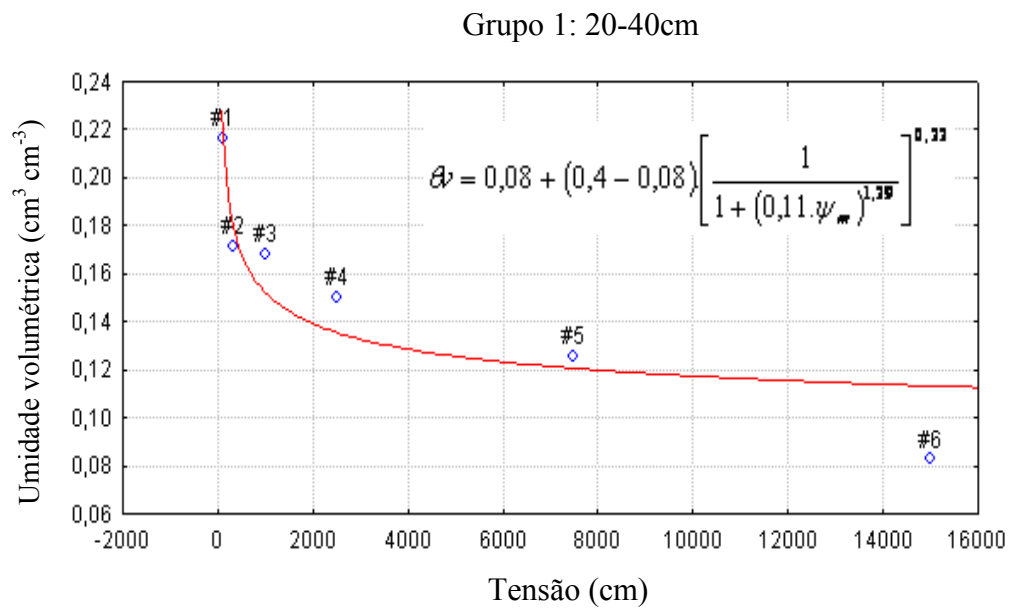
Figura 9. Percentuais de areia, argila e silte do solo estudado. Pesqueira-PE, 2007.

4.1.3. Curva de retenção da água no solo: Curva Característica

Fazendo uso da mesma metodologia de agrupamento por homogeneidade de regiões, as figuras 10a e 10b representam as curvas de retenção da água no solo, para o grupo 1, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm respectivamente. As figuras 11a e 11b, representam a curvas de retenção de umidade para o grupo 2, nas profundidades de 0-20 e 20-40cm e as figuras 12a e 12b representam o grupo 3. Estas curvas relacionam o potencial matricial com a umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), ajustados pelo modelo de van Genuchten (1980). Todos os valores referentes aos parâmetros α , m e n estão nos gráficos de curva.

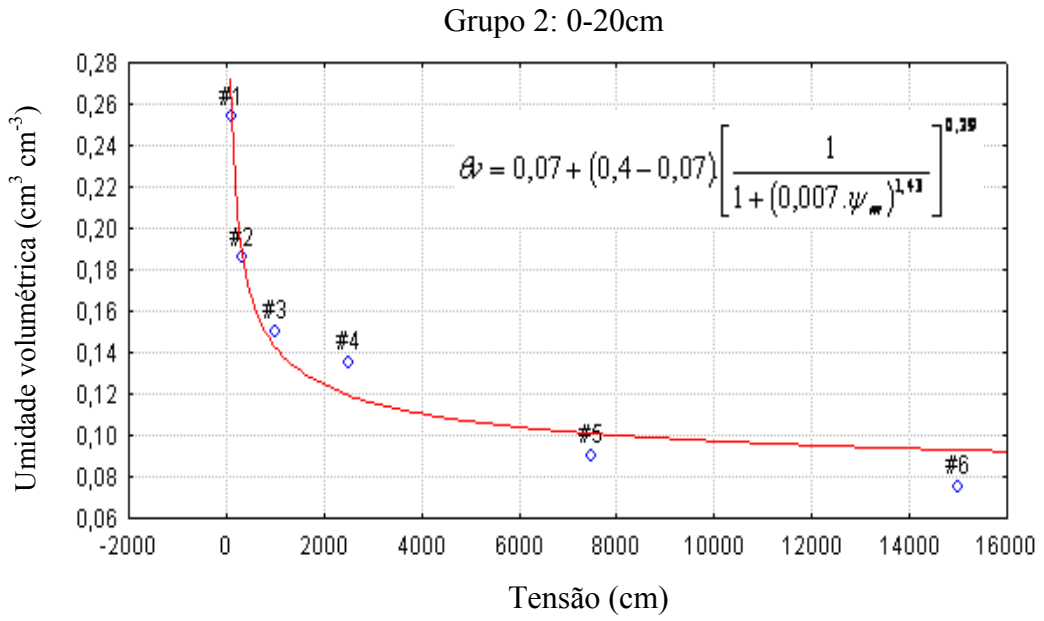


A

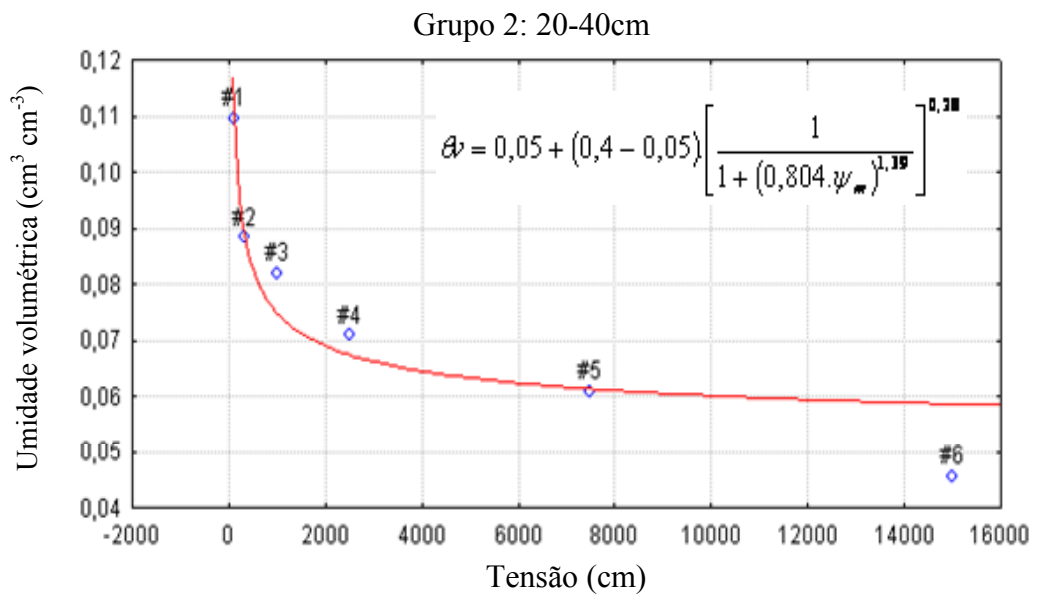


B

Figura 10. Curva Característica de Retenção de umidade do solo. Grupo 1: A. na profundidade 0-20 cm. B. na profundidade 20-40 cm. Ajustada por van Genuchten (1980).

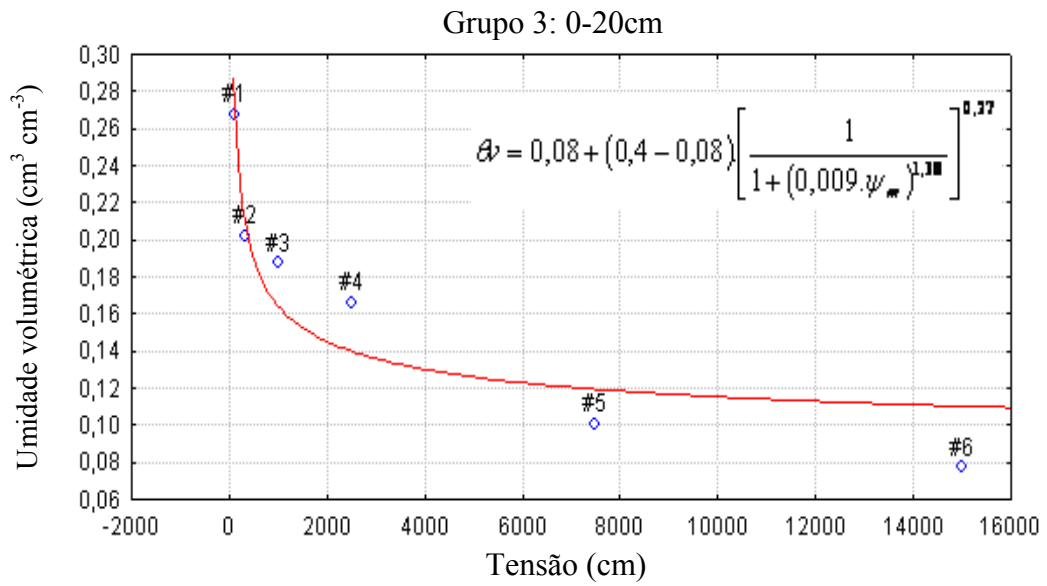


A

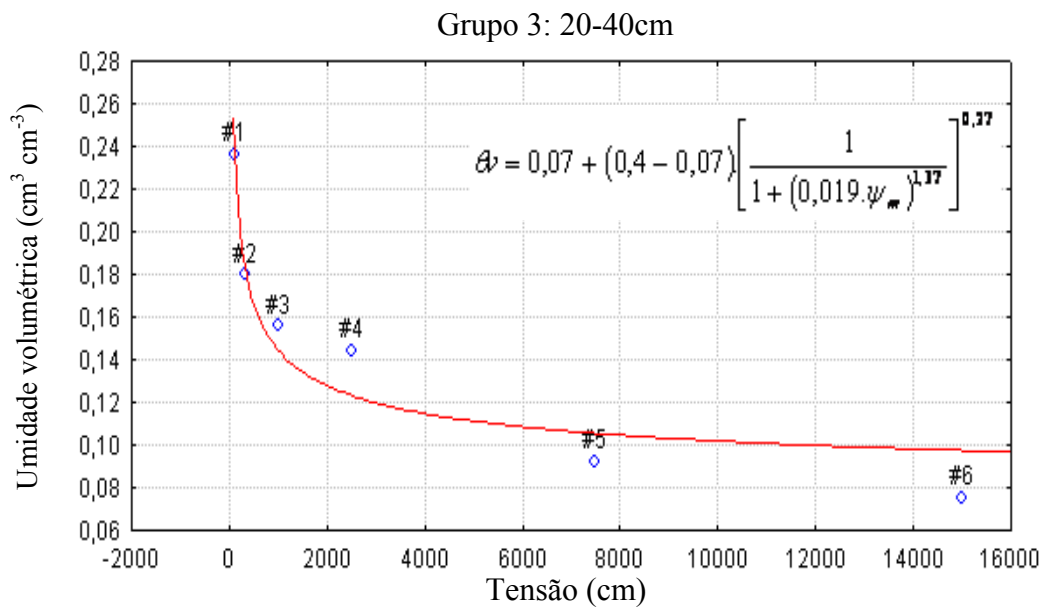


B

Figura 11. Curva Característica de Retenção de umidade do solo. Grupo 2: A. na profundidade 0-20 cm. B. na profundidade 20-40 cm. Ajustada por van Genuchten (1980).



A



B

Figura 12. Curva Característica de Retenção de umidade do solo. Grupo 3: E. na profundidade 0-20 cm. F. na profundidade 20-40 cm. Ajustada por van Genuchten (1980).

4.1.4. Análise da tensiometria

As Figuras 13, 14a e 14b apresentam potenciais matriciais juntamente com precipitação ocorrida ao longo do ciclo da cultura. Apesar do cultivo ter sido manejado em regime de sequeiro, não se observou potenciais que pudessem limitar a disponibilidade de água para as plantas. Devido a problemas operacionais, não foi possível avaliar o comportamento da tensiometria no período de 01 a 20 de junho de 2007. No grupo 1, composto pelas estações 3, 4 e 5, o potencial matricial manteve-se em níveis baixos durante a estação chuvosa, aumentando a medida que começou a estação seca, a partir do dia 10 de setembro, para as duas profundidades, para profundidade de 0-20cm o potencial médio foi de -17,253 kPa e de -33,258 kPa para a profundidade de 20-40 m (Figura 13).

No grupo 2, composto pelas estações 7, 8, 9 e 10 também apresentou comportamento semelhante, sendo que o aumento do potencial deu-se um pouco mais precoce que o grupo 1. O potencial médio foi de -28,797 kPa e de -43,75 kPa, para as profundidades de 0-20cm e de 20-40cm respectivamente (Figura 14a).

O grupo 3, formado pelas estações 15 16, foi o que apresentou maior oscilação durante o período observado, isto pode sido em decorrência deste grupo se encontrar na margem direita da área, a qual possui teores de silte e argila maiores que nas áreas dos grupos 1 e 2. Neste grupo o potencial matricial médio na profundidade de 0-20cm foi -26,623 kPa e de -41,901 kPa a 20-40cm (Figura 14b).

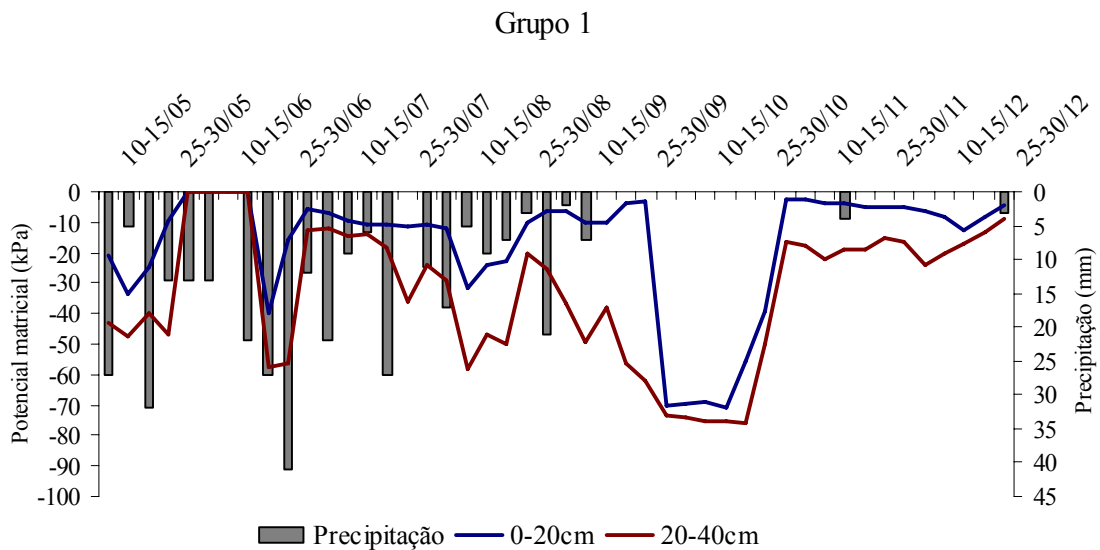
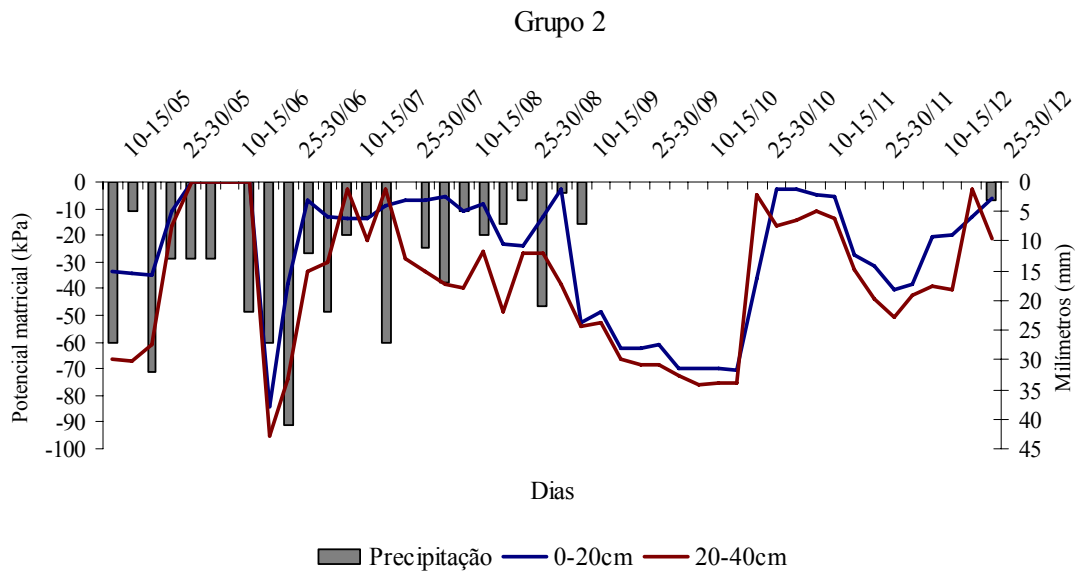
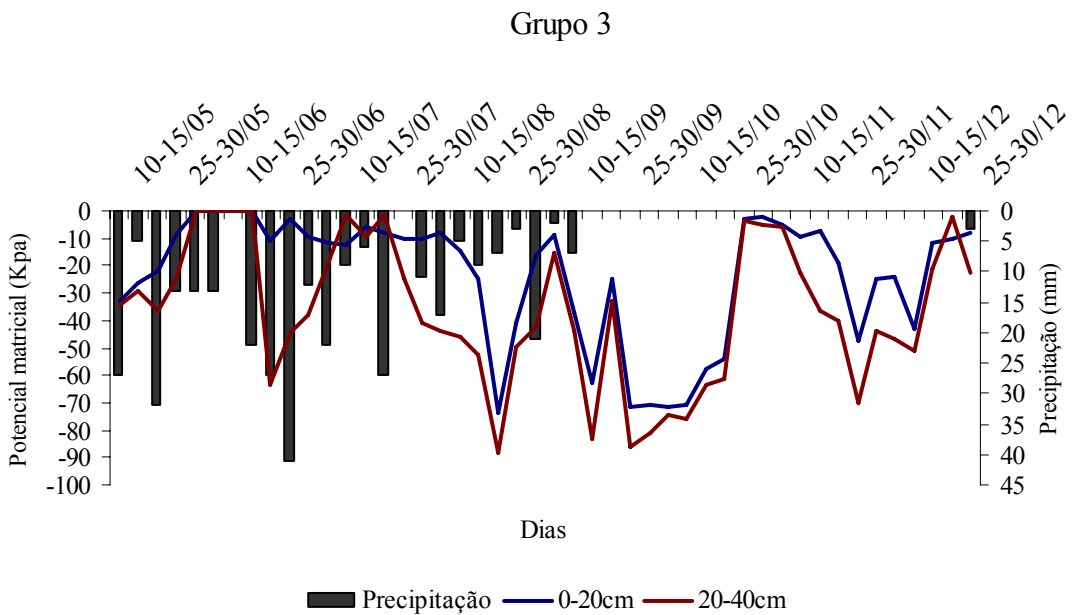


Figura 13. Potencial matricial (kPa) ao longo do ciclo da cultura na região no grupo 1.

Pesqueira-PE, 2007



A



B

Figura 14. Potencial matricial (kPa) ao longo do ciclo da cultura na região. A. grupo 2. B. grupo 3. Pesqueira-PE, 2007

4.1.5. Avaliação da umidade do solo com sonda de nêutrons

A reta da calibração neutrônica para o solo estudado, obtida pela plotagem dos valores de umidade volumétrica em função da contagem normalizada de nêutrons atenuados (CN). A função de transformação da CN em umidade volumétrica apresentou coeficiente R^2 da regressão linear simples superior a 91%, o que é considerado alto (Figura 15)

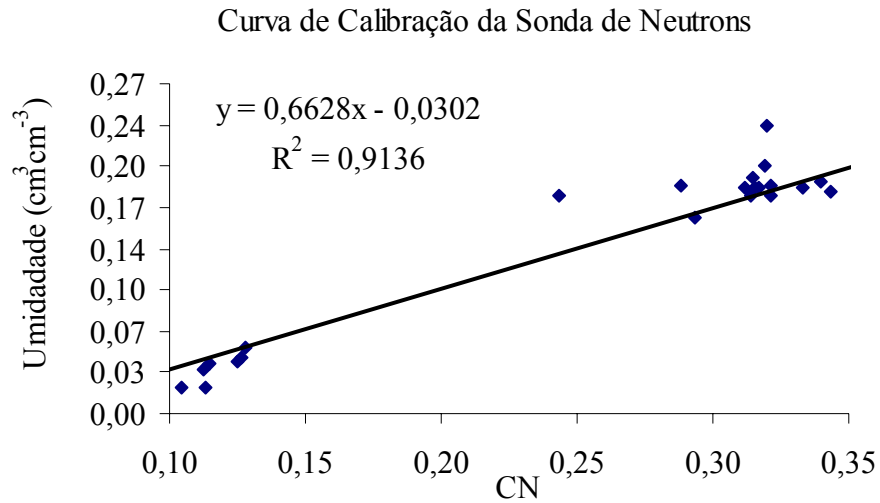


Figura 15. Curva de calibração neutrônica para o solo estudado. Pesqueira-PE, 2007.

Nas figuras 16a, 16b e 16c estão dispostas a variação da umidade do solo em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ para os cinco cenários mencionados anteriormente. Pode-se observar que na maioria dos cenários estudados a umidade era sempre maior nas camadas mais superficiais (0-20 e 20-40cm) diminuindo a medida que se distancia da superfície e nas camadas mais profundas a umidade volta a aumentar.

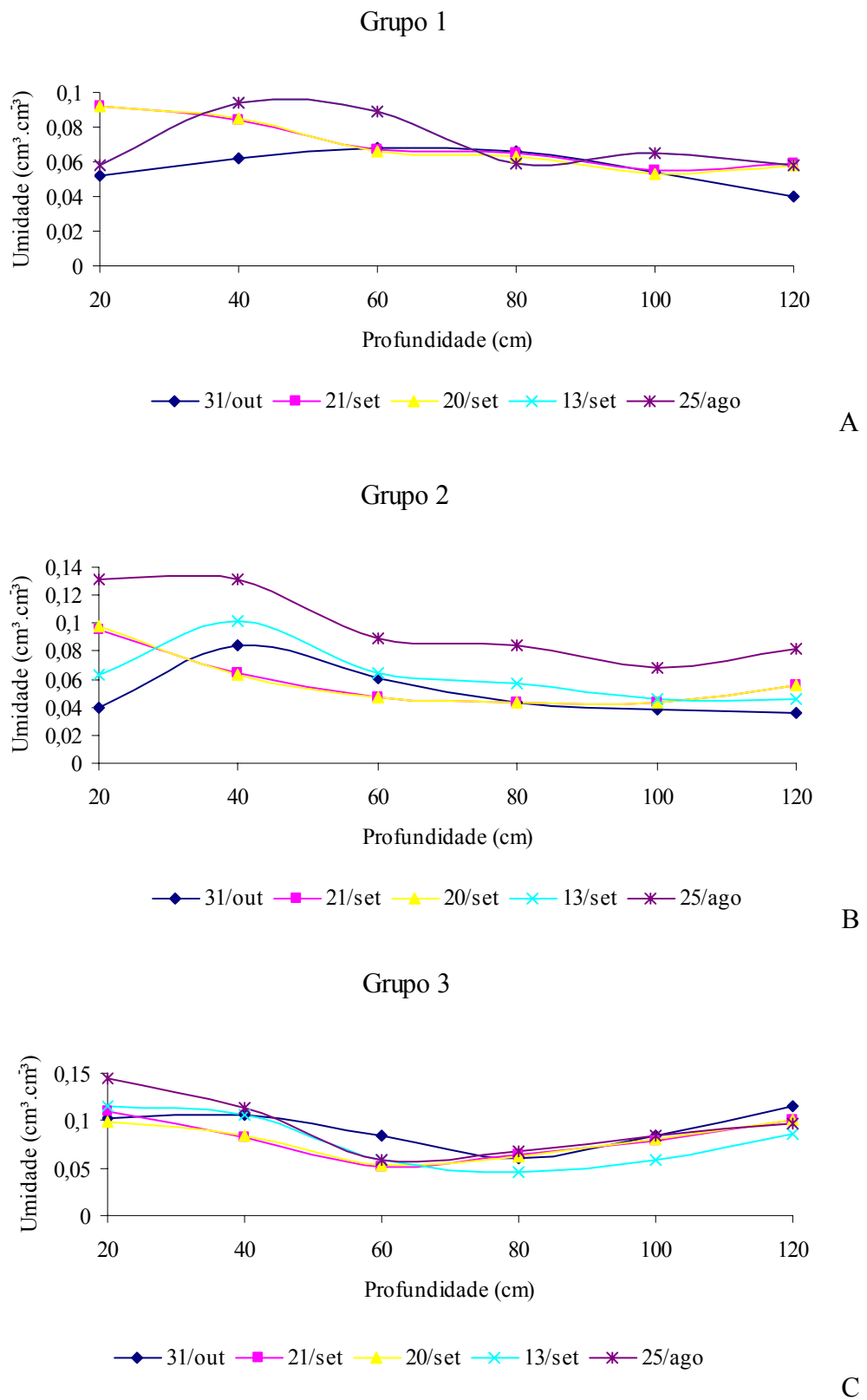


Figura 16. Umidade do solo estimada pela sonda de nêutrons. A. grupo 1. B. grupo 2. C. grupo 3. Pesqueira-PE, 2007

Este episódio pode ser explicado pela presença do lençol subterrâneo. Na figura 17 pode se observar a variação do nível do lençol d'água subterrâneo ao longo do tempo, na área experimental. Observa-se que durante o ciclo da cultura de março a setembro, o mesmo se encontra menos profundo em relação à superfície. Isto pode explicar um aumento da umidade do solo nas camadas mais profundas principalmente a partir de 80cm, causado por uma possível ascensão capilar devido a elevação do lençol logo após o período chuvoso.

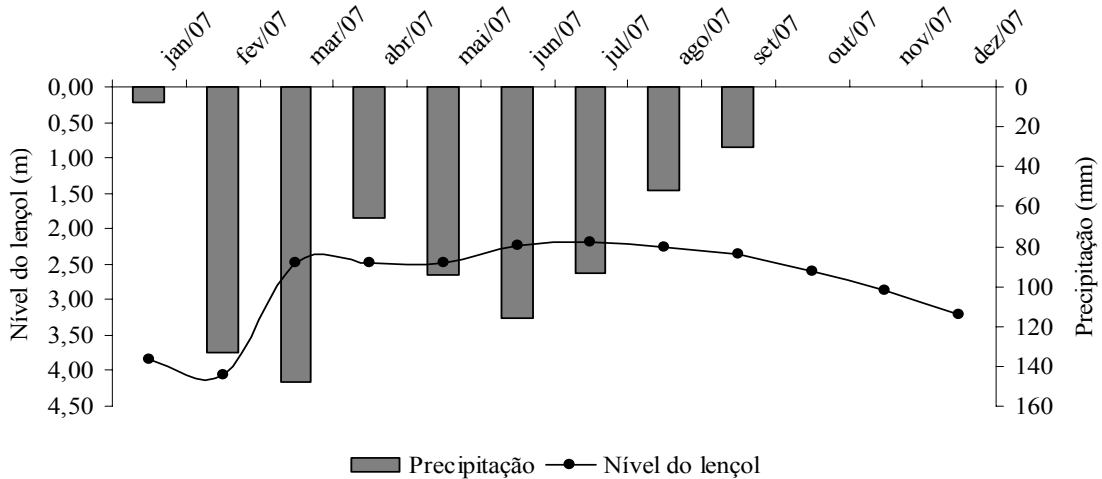


Figura 17. Variação do nível do lençol d'água subterrâneo ao longo do tempo. Pesqueira-PE, 2007.

4.2. Análise da cultura

4.2.1. Variáveis de crescimento: Altura de plantas, diâmetro caulinar e estimativa da área foliar

Nas Figuras 18a e 18b pode-se observar a evolução das variáveis de crescimento, altura de plantas e diâmetro caulinar, ao longo do ciclo da cultura. Ambos ajustaram-se ao modelo polinomial com coeficiente de determinação (R^2) de 0,959; 0,987, respectivamente. Benincasa (2003), por sua vez salienta que a utilização de regressão, como a equação polinomial, para representar a progressão do crescimento ao longo do ciclo permite avaliar, de forma precisa, variações no padrão de crescimento de plantas.

Pode-se observar que existe um crescimento contínuo, isto é, mais acelerado até os 133 DAS, logo depois diminuindo após esse período, o que pode ser explicado pela transferência dos fotossimilados usados no crescimento para os órgãos reprodutivos (BELTRÃO et al, 2000).

Na Figura 18c pode-se observar a evolução da área foliar ao longo do ciclo da cultura. Percebe-se que o maior pico deu-se aos 99 DAS, com área média de 4,42 m² por planta, decaindo no final do ciclo. Esta variável também se ajustou a um modelo polinomial com coeficiente de determinação (R²) de 0,983.

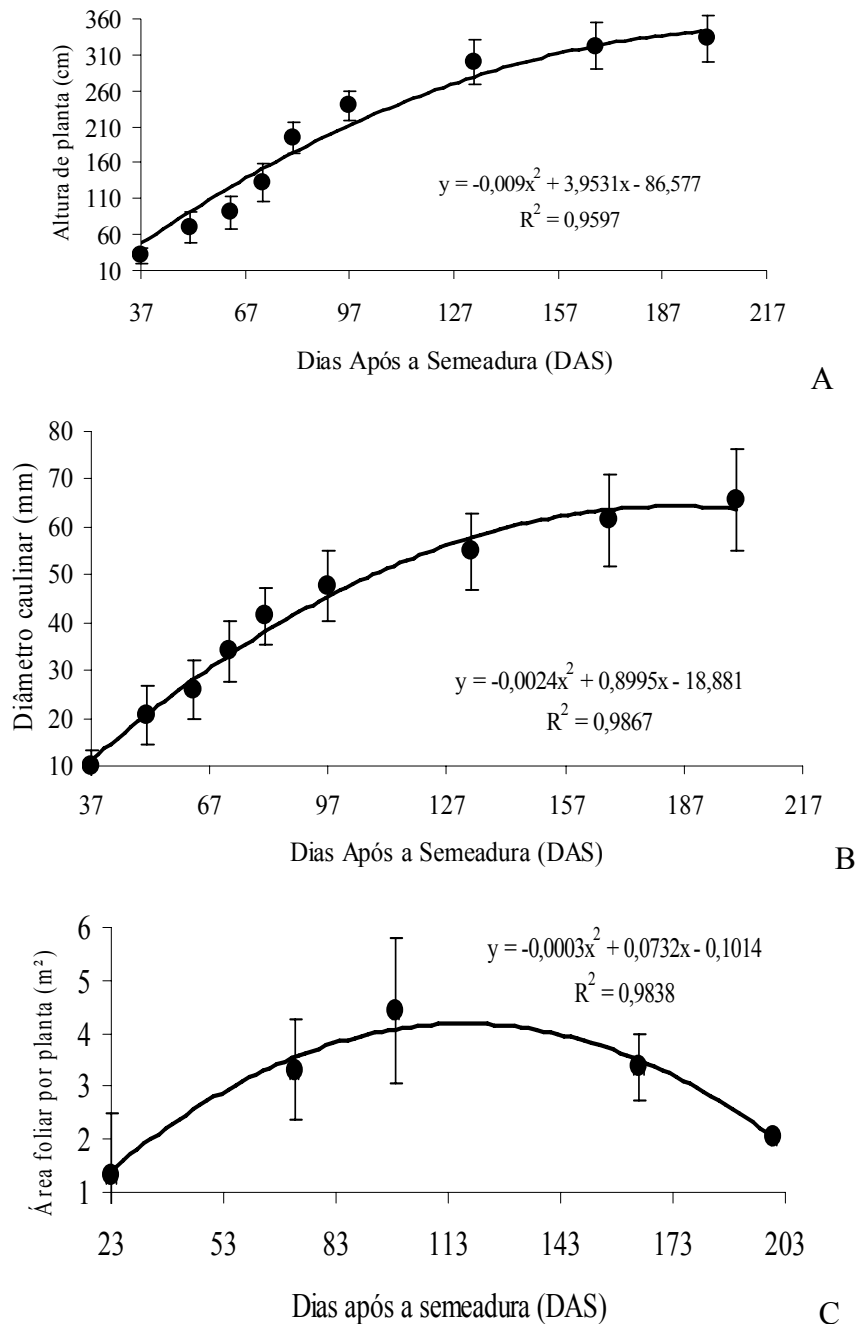


Figura 18. A. Crescimento médio das plantas ao longo do ciclo da cultura. B. Evolução do diâmetro caulinar ao longo do ciclo da cultura. C. Estimativa de área foliar ao longo do ciclo da cultura. Pesqueira-PE, 2007

Vale salientar que em biosistemas a variabilidade é uma constante, sendo difícil chegar-se próximo da realidade, pois se trabalha com indivíduos distintos em cada período de tempo (SILVA et al, 2000). Cardoso et al. (2006) ressaltam que as folhas possuem alta variabilidade nos estádios iniciais de crescimento, devido a diferentes tipos, cujo tamanho tornam-se mais semelhantes nos estádios avançados de crescimento.

Nas Figuras 19a até 19e pode-se observar o crescimento da cultura, verificando a área foliar, ao longo do ciclo.



Figura 19. Plantio da mamona. A. 23 DAS. B. 72. DAS. C. 79 DAS. D. 164 DAS. E. 200 DAS. Pesqueira-PE, 2007

4.2.2. Produtividade

A possibilidade de estimar o peso das sementes a partir do peso dos cachos ou dos frutos simplifica muito esse processo e economiza tempo e recursos para pagamento de mão-de-obra para descascamento. Diante dessa possibilidade, o peso de sementes obtido na área experimental e conseqüentemente a produtividade, foram estimados multiplicando-se o peso total de bagas colhidas pelo fator (F) igual a 0,6, recomendado segundo Severino (2005). Já para o feijão foi realizado apenas um plantio, perfazendo uma só colheita (Tabela 5).

Tabela 5 Produção e produtividade de feijão e de mamona em bagas e grãos na área experimental. Pesqueira-PE, 2007.

Colheitas	Produção de bagas kg	Área ha	Produtividade de bagas kg/ha	F	Produtividade de grãos kg/ha
28/08/2007	185,0	0,144	1284,72	0,6	770,83
11/09/2007	186,0	0,144	1291,67	0,6	775,00
25/09/2007	186,5	0,144	989,58	0,6	593,75
01/10/2007	186,5	0,144	1295,14	0,6	777,08
Mamona total	700,0	0,144	4861,11	0,6	2916,67
Feijão total					173,61

Na Figura 20, é mostrada a produção de bagas em quilogramas (kg), observada nas quatro colheitas realizadas, bem como o total, ao longo das linhas de cultivo. Fica evidente que a porção central, representada principalmente pelas linhas 8 e 9, apresenta maior produção, o que pode ser explicado pela heterogeneidade do solo, que nesta região apresenta maior teor de argila, em relação as outras da área experimental.

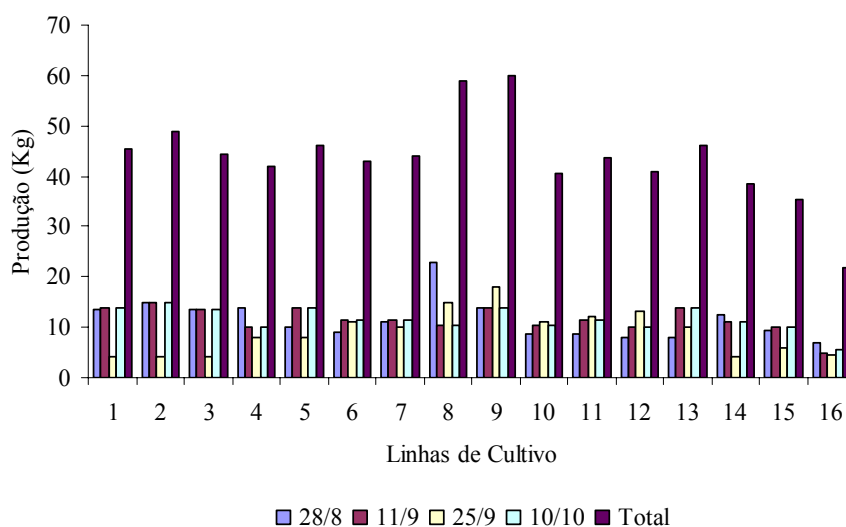


Figura 20. Produção parcial e total de mamona ao longo das linhas de cultivo. Pesqueira-PE, 2007.

4.3. Análise dos parâmetros climatológicos

4.3.1. Precipitação

Neste trabalho utilizou-se o pluviômetro alocado na propriedade do agricultor, como forma de promover e incentivar maior interação deste com os equipamentos e medição climatológica, bem como ressaltar a importância da utilização destes dados, no manejo da irrigação (Figura 21).



Figura 21. Pluviômetro localizado na propriedade do agricultor. Pesqueira-PE, 2007.

Observa-se na Figura 22, a distribuição da chuva ao longo do ano, notando-se que os maiores picos se deram nos meses de fevereiro e março, apresentando uma melhor distribuição a partir do mês de maio, encerrando-se no mês de setembro.

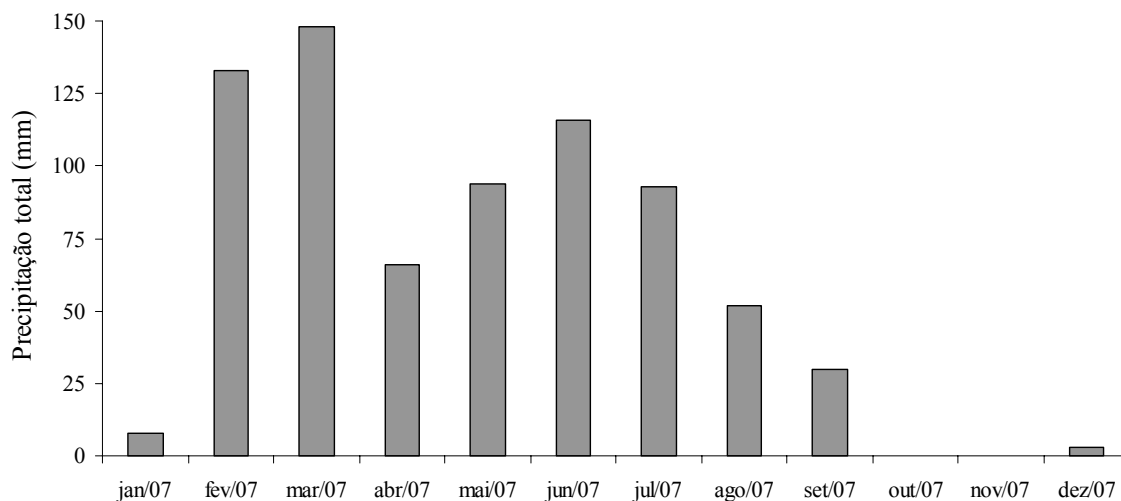


Figura 22. Distribuição da precipitação ao longo do ano na área experimental

4.3.2. Evapotranspiração de referência (ET_o) e Evapotranspiração de cultura (ET_c)

Convencionou-se que evaporação (EV), corresponde à evaporação da água medida com a utilização do Tanque Classe “A”, a evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada usando o tanque classe “A” e pelos modelos matemáticos de Penman-Monteith e Thornthwaite.

Na Tabela 6 se encontram os valores de evapotranspiração acumulada mensal e a média diária, para o ano de 2007. Verifica-se valores de 6,51, 4,01 e 3,19 mm/dia, para os métodos de Penman-Monteith, Tanque Classe “A” e Thornthwaite respectivamente. Houve subestimativas por parte do Tanque Classe “A” e do modelo de Thornthwaite em relação ao modelo de Penman-Monteith, usado como padrão neste trabalho, na ordem de 38,43 e 50,96% respectivamente. Santos (2004), trabalhando com lísimetro de pesagem hidráulica na mesma fazenda encontrou valor sobrestimado de ET_o do Tanque Classe “A” na ordem de 20,92% em relação ao modelo de Penman-Monteith, já o modelo de Thornthwaite subestimou a ET_o em 17,98%. Oliveira (2006), também trabalhando com lísimetro de pesagem hidráulica, só que no município de Vitória de Santo Antão-PE, região de transição entre a Zona da Mata e Agreste, encontrou sobrestimativa entre os valores do Tanque Classe “A” e Penman-Monteith na ordem de 39,22%. Esta variação pode ser explicada devido ao número de observações que foram de 39 para Santos (2004) e de 115 para Oliveira (2006) respectivamente.

Tabela 6 Valores de evapotranspiração acumulada mensal e a média diária, e desvio percentual tomando-se Penman-Monteith como padrão, para o ano de 2007. Pesqueira-PE, 2007

Meses	Eto (mm) - Modelos		
	Penman-Monteith	Tanque Classe "A"	Thornthwaite
jan-07	239,18	170,40	124,20
fev-07	197,79	142,73	109,40
mar-07	217,87	103,83	101,10
abr-07	194,61	107,25	100,60
mai-07	155,36	102,90	94,10
jun-07	132,31	64,73	73,00
jul-07	153,20	80,48	80,48
ago-07	165,78	106,58	77,80
set-07	195,39	104,96	76,80
out-07	250,11	140,78	101,20
nov-07	238,41	169,58	110,70
dez-07	236,83	169,28	116,30
Total	2376,85	1463,46	1165,68
Média diária	6,51	4,01	3,19
Desvio (%)	0,00	-38,43	-50,96

Para se estimar a evapotranspiração da cultura (ETc) da mamona utilizou-se os valores dos Kc's estabelecidos por Doorenbos & Pruitt (1977), já mostrados na tabela 3, multiplicados pelos valores de ETo obtidos pelo Tanque Classe "A". Este último foi escolhido por ser mais acessível e de melhor entendimento para o agricultor.

Na Figura 23 é mostrado a distribuição da EV, ETo, ETc e precipitação na primeira fase da cultura, definida como Fase Inicial, a qual iniciou em 20/03/2007 e terminou no dia 14/04/2007, perfazendo um total de 25 dias, onde o Kc utilizado foi de 0,35. Houve apenas um evento chuvoso de 5 mm, com ETc acumulada de 35,2mm e média de 1,47 mm/dia. Bezerra (2004), encontrou valor médio da ETc de 1,14 mm/dia, para cultivar Íris nesta fase, utilizando um Kc médio de 0,32, utilizando lisímetros de drenagem e de lençol freático constante, em Santo Antônio do Leverger-MT.

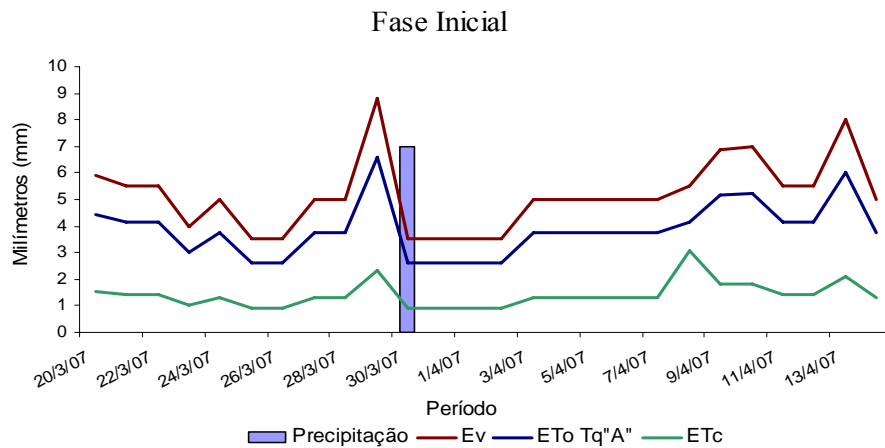


Figura 23. Precipitação, evaporação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração da cultura ao longo do tempo na fase inicial da cultura. Pesqueira-PE, 2007.

A segunda fase começou a partir do dia 15 de abril e perdurou até 25 de maio, correspondendo ao desenvolvimento da cultura. Pode-se observar que houve vários eventos chuvosos, gerando um total acumulado de 137 mm. Durante esta fase a ETc acumulada foi de 103,11mm e média de 2,58 mm/dia (Figura 24). Bezerra (2004), trabalhando com cultivar Íris encontrou Kc médio de 0,72, com ETc médio de 2,18 mm/dia, utilizando lisímetros de drenagem e de lençol constante, em Santo Antônio do Leverger-MT.

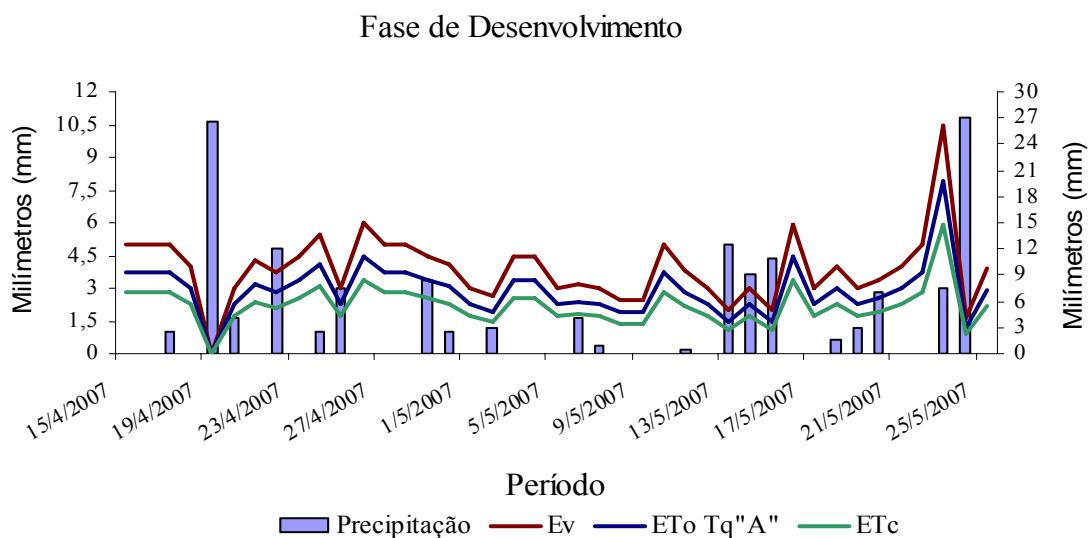


Figura 24. Precipitação, evaporação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração da cultura ao longo do tempo na fase de desenvolvimento da cultura. Pesqueira-PE, 2007.

A fase intermediária é a fase mais crítica, uma vez que é mais longa e quando se processa o desenvolvimento reprodutivo. Durante este período a ETc acumulada foi de 169,39

mm, com ETc média de 2,61 mm/dia (Figura 25). Já Bezerra (2004), para esta mesma fase, encontrou Kc 1,69 com ETc média de 4,04 mm/dia.

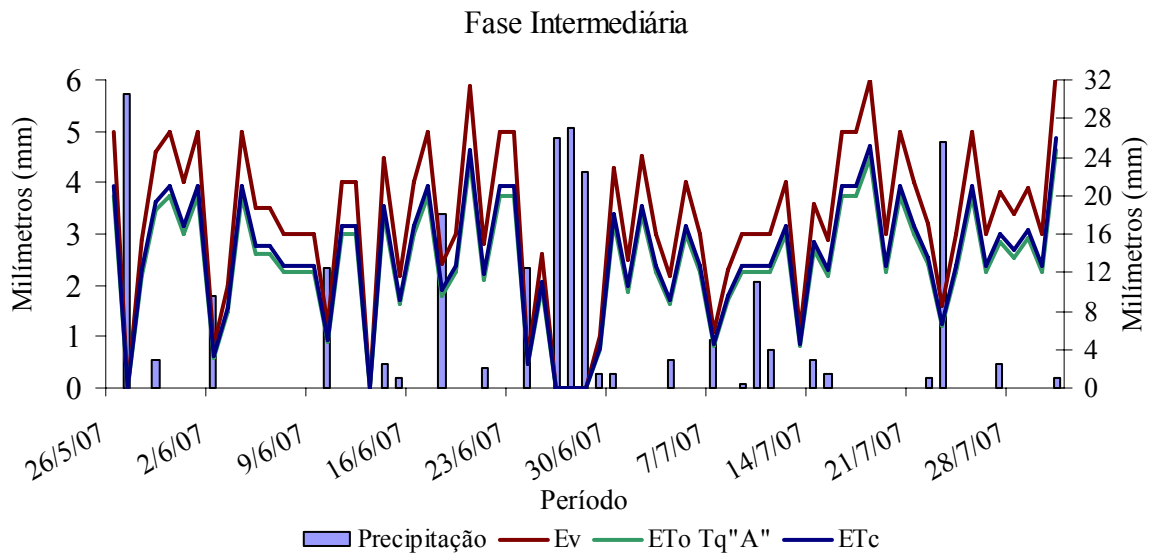


Figura 25. Precipitação, evaporação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração da cultura ao longo do tempo na fase intermediária da cultura. Pesqueira-PE, 2007.

Para a fase final, período em que ocorre a maturação e enchimento dos grãos, compreendido entre 01/08/2007 e 19/09/2007, obteve-se um ETc acumulada de 75,69 mm, com ETc média de 1,51 mm/dia, diferindo um pouco de Bezerra (2004) que encontrou ETc média de 1,06 para um Kc de 0,51 (Figura 26)

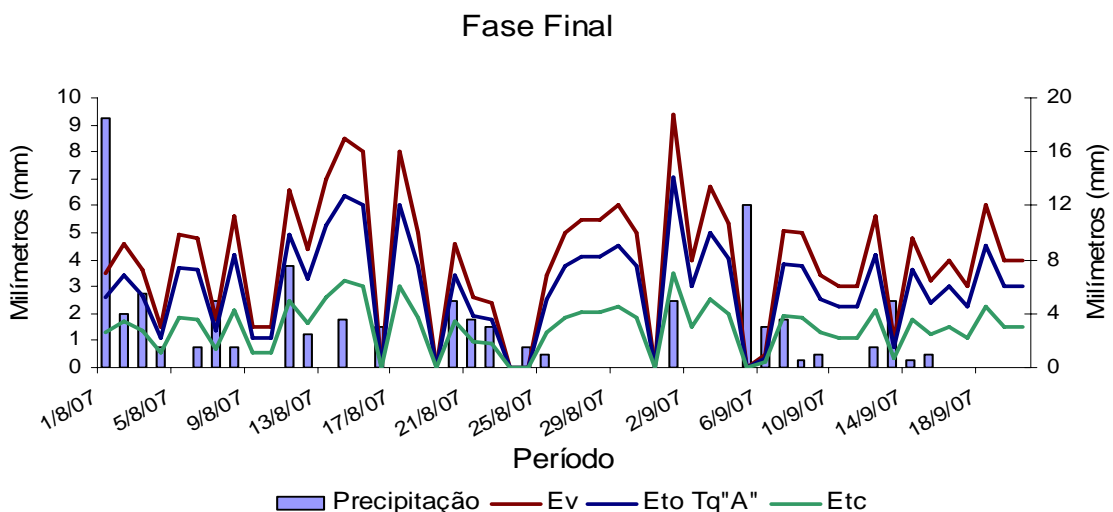


Figura 26. Precipitação, evaporação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração da cultura ao longo do tempo na fase final de desenvolvimento da cultura. Pesqueira-PE, 2007.

Observando todo o período de cultivo e as fases de desenvolvimento da cultura e seus respectivos Kc's pode-se observar que o consumo hídrico da cultura, representado pela ETc, foi menor que a precipitação acumulada ocorrida neste mesmo período, 383,39 e 456 mm respectivamente, além de que a maior parte da precipitação ocorreu nos meses de maio a julho, período em que a cultura se encontrava em maior desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, o que justifica essa alta produtividade para um cultivo de sequeiro (Tabelas 7)

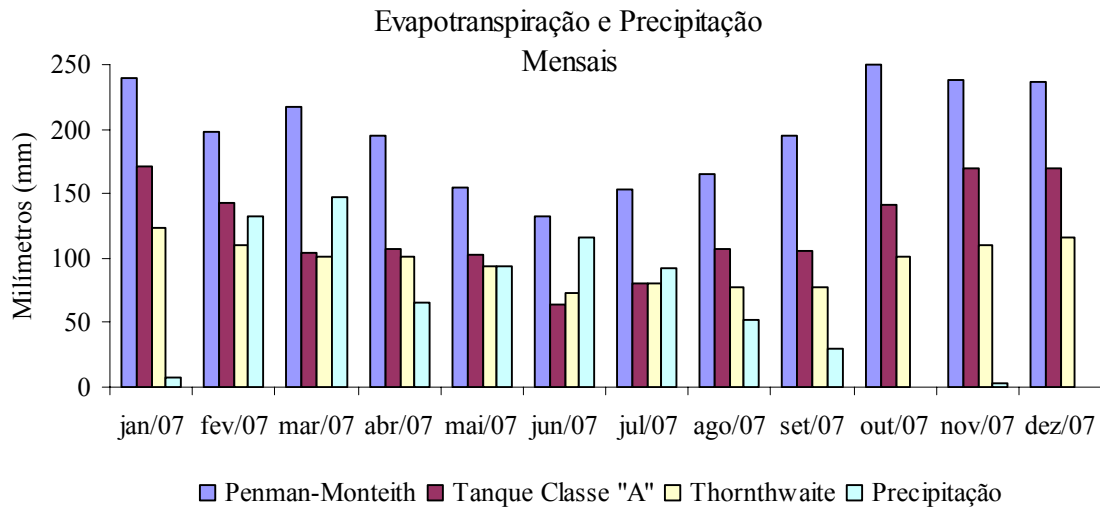
Tabela 7 Coeficiente de cultura (Kc), precipitação (P), evaporação (EV), evapotranspiração de referência (ETo) e evapotranspiração da cultura (ETc) médios e acumulados, durante os fases da cultura. Pesqueira-PE, 2007.

Fases da Cultura	Kc's	Período		Duração	P	Ev	Eto	Etc	Ev	Eto	ETc
		Início	Final								
Inicial	0,35	20/3/07	14/4/07	25	15	134,1	100,58	35,20	5,36	4,02	1,41
Crescimento	0,75	15/4/07	25/5/07	40	137	183,3	137,48	103,11	4,58	3,44	2,58
Intermediária	1,05	26/5/07	31/7/07	65	222	215,1	161,33	169,39	3,31	2,48	2,61
Final	0,5	1/8/07	19/9/07	50	82	201,85	151,39	75,69	4,04	3,03	1,51
Total					456	734,35	550,76	383,39			

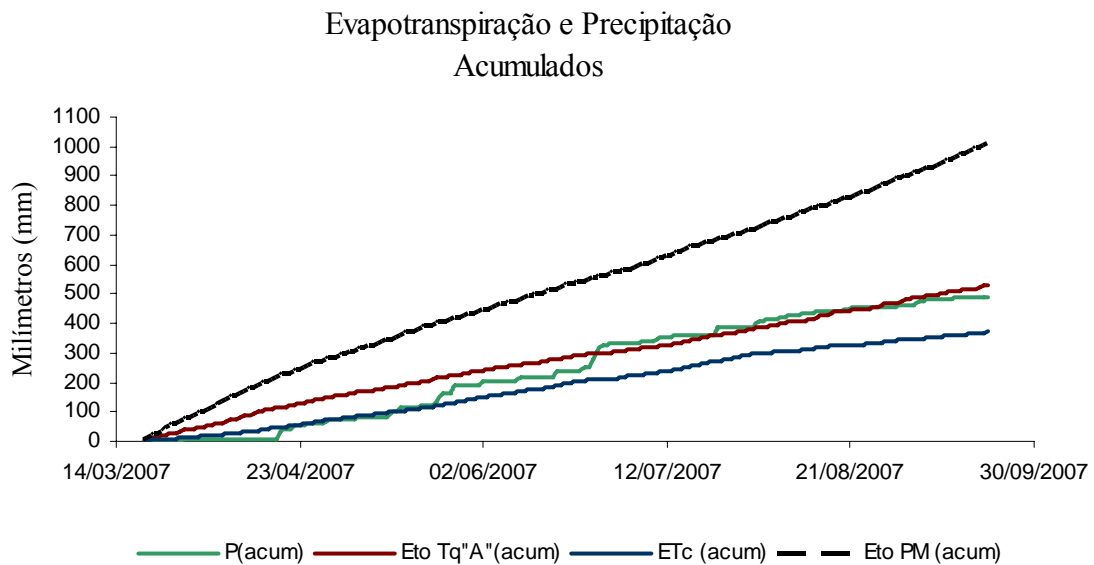
4.3.3. Balanço Hídrico

Na Figura 27a é apresentada os valores mensais de precipitação e evapotranspiração, estimado com base nas leituras diárias e nas estimativas de evapotranspiração, com base nos métodos de Penman-Monteith, Tanque Classe “A” e Thornthwaite. Nota-se uma similaridade entre as estimativas a partir destes dois últimos métodos, assim como uma superestimativa de evapotranspiração calculados com o Penman-Monteith, em relação ao tanque e a Thornthwaite.

De modo a verificar a influência destas estimativas durante o ciclo da cultura, considera-se os valores acumulados, e apresentados na Figura 27b. Nota-se um equilíbrio entre a evapotranspiração acumulada medida pelo Tanque Classe “A” e a precipitação pluviométrica, indicando ter havido uma reposição das necessidades hídricas da cultura da mamona. Caso se escolha o método de Penman-Monteith, então nota-se ocorrência de déficit hídrico.



A



B

Figura 27. Precipitação, ETo Tanque Classe “A” e ETo Penman-Monteith: A. mensal. B. acumulado ao longo do ciclo da cultura. Pesqueira-PE, 2007

4.4. Análise da variabilidade espacial de atributos edáficos e de crescimento da cultura

As seções seguintes apresentam uma análise da distribuição espacial de características físicas, na área de cultivo, bem como de fatores químicos que por ventura possam influenciar a produtividade, em escala local. Cabe salientar que o manejo em escala local constitui a base da agricultura de precisão, e que pode constituir alternativa para incremento da produção na área.

4.4.1. Granulometria

Os atributos físicos correspondentes às amostras, coletadas nos 80 pontos na área de cultivo de mamona nas profundidades de 0-20cm, 20-40cm e 40-60cm, foram analisados por meio da Estatística Descritiva sendo apresentados na tabela 8.

Tabela 8 Estatística clássica dos teores de areia silte e argila. Pesqueira-PE, 2007.

Profundidade 0-20cm													
Atributo	X (%)	S	CV	Var	Curt	Q1	Mín	Med	Máx	Q3	EMáx	K-S	Dist
Areia	64,8	7,8	0,12	60,6	-0,87	58,5	48,8	64,8	81,3	71,8	0,1	0,15	N
Argila	15,4	3,5	0,23	12,1	-1,1	12,2	9,2	15,7	22,7	18,2	0,08	0,15	N
Silte	19,8	5,5	0,28	29,9	-0,2	16	5,5	20	30	23,3	0,07	0,15	N
Profundidade 20-40cm													
Areia	64,3	8,3	0,13	68,4	-0,6	57,5	46,8	64,3	85,8	70,8	0,09	0,15	N
Argila	17,3	3,8	0,22	14,3	-0,5	14,2	10,2	17,2	26,2	19,7	0,09	0,15	N
Silte	18,4	5,4	0,29	28,9	0	15	4	18	33	22,1	0,07	0,15	N
Profundidade 40-60cm													
Areia	68,4	9,1	0,13	85,6	0,512	3,76	43,8	68,8	89,3	72,8	0,08	0,15	N
Argila	16	4,1	0,26	17,1	0,2	13,2	7,74	13,2	27,2	18,5	0,1	0,15	N
Silte	15,6	5,6	0,36	31,7	0,29	12,5	3	12,5	31,5	19	0,08	0,15	N

X(%)= Teor médio, S=Desvio padrão, CV=Coefficiente de variação, Var=Variância, Curt=Curtose, Q1=1º quartil, Mín=Mínimo, Med=mediana, Máx=máximo, Q3=3º quartil, EMáx=Erro Máximo, K-S=Teste de Normalidade de Kolgomorov-Smirnov, Dist=Distribuição, N=Distribuição Normal.

Com o auxílio do triângulo de representação da textura descrito por Lemos & Santos (1996) e de acordo com os valores texturais médios observados, o solo em questão foi classificado como textura franco-arenosa. Os coeficientes de variação (CVs) apresentaram valores de média variabilidade, conforme critério definido por Warrick e Nielsen (1980). a mesma classificação foi encontrado por Vieira et al. (2007) para as frações areia, silte e argila, para solos franco-argilo-arenosos cultivados com pastagem de capim braquiária e grama batatais. Outrossim, Lima et al. (2006) encontraram, valores de média variabilidade para as frações argila e silte e baixa para fração areia em solos franco-arenosos cultivados com mamão. Por outro lado, Souza et al. (2004) encontraram valores referentes à granulometria indicando variabilidade baixa para argila, média para silte e areia respectivamente, em Latossolos cultivados com cana-de-açúcar.

Como salientado por Warrick & Nielsen (1980) e Webster (1985), em se tratando de dados naturais, o ajuste a uma distribuição teórica é apenas aproximado. De acordo com Cressie (1991), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, sendo

conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que pode comprometer os resultados. Assim, a partir dos resultados da análise exploratória dos dados, é possível admitir que essas variáveis apresentam distribuições suficientemente simétricas para o estudo geostatístico. Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), ao nível de 5% de probabilidade, aplicado neste trabalho, corroboram que a distribuição dos dados segue a curva normal para todas as variáveis. Outros pesquisadores encontraram distribuição normal para características físicas do solo (MONTENEGRO& MONTENEGRO, 2006; SOUZA et al.; 2004; VIEIRA, 1997).

Na Tabela 9 está mostrado os parâmetros dos semivariogramas ajustados, indicando o grau de variabilidade espacial das propriedades físicas. Na profundidade 0-20 cm, os dados dos atributos areia e silte ajustaram-se ao modelo esférico com R^2 de 0,98 e 0,94 com grau de dependência espacial (GDE) de 0,98 e 0,85 respectivamente. Já o atributo argila ajustou-se ao modelo exponencial, com R^2 de 0,93 e GDE de 0,77, o que segundo Cambardella et al (2004), pode-se considerar como baixa dependência espacial. Já nas profundidades de 20-40 e 40-60 cm, todas os atributos foram ajustados ao modelo esférico, com R^2 muito abaixo em relação a camada superficial, mesmo assim apresentando baixa dependência espacial.

Tabela 9 Parâmetros do semivariogramas dos teores de areia, silte e argila, nas três profundidades. Pesqueira-PE, 2007.

Atributos	Parâmetros do Semivariograma					VC		
	Modelo	Co	Co + C	Range	R^2	GDE	Média	DesvPad.
Profundidade 0-20cm								
Areia	Esférico	2,1	70,47	20,92	0,98	0,98	0	1,2
Argila	Exponencial	3,33	14,75	11,82	0,93	0,77	-0,02	0,76
Silte	Esférico	5,2	34,27	23,04	0,94	0,85	0,01	1,12
Profundidade 20-40cm								
Areia	Esférico	10,3	67,25	5,69	0,36	0,85	-0,01	0,93
Argila	Esférico	2,08	13,77	5,07	0,18	0,85	0,02	0,96
Silte	Esférico	5,76	28,98	4,79	0,3	0,8	-0,01	0,87
Profundidade 40-60cm								
Areia	Esférico	3,6	88,63	6,76	0,61	0,96	0,03	1,08
Argila	Esférico	0,01	18,15	7,11	0,73	1,00	-0,03	1,15
Silte	Esférico	5,92	33,59	6,3	0,51	0,82	-0,02	0,69

Co=Efeito pepita, Co+C=Patamar, Ao=Alcance, R^2 =Coeficiente de Determinação; GDE=Grau de Dependência Espacial; VC=Validação Cruzada; DesvPad=Desvio Padrão.

O modelo que se ajustou com maior frequência aos dados granulométricos foi o esférico, juntamente com o exponencial. Bertolani et al. (2000) afirmam que são esses os modelos que mais se ajustam aos dados de atributos físicos do solo. Nos trabalhos de

variabilidade espacial de características do solo é comum encontrar ajuste dos semivariogramas a estes dois modelos (SOUZA et al., 2004; VIEIRA et al. 2002; SILVA, 2001; QUEIROZ et al., 1999).

Os valores do patamar, atingido quando a variância da diferença entre os pares de dados se torna constante com a distância entre eles, apresentaram grande variabilidade entre os atributos, seguindo em ordem crescente de valores argila, silte e areia. O mesmo acontece com em relação aos alcances, que na camada superficial (0-20cm), foi mais acentuado; o silte apresentou maior valor 23,04m, seguido da areia e da argila 20,92 e 11,82m, respectivamente. Este parâmetro indica a distância até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados em uma área cujo raio seja o alcance, são mais semelhantes entre si, do que os separados por distâncias maiores (LIMA et al., 2006).

Na profundidade de 20-40cm os alcances foram menores em relação à profundidade de 0-20cm, com máximo de 5,69m para o atributo areia e mínimo de 4,79m para atributo silte, esta característica também foi observada na profundidade de 40-60cm, onde o maior alcance foi 7,11m para argila e 6,3 para silte, indicando maior descontinuidade na distribuição espacial das propriedades do solo na camada mais profunda (SOUZA et al, 2004). Isso está de acordo com um importante conceito em gênese do solo, que o maior tempo relativo de exposição dos horizontes superficiais condiciona sua maior taxa de intemperismo (BUOL et al., 1997). Esse fato pode ter contribuído para aumentar o alcance da dependência espacial, caracterizando maior continuidade na distribuição das variáveis na camada mais superficial da área estudada, concordando com estudo de Souza (2001) e Araújo (2002), trabalhando com malhas regulares espaçadas em 50 m. Em outras palavras, a camada superficial apresenta maior suavização em sua variabilidade.

Apesar de alguns atributos apresentarem R^2 baixos, os semivariogramas ajustados foram validados através da metodologia de Jack-knifing (VAUCLIN et al., 1983), produzindo resíduos com médias entre -0,03 e 0,03 e desvios-padrão entre 0,69 e 1,2. Queiroz et al. (1999), relatam que a principal finalidade da modelagem da estrutura da dependência espacial, através do semivariograma, é possibilitar a estimativa por interpolação dos valores da variável, para locais não amostrados e criar mapas de isovalores com maior precisão. As figuras 28a e 28b, 29a até 29d, e 30a até 30c, ilustram o resultado da identificação dos atributos do solo (areia, argila e silte), mediante krigagem, com os respectivos semivariogramas experimentais.

Os mapas com os isovalores dos teores de areia, nas profundidades de 0-20 e 20-40cm, apresentam regiões com maiores valores, acima de 60%, na parte superior esquerda

(X:734145-734170 e Y:9070905-9070930) e diminuindo um pouco da região central para a região direita, em que pode-se observar um incremento nos teores de argila e de silte, em torno de 20%, em pontos da região superior esquerda (X:734180 e Y:9070925) e da região inferior central (X:734170 e Y:9070910:). Na profundidade de 40-60 cm observa-se que os maiores teores de areia, acima de 60%, ocupam quase que toda área, restando regiões isoladas na parte central inferior que apresentam teores de argila pouco acima de 20% (X:734170 e Y:9070910). Contudo os teores de argila e silte não são suficientes para causar variação de classes texturais nas camadas do solo. É importante observar o comportamento do grau de dependência espacial, que reflete tanto a variabilidade na microescala (menor que distância mínima de separação entre os pontos) e as incertezas do método de determinação em laboratório. Verificam-se altos valores de GDE para as camadas 0-20 cm e 40-60 cm, com reduções para a 20-40 cm possivelmente devido à influência de tratos culturais na camada superior, combinado com a ausência de fatores naturais de suavização, tais como chuvas e escoamentos superficiais.

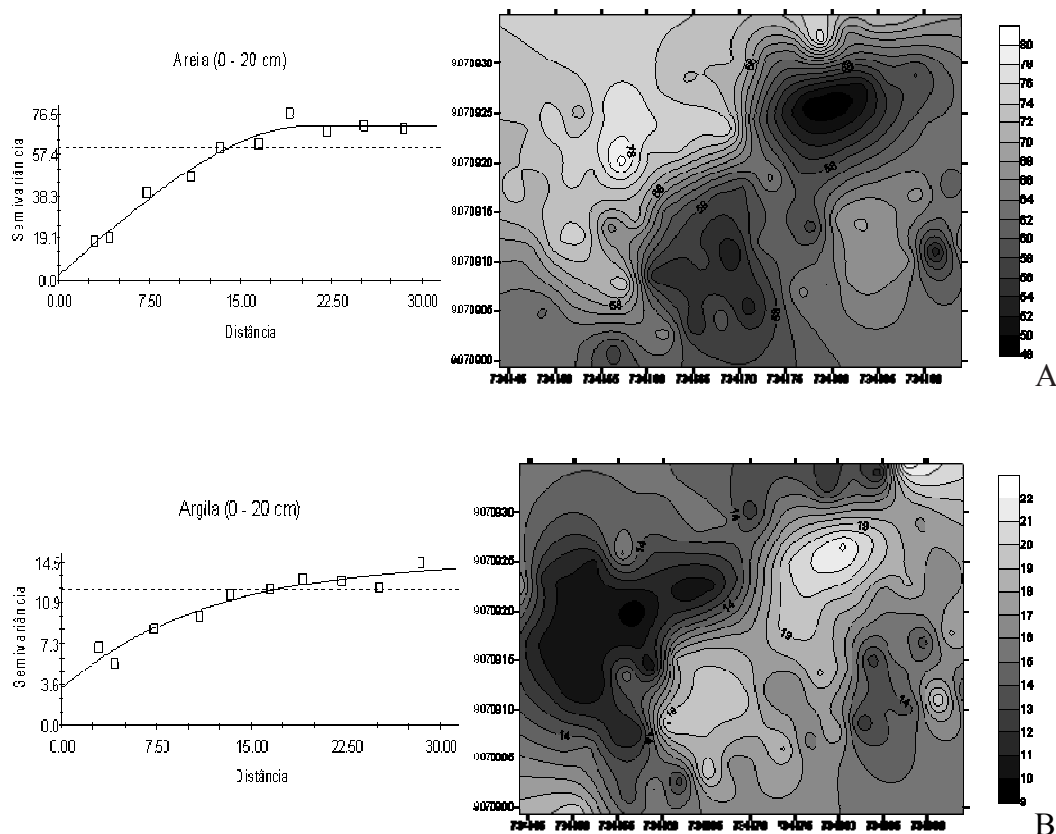


Figura 28. Semivariograma e mapa de isolinhas para os atributos: A. areia na camada de 0-20cm. B. argila na camada de 0-20cm. Pesqueira-PE, 2007

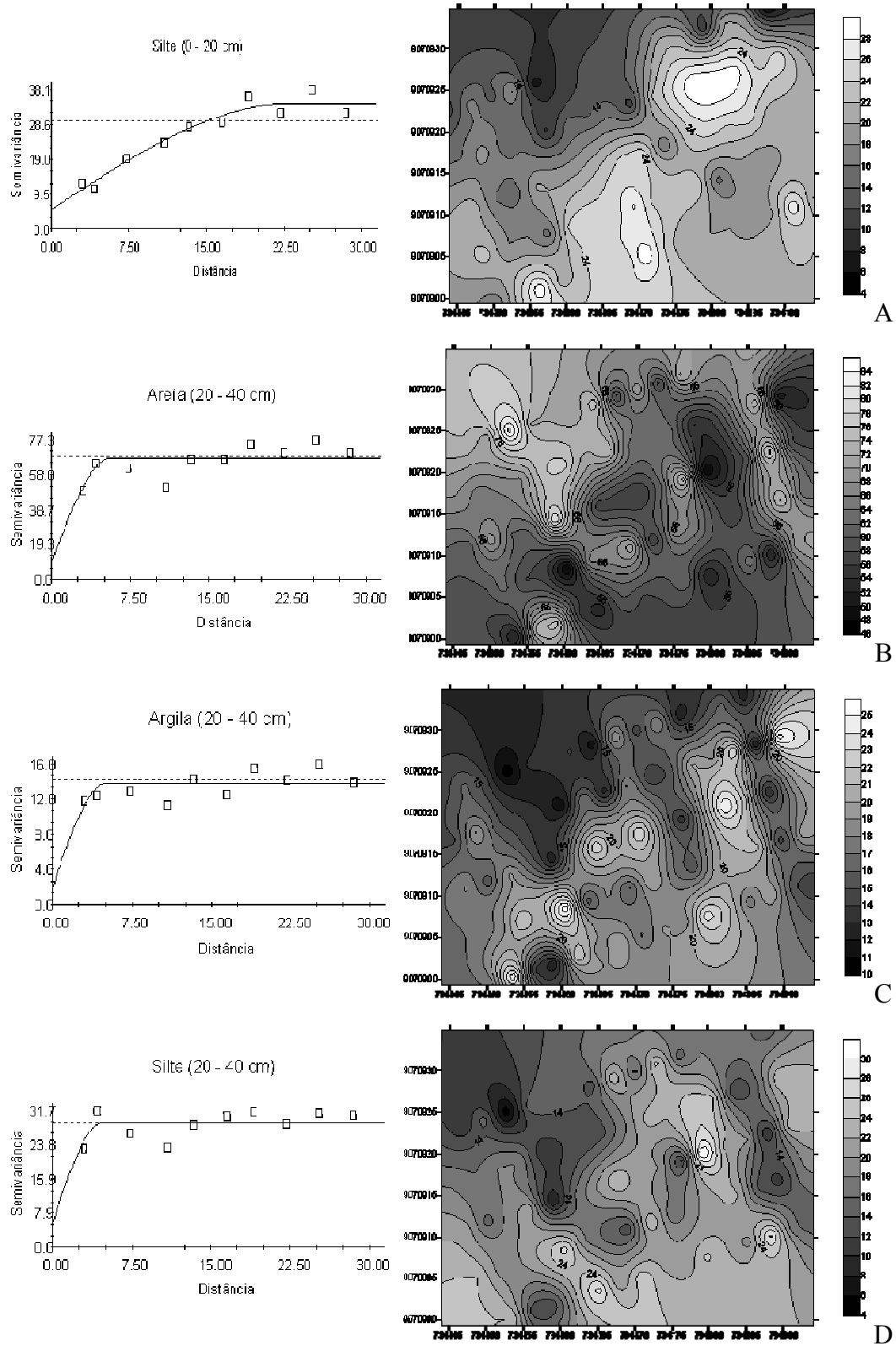


Figura 29. Semivariograma e mapa de isolinhas para os atributos: A. silte na camada de 0-20cm. B. areia na camada de 20-40cm. C. argila na camada de 20-40cm. D. silte na camada de 20-40cm. Pesqueira-PE, 2007

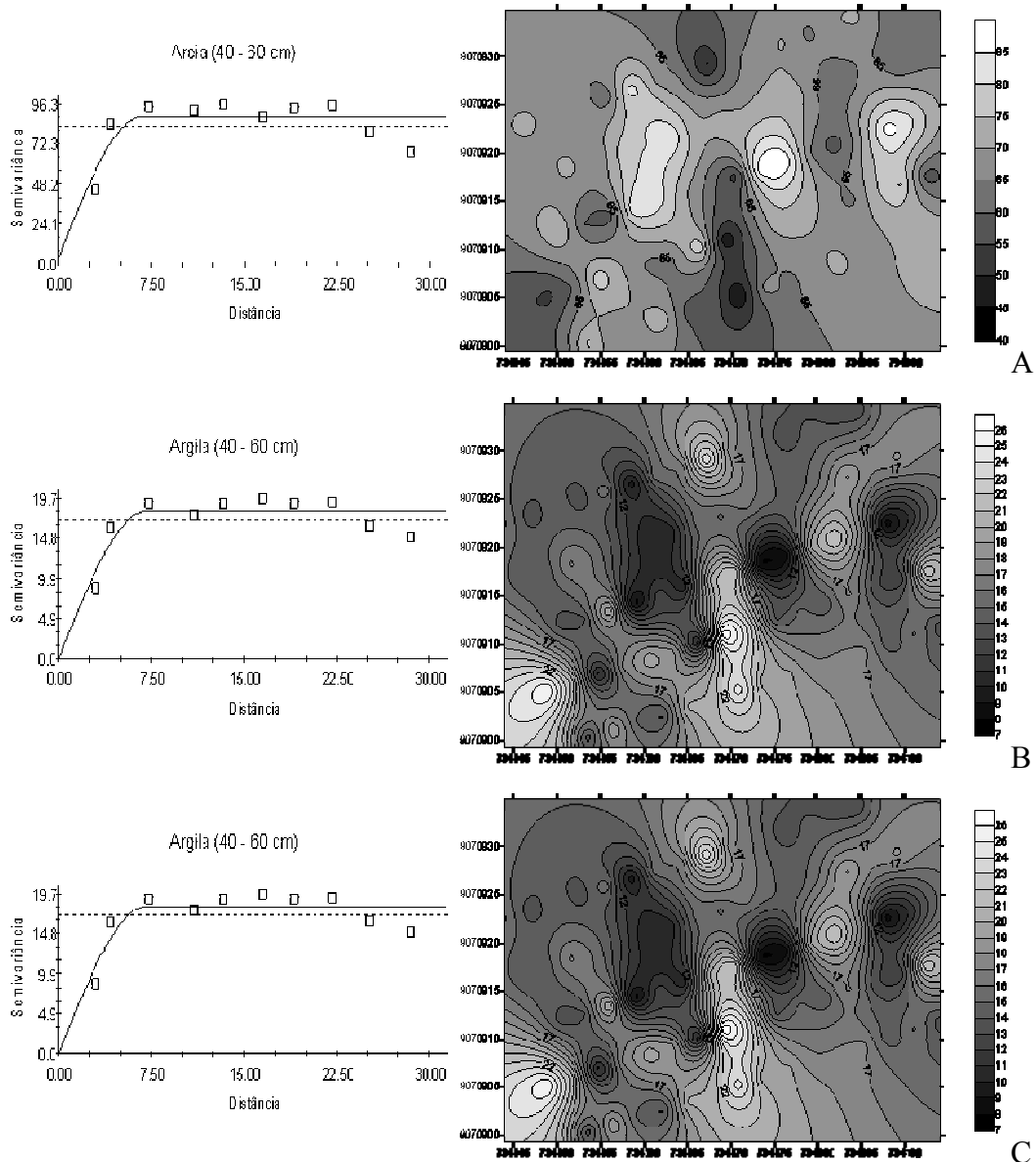


Figura 30. Semivariograma e mapa de isolinhas para os atributos: A. areia na camada de 40-60cm. B. argila na camada de 40-60cm. C. areia na camada de 40-60cm. Pesqueira-PE, 2007

4.4.2. Condutividade elétrica e teor de sódio do extrato de saturação do solo (Na)

A condutividade elétrica média do extrato de saturação (CEes) inicial, antes do período chuvoso, foi igual $1,48 \text{ dS.m}^{-1}$ para a profundidade de 0-20cm e de $0,65 \text{ dS.m}^{-1}$ para a profundidade de 20-40cm. Já a CEes do final da estação chuvosa está representada pela profundidade de 0-40cm, cujo valor médio foi de $0,96 \text{ dS.m}^{-1}$. O período de início e final da estação chuvosa corresponde também ao início e final do ciclo da cultura. (Tabela 10)

Com base nos dados de CEes médios, os quais indicam o nível de sais, pode-se afirmar que nas amostras de solo coletadas não ocorrem problemas devido à presença de sais, ou seja,

os solos nas áreas amostradas são classificados como não salinos apresentaram valores de CEes entre 0–4 dS m⁻¹, segundo Pizarro (1985), citado por Chaves et al., (2005). De acordo com o teste de Kolgomorov-Smirnov, a 5% de probabilidade, as amostras seguem um distribuição normal.

Tabela 10 Estatística clássica da condutividade elétrica média do extrato de saturação (CEes) em dS.m⁻¹ no início da estação chuvosa nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm e no final da estação chuvosa na profundidade de 0-40cm. Pesqueira-PE, 2007.

Atributo	X (dS/m)	S	CV	Var	Curt	Q1	Mín	Med	Máx	Q3	EMáx	K-S	Dist
CEes 0-20	1,48	0,53	0,36	0,28	4,01	1,22	0,59	1,37	3,32	1,59	0,16	0,22	N
CEes 20-40	0,65	0,22	0,34	0,05	1,70	0,51	0,35	0,60	1,30	0,70	0,18	0,22	N
CEes 0-40	0,96	0,35	0,36	0,12	7,15	0,73	0,30	0,90	2,41	1,14	0,11	0,22	N

X=Média, S=Desvio padrão, CV=Coefficiente de variação, Var=Variância, Curt=Curtose, Q1=1ºquartil, Mín=Mínimo, Med=mediana, Máx=máximo, Q3=3ºquartil, EMáx=Erro Máximo, K-S=Teste de Normalidade de Kolgomorov-Smirnov, Dist=Distribuição, N=Distribuição Normal.

Seguindo a classificação de Warrick & Nielsen (1980) verifica-se que CEes referentes às profundidades 0-20; 20-40 e 0-40cm apresentam média variabilidade, com CV entre 34 a 36%. Entretanto pode-se observar alguns pontos com valores quase duas vezes acima da média em todas as profundidades estudadas, atribuindo assim caráter heterogêneo ao solo da área, o que é próprio de solos aluvionais. Esta heterogeneidade pode ser atribuída aos processos de formação inerentes a esses solos, que ocorre pela acumulação e distribuição desuniformes de sucessivos depósitos de materiais oriundos de outros lugares, proporcionados pela posição topográfica que ocupam, além do manejo a que são submetidos, entre outros (SOUZA et al., 2000).

Na Tabela 11 se encontram os parâmetros do semivariogramas experimentais das variáveis analisadas e os modelos ajustados para os casos que apresentaram estrutura de dependência espacial. Na análise de semivariogramas, o modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos dados, segundo critério de Jack-Knifing (VAUCLIN et al., 1983), com média entre -0,23 e 0,04 e desvio padrão variando entre 0,89 e 1,15.

Observa-se também, baixa dependência espacial para todas as profundidades e períodos, segundo critério de Cambardella et al. (1994). O alcance (Ao) que estabelece o limite de dependência espacial entre as amostras, variou de 7,9 a 12,98m. Souza (2006), trabalhando com solos aluviais em um outro lote irrigado, da Fazenda Nossa Senhora do Rosário, cultivado com cenoura, estudou a variabilidade espacial da CEes, em duas profundidades 0-20

e 20-40 cm, antes e depois do ciclo da cultura; obteve Efeito Pepita Puro (EPP), exceto na última profundidade no final do ciclo, com alcance entre 7,95 e 11m. Já Souza et al, (2000), mapeando a CEes de solos aluvionais no semi-árido paraibano, encontrou alcances com valores entre 25 e 40m. Contudo, pode-se dizer que os valores vizinhos de uma variável estão espacialmente correlacionados e podem ser utilizados para estimar valores em qualquer ponto entre eles (REICHARDT, 1985).

Tabela 11 Parâmetros do semivariogramas da condutividade elétrica média do extrato de saturação (CEes) em dS m^{-1} no início da estação chuvosa nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm e no final da estação chuvosa na profundidade de 0-40cm. Pesqueira-PE, 2007.

Atributo	Parâmetros do semivariograma						VC	
	Modelo	Co	Co + C	Ao	R ²	GDE	Média	DesvPad.
CEes 0-20	Esférico	0,04	0,29	11,04	0,36	0,85	0,01	1,03
CEes 20-40	Esférico	0,01	0,05	12,98	0,80	0,80	-0,23	0,89
CEes 0-40	Esférico	0,00	0,12	7,90	0,00	0,99	0,04	1,15

Co=Efeito pepita, Co+C=Patamar, Ao=Alcance, R²=Coeficiente de Determinação; GDE=Grau de Dependência Espacial; VC=Validação Cruzada; DesvPad=Desvio Padrão.

Foram confeccionados mapas de isolinhas da CEes utilizando-se o processo de krigagem (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978), interpolando-se os dados que não apresentam estrutura de dependência espacial. Pela Figura 31a pode-se comprovar um pequeno aumento da salinidade, em três pontos isolados, na profundidade de 0-20cm, sendo um na porção superior direita (X: 734180 e Y: 9070930), um na porção inferior esquerda (X: 734180 e Y: 9070905) e outra na porção central do mapa (X: 734160 e Y: 9070915), o que é evidenciado pela escala de tonalidades apresentada. Verifica-se este fato também na profundidade de 20-40cm (Figura 31b), onde mesmo apresentando CEes baixa ocorreram três pontos com CEes acima da média, um na região direita inferior (X: 734185 e Y: 9070910) e os outros dois na região superior esquerda (X: 734155 e Y: 9070925) e direita respectivamente (X: 734175 e Y: 9070930). Já na profundidade 0-40cm (Figura 31c), que representa o período final das chuvas, apenas uma região na porção central do mapa (X: 734160 e Y: 90706415), mostrou-se com salinidade superior em relação ao restante do mesmo. Este ponto coincide com uma das regiões de maior CEes na profundidade de 0-20cm, que representa período anterior as chuvas, por este motivo ficou evidenciado que houve diluição dos sais após o período chuvoso.

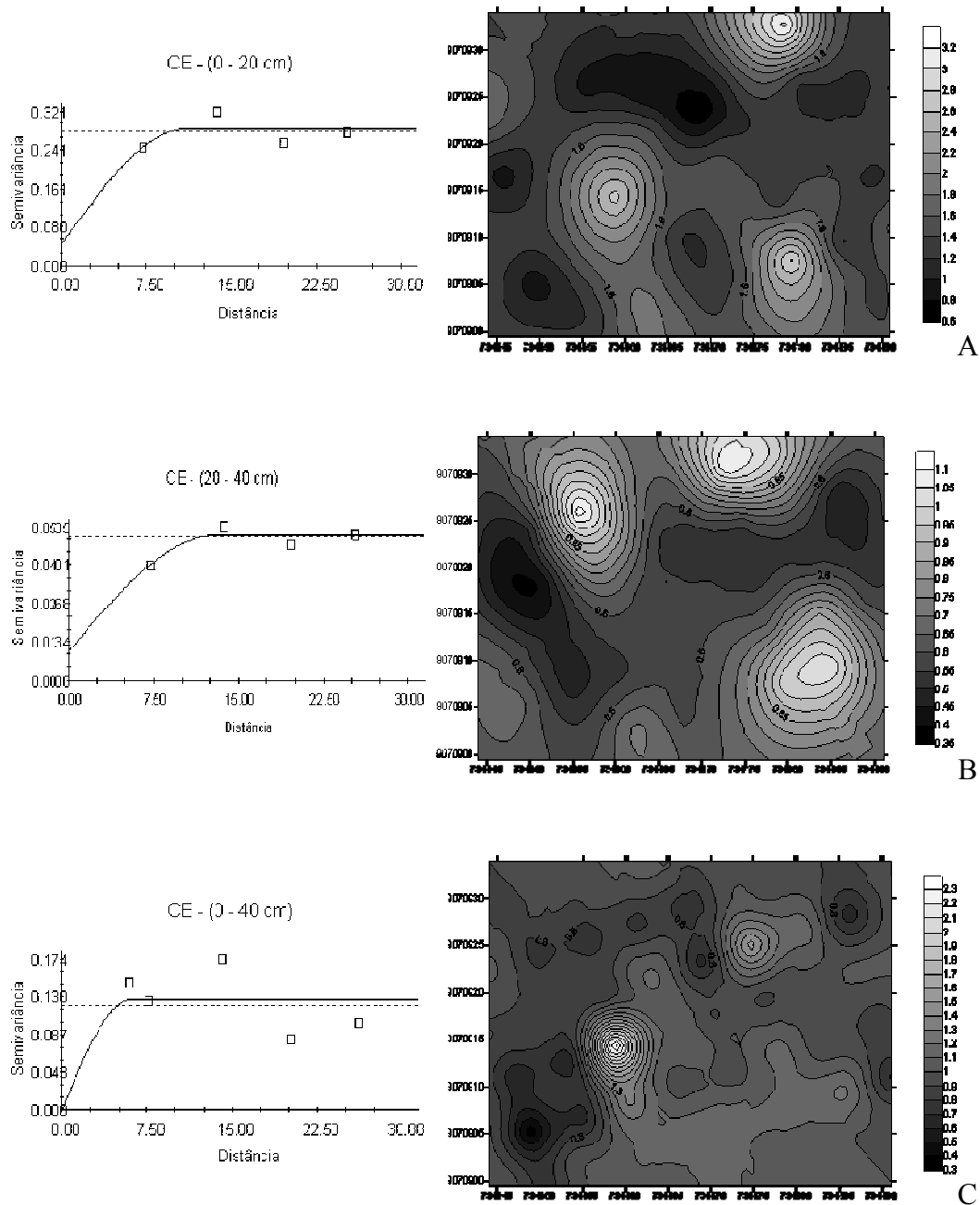


Figura 31. Semivariograma e mapa de isolinhas da CEes. A. na profundidade de 0-20cm. B. na profundidade de 20-40cm. C. na profundidade de 0-40cm. Pesqueira-PE, 2007

Geralmente o teor de Na do solo é expresso em percentual de sódio trocável (PST), ou relação de adsorção de sódio (RAS), que depende dos teores observados de Na e os cátions Cálcio e Magnésio. Entretanto, este trabalho refere-se apenas aos teores de na em mmolc L^{-1} .

A concentração média de Sódio (Na) do extrato de saturação inicial, antes do período chuvoso, foi igual $4,32 \text{ mmolc.L}^{-1}$, para a profundidade de 0-20cm e de $3,24 \text{ mmolc.L}^{-1}$, para a profundidade de 0-40cm. Já a concentração de Na do final da estação chuvosa foi $4,27 \text{ mmolc.L}^{-1}$. Com base nestes resultados pode-se afirmar que os solos nas áreas amostradas são

classificados como não sódicos, segundo Pizarro (1985), citado por Chaves et al. (2005). De acordo com o teste de Kolmogorov-Ismirnov, a 5% de probabilidade as amostras seguem um distribuição Normal (Tabela 12).

Tabela 12 Estatística clássica da concentração de Na (mmolc/L) no início da estação chuvosa nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm e no final da estação chuvosa na profundidade de 0-40cm. Pesqueira-PE, 2007.

Prof.(cm)	X (mmolc/L)	S	CV	Var	Curt	Q1	Min	Med	Máx	Q3	Emáx	K-S	Dist
0-20	4,32	2,35	0,54	5,51	1,83	2,92	1,01	3,80	10,89	4,81	0,08	0,22	N
20-40	3,24	1,07	0,33	1,14	0,82	2,54	1,62	2,95	5,93	3,64	0,06	0,22	N
0-40	4,27	1,11	0,25	1,22	-0,50	3,77	2,05	4,38	6,53	5,41	0,07	0,22	N

X=Média, S=Desvio padrão, CV=Coefficiente de variação, Var=Variância, Curt=Curtose, Q1=1ºquartil, Min=Mínimo, Med=mediana, Máx=máximo, Q3=3ºquartil, EMáx=Erro Máximo, K-S=Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov, Dist=Distribuição, N=Distribuição Normal.

Seguindo a classificação de Warrick & Nielsen (1980) verifica-se que os teores de Na referentes às profundidades 0-20; 20-40 e 0-40cm, apresentam média variabilidade, com CV entre 25 a 54%, diferindo de Chaves et al (2006) que encontraram valores de CV acima de 100% (alta variabilidade) para Na, nos solos do Perímetros Irrigados de São Gonçalo e Arcoverde na Paraíba.

Na Tabela 13 encontram-se os parâmetros do semivariogramas experimentais das variáveis analisadas e os modelos ajustados para os casos que apresentaram estrutura de dependência espacial. Na análise de semivariogramas, o tipo exponencial foi o que melhor se ajustou aos dados na profundidade de 0-20cm, gaussiano para a profundidade de 20-40 e o esférico para final da estação chuvosa (0-40cm), segundo critério de Jack-Knifing (Vauclin et al., 1983), com média entre de -0,012 e 0,003 e desvio padrão variando entre 0,89 e 1,015.

Observa-se também, elevada dependência espacial para profundidade 0-20 cm ($R^2 = 0,868$), com baixo grau de dependência espacial para as demais profundidades e períodos, com R^2 entre 0,023 e 0,042, segundo critério de Cambardella et al. (1994). Apesar de haver uma considerável amplitude nos valores de R^2 , os semivariogramas foram bem ajustados. Os alcances (A_0) variaram de 7,82 a 43,66m. Souza (2006) estudou a variabilidade espacial da PST, em duas profundidades 0-20 e 20-40cm, antes e depois do ciclo da cultura da cenoura, no município de Pesqueira-PE, obteve valores para o alcances entre 7,67 e 33,91m. Já Souza et al (2000), mapeando a PST de solos aluvionais no semi-árido paraibano encontrou Alcances com valores entre 20 e 35m.

Tabela 13 Parâmetros do semivariogramas da concentração de sódio (Na), no início da estação chuvosa nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm, e no final da estação chuvosa na profundidade de 0-40cm. Pesqueira-PE, 2007.

Prof. (cm)	Parâmetros do semivariograma						VC	
	Modelo	Co	Co+C	Ao	R ²	GDE	Média	Desv
0-20	Exponencial	3,28	9,33	43,66	0,86	0,87	0,00	0,89
20-40	Gaussiano	0,06	1,22	7,82	0,04	0,04	-0,01	1,02
0-40	Esférico	0,01	1,34	12,84	0,02	0,04	-0,01	1,01

Co=Efeito pepita, Co+C=Patamar, Ao=Alcance, R²=Coeficiente de Determinação; GDE=Grau de Dependência Espacial; VC=Validação Cruzada; DesvPad=Desvio Padrão.

Pelos mapas de isolinhas da gerados, pode-se comprovar um aumento do teor de sódio, na profundidade de 0-20cm, (Figura 32a), na região a direita no mapa da área compreendida nas coordenadas X: 734175-734190 e Y: 9070930, com valor máximo na ordem de 6,5 mmolc.L⁻¹, evidenciado pela escala de tonalidades apresentada no mapa. Verifica-se este fato também na profundidade de 20-40 cm (Figura 32b), onde mesmo apresentando teores de Na médio baixos em relação a camada anterior ocorrem pontos com valores elevados de Na, sendo dois pontos na região superior (X: 734155-734175 e Y: 9070930-9070925) e outro na região à direita (X: 734185 e Y: 9070915) do mapa. Já na profundidade 0-40 cm (Figura 32c), que representa o período final das chuvas, houve um incremento no teor de Na, na região compreendida nas coordenadas X: 734165-734190 e Y: 9070900-9070915. Isto pode ter ocorrido em função da que houve lixiviação dos sais após o período chuvoso, principalmente Cálcio e Magnésio.