



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



# **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

## **Dissertação de Mestrado**

DIAGNÓSTICO DA NECESSIDADE DE DRENAGEM EM  
SOLO CULTIVADO COM BANANEIRA 'PACOVAN'  
IRRIGADA COM ÁGUAS POLUÍDAS

**BENJAMIM CARVALHO LIMA JÚNIOR**

**Campina Grande  
Paraíba**



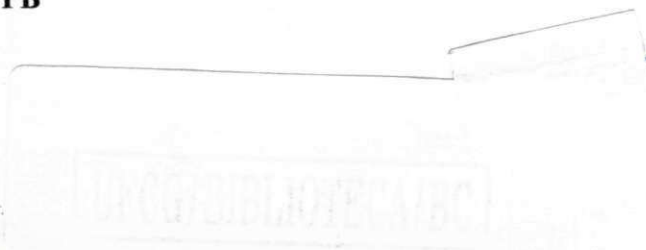
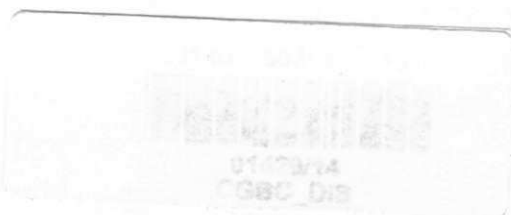
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



**BENJAMIM CARVALHO LIMA JÚNIOR**

**DIAGNÓSTICO DA NECESSIDADE DE DRENAGEM EM SOLO CULTIVADO  
COM BANANEIRA 'PACOVAN' IRRIGADA COM ÁGUAS POLUÍDAS**

Campina Grande, PB  
Maio de 2013



**BENJAMIM CARVALHO LIMA JÚNIOR**

**DIAGNÓSTICO DA NECESSIDADE DE DRENAGEM EM SOLO CULTIVADO  
COM BANANEIRA 'PACOVAN' IRRIGADA COM ÁGUAS POLUÍDAS**



**Dissertação apresentada à Universidade  
Federal de Campina Grande – UFCG,  
como parte das exigências do curso de  
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,  
para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Agrícola.**

**Área de concentração: Engenharia de Irrigação e Drenagem**

**Orientadoras: Prof.ª Dr.ª Maria Sallydelândia Sobral Farias – UFCG/CTRN/UAEAg**

**Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Antunes de Lima – UFCG/CTRN/UAEAg**

**Campina Grande, PB  
Maio de 2013**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCEG

**L732d** Lima Júnior, Benjamim Carvalho.  
Diagnóstico da necessidade de drenagem em solo cultivado com bananeira 'Pacovan' irrigada com águas poluídas / Benjamim Carvalho Lima Júnior. – Campina Grande, 2013.  
76 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2013.

"Orientação: Profa. Dra. Maria Sallydelândia Sobral Farias, Profa. Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima".

Referências.

1. Solos Agrícolas. 2. Reúso de Água. 3. Salinidade. 4. Sodicidade.  
I. Farias, Maria Sallydelândia Sobral. II. Lima, Vera Lúcia Antunes de.  
III. Título.

CDU 631.4 (043)



BENJAMIM CARVALHO LIMA JÚNIOR


PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

DIAGNÓSTICO DA NECESSIDADE DE DRENAGEM EM SOLO CULTIVADO  
COM BANANEIRA 'PACOVAN' IRRIGADA COM ÁGUAS POLUÍDAS

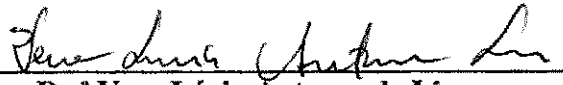
Aprovado em \_\_\_\_\_

Banca Examinadora

Parecer

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Sallydelândia Sobral de Farias  
-Orientadora-

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Dr.<sup>a</sup> Vera Lúcia Antunes de Lima  
- Orientadora-

Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> José Dantas Neto  
-Examinador-

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Dr.<sup>a</sup> Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa Lopes  
-Examinadora-

APROVADO

## **DEDICO**

### **A Deus;**

A meus pais, Maria Luiza Carvalho Cruz e Benjamim Pereira Lima (in memoria) por serem os grandes responsáveis por mais esta conquista, graças a todo o amor, carinho e dedicação de toda uma vida.

## **OFEREÇO**

A meus queridos irmãos Washington, Wilton, Wesley, Luciana e Magnólia, e a minha amada namorada Yanne, que sempre me ajudaram e apoiaram.

## AGRADECIMENTO

A DEUS que, durante todo o período de realização deste trabalho, não deixou que meus ânimos e as minhas esperanças se abalassem pelas dificuldades;

À Universidade Federal de Campina Grande, particularmente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso;

À professora Dr.<sup>a</sup> Maria Sallydelândia Sobral de Farias, pela orientação, paciência e dedicação durante a condução deste trabalho;

A professora Dr.<sup>a</sup> Vera Lúcia Antunes de Lima, pela orientação, apoio, atenção e pela oportunidade de pesquisa;

Ao professor Dr.<sup>o</sup> José Dantas Neto, pela disponibilidade, sugestões e ajuda imprescindíveis para a realização deste trabalho;

A todos os professores da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, pelos preciosos conteúdos ensinados;

Ao CNPq- Centro Nacional de Pesquisas Tecnológicas, pelo apoio financeiro através da bolsa concedida e pelo auxílio financeiro deste trabalho;

Aos amigos: Aaron de Sousa Alves, Arsênio Pessoa de Melo Júnior, Luciano Saboya e Enoque Marinho de Oliveira;

Às amigas do Lacra: Bethânia e Patrícia;

À Sr.<sup>a</sup> Gicélia e seus filhos Ciro e Siddharta pela hospitalidade e amizade;

Ao Sr. Antônio Alves da Silva e ao agrônomo Dr.<sup>o</sup> Wagner Alves, pelo apoio e concessão da área onde foi realizado o experimento;

Aos examinadores: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Sallydelândia Sobral de Farias, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vera Lúcia Antunes de Lima, Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> José Dantas Neto e Dr.<sup>a</sup> Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa Lopes;

Aos colegas de pós-graduação: Aaron de Sousa Alves, Abel Henrique dos Santos Gomes, Antônio Fernandes Monteiro Filho, Arsênio Pessoa de Melo Júnior, Denise de Jesus Lemos Ferreira, Enoque Marinho de Oliveira, Flavio da Silva Costa, George do Nascimento Ribeiro, Jailma Ribeiro de Andrade, José Alberto Calado Wanderley, José Wilson da Silva Barbosa, Lenildo Teixeira Souto Filho, Marcos Ferreira de Mendonça, Pedro Henrique Pinto Ribeiro, Rosinaldo de Sousa Ferreira, Sebastião de Oliveira Maia Júnior, Whéllyson Pereira Araújo, pelo conhecimento compartilhado e amizade;

Enfim, a todos aqueles que contribuíram, direta e indiretamente, para concretização deste trabalho.

**Muito Obrigado!**



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	VI
LISTA DE TABELA .....	VIII
RESUMO .....	IX
ABSTRACT .....	X
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVO GERAL .....	4
2.1 Objetivos específicos.....	4
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1 Drenagem agrícola .....	5
3.2 Parâmetros hidrodinâmicos do solo .....	6
3.2.1 Condutividade hidráulica ( $K_0$ ) .....	6
3.2.2 Porosidade drenável .....	7
3.3 Variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo .....	8
3.4 A água e sua importância .....	10
3.5 Qualidade da água de irrigação.....	12
3.5.1 Diretrizes e classificação da água de irrigação .....	12
3.5.2 Classificação segundo Ayers & Westcot (1999) .....	13
3.5.3 Classificação segundo Richards (1954).....	14
3.6 Salinidade de água de irrigação .....	15
3.7 Salinidade do solo .....	16
3.8 Bananicultura .....	18
4 METODOLOGIA .....	20
4.1 Caracterização geral da área de estudo.....	20
4.2 Aspectos fisiográficos da região de estudo.....	20
4.3 Regime pluviométrico .....	21
4.4 Sistema de irrigação .....	22
4.5 Cultura .....	23
4.6 Riacho Bodocongó.....	24
4.7 Diagnóstico da necessidade de drenagem .....	25
4.7.1 Qualidade da água de irrigação .....	25
4.7.2 Avaliação hidrodinâmica do solo.....	25

4.7.2.1 Monitoramento do lençol freático .....	27
4.7.2.2 Determinação da condutividade hidráulica (K) .....	27
4.7.2.3 Determinação da porosidade drenável ( $\mu$ ) .....	28
4.7.3 Avaliação da salinidade no solo .....	28
4.7.3.1 Sais adicionados ao solo pela água de irrigação .....	29
4.7.3.2 Controle da salinidade .....	30
4.7.4 Análise dos dados de campo .....	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
5.1 Qualidade da água de irrigação .....	32
5.1 Caracterização iônica da água de irrigação .....	33
5.2 Problemas potenciais de infiltração .....	34
5.2 Monitoramento do lençol freático .....	36
5.3 Características físicas do solo .....	36
5.4 Avaliação da salinidade no solo .....	39
5.4.1 Classificação do solo quanto ao risco de degradação por sais .....	40
5.4.2 Quantidade de sais transportado pela água de irrigação presente no solo .....	41
5.5 Qualidade do solo: atributos hidrodinâmicos .....	44
5.6 Variabilidade espacial e temporal da salinidade no solo .....	47
5.6.1 Análise da dependência espacial .....	52
5.6.2 Interpolação por krigagem .....	55
6 CONCLUSÕES .....	59
7 RECOMENDAÇÕES .....	61
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62
APÊNDICES .....	72

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo na Fazenda Ponta da Serra.....	20
Figura 2: Precipitação média mensal.....	22
Figura 3: Detalhe do sistema de irrigação.....	23
Figura 4: Cultivo da área experimental.....	23
Figura 5: Riacho Bodocongó, Fazenda Ponta da Serra.....	24
Figura 6: Distribuição dos poços de monitoramento do lençol freático.....	26
Figura 7: Instalação e material dos poços.....	27
Figura 8: Geometria do método de inverso auger-hole.....	28
Figura 9: Pontos de avaliação das propriedade físico-químicas do solo.....	29
Figura 10: Variação temporal da concentração da $CE_a$ no Riacho Bodocongó.....	32
Figura 11: Classificação iônica da água de irrigação aplicada à cultura da bananeira, conforme as diferentes épocas do ano.....	34
Figura 12: Relação relativa da infiltração provocada pela salinidade e RAS.....	35
Figura 13: Diagrama de classificação de água para irrigação.....	36
Figura 14: Classes texturais do solo.....	37
Figura 15: Classificação solo: (a) período chuvoso e (b) período de escassez de precipitação.....	40
Figura 16: Observação visual da presença de sais no solo da área experimental.....	42
Figura 17: Sais presentes nas touceiras adicionados pela água de irrigação.....	43
Figura 18: Plantio no início (a) e final (b) do experimento.....	44
Figura 19: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) da condutividade hidráulica ( $K_0$ ).....	45
Figura 20: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) da porosidade drenável ( $\mu$ ).....	46
Figura 21: Mapa de contorno e isolinhas dos parâmetros hidrodinâmicos do solo condutividade hidráulica ( $K_0$ ) (a) e porosidade drenável ( $\mu$ ) (b).....	47
Figura 22: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) do pH para o período chuvoso.....	48
Figura 23: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) da $CE_{es}$ para o período chuvoso.....	49

Figura 24: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) da PST para o período chuvoso.....	49
Figura 25: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) do pH para o período de escassez de precipitação .....	50
Figura 26: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) da $CE_{es}$ para o período de escassez de precipitação .....	51
Figura 27: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) da PST para o período de escassez de precipitação .....	51
Figura 28: Semivariograma experimental (a) e modelos ajustados (b) do pH.....	53
Figura 29: Semivariograma experimental (a) e modelos ajustados (b) da $CE_{es}$ .....	53
Figura 30: Semivariograma experimental (a) e modelos ajustados (b) da PST.....	53
Figura 31: Semivariograma experimental (a) e modelos ajustados (b) do pH.....	54
Figura 32: Semivariograma experimental (a) e modelos ajustados (b) da $CE_{es}$ .....	54
Figura 33: Semivariograma experimental (a) e modelos ajustados (b) da PST.....	55
Figura 34: Superfície por Krigagem para a variável pH, (a) período chuvoso e (b) período de escassez de precipitação.....	56
Figura 35: Superfície por Krigagem para a variável $CE_{es}$ , (a) período chuvoso e (b) período de escassez de precipitação.....	57
Figura 36: Superfície por Krigagem para a variável PST, (a) período chuvoso e (b) período de escassez de precipitação.....	58

**LISTA DE TABELA**

Tabela 1: Número de observações por área.....	5
Tabela 2: Diretrizes para interpretar a qualidade de água para irrigação.....	14
Tabela 3: Classificação do solo afetado por sais (Richards, 1954) .....	18
Tabela 4: Parâmetros físico do solo .....	37
Tabela 5: Estatística descritiva dos parâmetros de avaliação da salinidade do solo da área experimental nos períodos chuvoso e de escassez de precipitação.....	39
Tabela 6: Medidas estatísticas dos parâmetros físicos do solo condutividade hidráulica ( $K_0$ ) e porosidade drenável ( $\mu$ ) .....	45
Tabela 7: Medidas estatísticas dos parâmetros que classifica a salinidade do solo para o período chuvoso .....	47
Tabela 8: Medidas estatísticas dos parâmetros que classificam a salinidade do solo para o período escassez de precipitação.....	50
Tabela 9: Estimativa dos parâmetros do modelo teórico ajustados aos semivariogramas experimentais e à relação efeito pepita/patamar para o período chuvoso .....	52
Tabela 10: Estimativa dos parâmetros do modelo teórico ajustado aos semivariogramas experimentais e a relação efeito pepita/patamar para o período de escassez de precipitação .....	54

## **DIAGNÓSTICO DA NECESSIDADE DE DRENAGEM EM SOLO CULTIVADO COM BANANEIRA 'PACOVAN' IRRIGADA COM ÁGUAS POLUÍDAS**

**RESUMO:** No semiárido brasileiro a utilização de água de qualidade inferior em sistemas produtivos irrigados é em muitas situações, a única maneira de garantir a produção agrícola. O reúso planejado de água de qualidade inferior contribui para uma gestão melhor dos recursos hídricos, garantindo a produção agrícola em locais onde este fator de produção é escasso. A pesquisa objetivou identificar a necessidade de drenagem em solo cultivado com bananeira irrigada com água superficial poluída na Fazenda Ponta da Serra, no Município de Queimadas, PB. Para determinação da condutividade hidráulica ( $K_0$ ) e monitoramento do lençol freático, foram instalados seis pontos perfurados entre as linhas de cultivo, com auxílio de trado manual. Para identificar o processo de degradação do solo por sais foram avaliados 32 pontos distribuídos em malha regular (11,0 m x 20,0 m), posicionados nas linhas de cultivo. Duas amostragens de solo foram coletadas para análise físico-química e posterior classificação, realizadas nos meses de fevereiro e novembro de 2012 caracterizados pelos períodos chuvoso e de escassez de precipitação, respectivamente. Na camada de maior concentração radicular da cultura determinou-se o teor de sais adicionados pela água de irrigação. A água utilizada no sistema de irrigação é proveniente do Riacho Bodocongó, do qual foram realizadas amostragem mensais com a finalidade de obter sua classificação, segundo o uso na agricultura. Análises exploratórias foram realizadas através de métodos estatísticos descritiva para os parâmetros hidrodinâmicos do solo. Utilizou-se modelagem geoestatística dos parâmetros de classificação salina do solo ( $pH_{es}$ ,  $CE_{es}$  e PST), e para a variabilidade espacial e temporal foram realizadas através do ajuste de modelos semivariogramas e representados por mapas de contorno e isolinhas, interpolados por krigagem ordinária. Com os resultados observados no estudo, constatou-se que a água do Riacho Bodocongó apresentou alto teor de salinidade sendo classificada, portanto, de uso restrita ou imprópria na agricultura irrigada. O solo se encontra degradado por processo de salinização e sodicidade, ação provocada principalmente pela irrigação com água de qualidade inferior e deficiência na drenagem natural do solo. Para a prática de agricultura irrigada na área experimental recomenda-se o uso da drenagem artificial com manejo adequado da água e solo.

**Palavras-chave:** Solos agrícolas, reúso de água, salinidade, sodicidade

## DIAGNOSIS OF NEED DRAINAGE IN SOIL GROWN WITH BANANA 'PACOVAN' IRRIGATED WITH WATER POLLUTED

**ABSTRACT:** In the Brazilian semiarid region using lower quality water in irrigated production systems is in many cases the only way to ensure agricultural production. The planned reuse of lower quality water contributes to better management of water resources, ensuring agricultural production in places where it is scarce factor of production. The research aimed to identify the need for drainage in soil cultivated with banana irrigated with surface water polluted the Farm Ponta da Serra, in the municipality of Queimadas, PB. To determine the hydraulic conductivity ( $K_0$ ) and groundwater monitoring were installed six points drilled between rows of crops, with the help of auger. To identify the degradation of soil salts were evaluated by 32 points distributed in a regular grid (11,0m x 20,0m) positioned in the lines of cultivation. Two soil samples were collected for physico-chemical analysis and subsequent classification, held in February and November 2012 characterized by rainy and shortage of rainfall, respectively. At the root layer of a higher concentration of the culture was determined by the content of added salts irrigation water. The water used in the irrigation system is derived from the Stream Bodocongó, in which sampling was performed monthly for the purpose of obtaining its classification, according to the use in agriculture. Exploratory analyzes were performed using descriptive statistical methods for the hydrodynamic parameters soil. We used geostatistical modeling of classification parameters saline soil (pH, CE and PST), and the spatial and temporal variability were performed by fitting semivariogram models and represented by contour maps and contours, interpolated by ordinary kriging. With the results observed in the study, it was found that the water in the creek Bodocongó showed high salinity levels being classified thus restricted or improper use in irrigated agriculture. The soil is degraded by salinization process and sodicity, action mainly caused by irrigation with water of lower quality and deficient in natural drainage of the soil. For the practice of irrigated agriculture in the experimental area is recommended the use of artificial drainage with proper management of water and soil.

**Keywords:** Agricultural soils, water reuse, salinity, sodicity

## 1 INTRODUÇÃO

No semiárido brasileiro, em especial nas regiões em que as precipitações pluviométricas são insuficientes para atender às necessidades hídricas das culturas, as explorações agrícolas em condições irrigadas têm-se tornado alternativa economicamente viável ocorrendo, porém, a necessidade de se buscar manejos que minimizem os impactos ambientais consequentes da água de irrigação, em especial os aspectos de degradação do solo e perdas de rendimento das culturas. O uso de água de qualidade inferior promove quase sempre quando conduzido sem planejamento, a deterioração das propriedades físicas e químicas do solo, limitando o potencial produtivo das culturas.

Nas regiões áridas e semiáridas a salinização do solo constitui um sério problema, limitando a produção agrícola e reduzindo a produtividade das culturas. Em condições normais essas regiões apresentam altas temperaturas e baixos índices pluviométricos distribuídos de forma irregular no tempo e no espaço. O manejo inadequado da irrigação, a qualidade da água e as condições de drenagem insuficiente, contribuem para a aceleração do processo de salinização do solo. Portanto, a prática de irrigação deve ser usada de forma racional uma vez que as condições de clima do Nordeste e os elevados teores de sais nas águas de irrigação, têm causado salinização dos solos (FIGUEIRÊDO et al., 2009).

Toda água de irrigação possui quantidades de sais dissolvidos que, se não forem removidas proporcionalmente na mesma quantidade em que estão sendo adicionadas ao solo, os sais podem-se concentrar onde, a partir de determinado nível, começa a ocorrer queda de produção das culturas podendo, em situações limites, chegar até a esterilização do solo (SUGUINO e BARROS, 2010).

A demanda crescente por água tem feito do reúso planejado um tema atual e relevante (Kummer, 2012). Neste contexto, deve-se considerar a reutilização da água como uso racional ou eficiente da água, o qual compreende também o controle de perdas e desperdícios, a redução da produção de efluentes e do consumo de água (ALMEIDA, 2010).

As águas que se destinam à irrigação devem ser avaliadas principalmente sob três critérios básicos: salinidade, no sentido restrito, sodicidade e toxicidade de íons específicos. Portanto, a água de irrigação pode variar significativamente segundo o tipo e a quantidade de sais dissolvidos (AYERS & WESTCOT, 1999).



A salinização do solo pode causar vários efeitos negativos, dentre os quais se destacam: aumento da densidade aparente, redução da infiltração de água pelo excesso de íons sódicos e elevação do potencial osmótico, reduzindo, assim, a disponibilidade de água para as plantas.

As informações sobre áreas salinizadas no Brasil ainda não são bem definidas porém se estima que cerca de 20 a 25 % das áreas irrigadas, principalmente em solos aluviais, apresentam problemas de salinidade e/ou drenagem (MOTA et al., 2012).

A implantação de sistemas de drenagem superficial e subterrânea permite controlar os níveis de salinidade nos perfis dos solos, além de escoar os excessos d'água em velocidades não erosivas e proteger estruturas de irrigação, condição fundamental para impedir a ocorrência de excesso de umidade na zona das raízes e os objetivos se voltam também para o problema de salinização do solo (CRUCIANI, 1940; SUGUINO e BARROS, 2010).

A identificação dos solos com problemas de drenagem se baseia em uma série de observações e estudos da área incluindo a observação de características visuais de campo e a realização de diversas análises, tanto por métodos de laboratório como por métodos de campo, buscando-se obter resposta para um manejo melhor da irrigação.

A variabilidade dos parâmetros de salinidade no solo poderá ser realizada de modo a permitir a identificação de áreas impactadas, tornando possível o planejamento da recuperação e definindo as estratégias de manejo. A descrição quantitativa da variação espacial no solo através da modelagem geoestatística, possibilita a estimativa não tendenciosa e de variância mínima de valores da propriedade em locais não amostrados, permitindo a construção de mapas de valores e também a identificação de esquemas de amostragem eficientes (QUEIROZ et al., 2010).

Os estudos referentes à qualidade das águas superficiais na região Nordeste do Brasil, são importantes pelos seus diversos usos, como: consumo humano, irrigação irrestrita, recreação de contato primário e lavagem de roupas, entre outros (Soares et al., 2000). A Bacia do Riacho Bodocongó se situa na Região Sudoeste do Estado da Paraíba e é contribuinte da Bacia do Médio rio Paraíba; ao atravessar a cidade de Campina Grande, PB, o rio recebe descargas da ETA, efluentes industriais, e impactos difusos do escoamento superficial de áreas agropastoris. Apesar da péssima qualidade das suas águas, o rio é importante e às vezes único, recurso hídrico para a população que habita nas suas proximidades, além de usado de forma múltipla (MAGALHÃES et al., 1999).

A determinação da necessidade de drenagem do solo cultivado com bananeira irrigada com água poluída, proporcionará o manejo adequado água-solo, possibilitando menos danos ambientais. Neste contexto o presente trabalho teve, como objetivo, realizar estudos de campo que identifiquem a necessidade de drenagem do solo cultivado com bananeira 'Pacovan' irrigada com água poluída, na Fazenda Ponta da Serra, situado as margens do Riacho Bodocongó, no Município de Queimadas, PB, como auxílio da estatística descritiva e geoestatística.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Desenvolver estudos de campo que identifiquem a necessidade de drenagem do solo cultivado com bananeira 'Pacovan' irrigada com água poluída, na Fazenda Ponta da Serra no Município de Queimadas, PB.

### **2.1 Objetivos específicos**

- a) Classificar a qualidade da água de irrigação quanto ao uso na agricultura;
- b) Monitorar o nível do lençol freático após evento de irrigação e eventual precipitação;
- c) Determinar a Condutividade Hidráulica e a Porosidade Drenável do solo;
- d) Classificar o solo e quantificar os sais presentes na camada de maior concentração radicular;
- e) Determinar a variabilidade espacial e temporal dos parâmetros que identificam a salinidade no solo;

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Drenagem agrícola

A drenagem agrícola é uma prática que, além de permitir a incorporação de áreas mal drenadas ao processo produtivo, evita que ocorram inundações, encharcamento e salinização de solos. Desta forma, a drenagem interna facilita a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo criando condições favoráveis para o aumento e a melhoria da produtividade/qualidade dos produtos (BATISTA et al., 2002).

No Perímetro Irrigado de São Gonçalo, PB, Farias (1999) verificou, avaliando a profundidade do lençol freático, que aproximadamente 80% da área avaliada se encontrava com o lençol freático próximo à superfície, indicando a necessidade de implantação de um sistema de drenagem na área.

O uso de drenagem artificial é indicado para controlar o nível do lençol freático e possibilitar a lixiviação dos sais trazidos nas águas de irrigação, a fim de criar condições de boa aeração e de controle da salinidade, que favoreçam o crescimento e o desenvolvimento das culturas e preservem as características físicas, químicas e biológicas do solo (BERNARDO, 2009).

Diversos são os métodos de drenagem que têm sido utilizados com sucesso na prevenção da salinização e/ou alcalinização de terras agrícolas. Segundo Macêdo et al. (2007) para solos de textura média, o lençol freático deve ser mantido a uma profundidade mínima de 1,80 a 2,00 m nas áreas irrigadas, nas quais a potencialidade de salinização tenha sido constatada.

A distribuição dos pontos de observação para drenagem deve ter uma densidade tal que permita um levantamento conveniente, com um máximo de informações a um custo reduzido e fácil acesso (RIDDER, 1974 apud CRUCIANI, 1940; LIMA et.al., 2010).

A Tabela 1 apresenta a densidade dos pontos de observação em função da área.

Tabela 1: Número de observações por área

Área (ha)	Nº de Pontos de Observação
100	20
1.000	40
10.000	100
100.000	300

Fonte: CRUCIANI (1940)

## 3.2 Parâmetros hidrodinâmicos do solo

### 3.2.1 Condutividade hidráulica ( $K_0$ )

A condutividade hidráulica é o coeficiente de proporcionalidade da equação de Darcy, que rege o movimento de fluidos nos meios porosos e no solo expressa a facilidade com que a água se transmite no perfil.

A avaliação da condutividade hidráulica em condições de não saturação é de fundamental importância na resolução de problemas práticos ligados ao uso e ao manejo da água visto que a maioria dos processos que envolvem o movimento da água em condições de campo, ocorre quando o solo se encontra não saturado (LACERDA et al., 2005).

A condutividade hidráulica é uma das propriedades mais importantes que influenciam o processo de infiltração da água no solo. Fernandes (2011) a define como sendo a capacidade de um solo em transmitir água através de seus vazios. Para Guerra (2000) a condutividade hidráulica é uma propriedade que depende da interação entre o solo e o fluido, destacando alguns fatores que afetam sua determinação como porosidade total, distribuição do tamanho dos poros do solo e a densidade e viscosidade do fluido.

Diversos ensaios de laboratório e de campo podem ser empregados na determinação do  $K_0$  para condição do solo saturado ou não saturado, com diferentes níveis de precisão, muitos deles aplicáveis apenas em determinadas condições os quais de maneira geral, podem ser agrupados em métodos diretos e indiretos, cada um deles com suas vantagens e desvantagens (QUEIROZ, 1996).

Os métodos de campo podem ser classificados, segundo alguns autores (Beltran, 1986; Cruciani, 1940; Millar, 1988) em: abaixo do lençol freático (método do furo de trado, piezômetro, dois poços, quatro poços, descarga de drenos e descarga de poços profundos) e acima do lençol freático (cilindro infiltrômetro, poço invertido e tubo duplo). Lima et al. (2010) destacam que os métodos de laboratório apresentam o inconveniente de usarem amostras de tamanho reduzido; já os métodos de campo são mais precisos, tendo em vista o maior volume de solo sem alteração da sua estrutura.

Os métodos Auger-Hole ou inverso de Auger-Hole utilizados na determinação da condutividade hidráulica em campo, se destacam por sua simplicidade, rapidez, precisão e grande amostragem de solo natural. Em situações no campo, em que o nível freático, após um rebaixamento acentuado, esteja bastante afastado da superfície do solo; nesses casos, o

método de campo mais recomendado é o denominado Auger-hole inverso ou Porchet (CRUCIANI, 1940; PIZARRO, 1978).

Testes de campo para caracterizar a variabilidade espacial da Condutividade Hidráulica ( $K_0$ ) em solo aluvial, foram estudados por Barreto et al. (2001) na Estação Experimental da Embrapa Algodão, em São Gonçalo, PB. Para tanto, instalaram poços a profundidades entre 1,0 e 1,65 m, obtendo-se como resultado, uma amplitude de variação de  $K_0$  (0,02 a 1,71 m d<sup>-1</sup>) mostrando-se como resultado comum da maioria dos solos aluviais. O autor cita ainda, que a profundidade projetável do sistema drenante se situa na faixa da maioria das áreas irrigadas do Nordeste brasileiro.

A Condutividade Hidráulica do solo é essencial para qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo, seja para estudar a própria dinâmica da água ou para estudar o transporte de elementos químicos, nutrientes e defensivos agrícolas e seus impactos potenciais ao ambiente (HURTADO et al., 2005).

### **3.2.2 Porosidade drenável**

Vários autores (Pizarro, 1978; Beltran, 1986; Millar, 1988) consideram a Porosidade Drenável como um parâmetro constante e equivalente à Macroporosidade do solo podendo ser determinado pela diferença entre os conteúdos de água no solo na saturação e na capacidade de campo, também conhecida como porosidade efetiva; define-se a fração da porosidade total na qual a água se move livremente. Segundo Mello et al. (2002) a porosidade drenável é uma propriedade físico-hídrica do solo, importante para o manejo e estudo de fluxos hidráulicos no solo, sendo imprescindível na modelagem do lençol freático e na drenagem.

A determinação da Porosidade Drenável em campos experimentais de drenagem ou em modelos reduzidos de laboratório, pode ser feita através de medições simultâneas de descarga de drenos ( $q$ ) e cargas hidráulicas ( $h$ ); resultados obtidos em ensaios realizados em campo são mais representativos por envolver a um volume maior de solo nas determinações, o que contribui para a redução da variabilidade espacial dos dados (QUEIROZ, 1997).

### 3.3 Variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo

O mapeamento dos atributos do solo, tais como o pH da solução do solo, CE da solução do solo ou do extrato saturado, entre outros, possibilita identificar áreas com problemas auxiliando no manejo que promova aumento de produtividade, economia e maior eficiência de aplicação dos insumos (Rezende et al., 2012). De acordo com Bergez e Nollet (2003), a produtividade de culturas irrigadas é influenciada pela combinação da variabilidade espacial do solo e da aplicação de fertilizantes e de água.

O ajuste do modelo espacial ao semivariograma experimental é desenvolvido por métodos matemáticos, estimando-se os parâmetros característicos de cada modelo (Barreto et al., 2012). A semivariância é, por definição, dada por:

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

onde:  $\gamma(h)$ : é a semivariância estimada para a distância  $h$ ;  $N(h)$ : representam o número de pares de valores medidos  $Z(x)$  e  $Z(x+h)$ , separadas por um vetor  $h$  e  $Z$  representa os valores medidos para a propriedades do solo.

O gráfico de  $\gamma(h)$  versus  $h$ , representa o semivariograma que permite obter a estimativa do valor de semivariância para as diferentes combinações de pares de pontos e assim analisar o grau de dependência espacial da variável estudada e definir os parâmetros necessários para a estimativa de suas características em locais não amostrados (PELÁ, 2007).

Com a análise do grau de dependência espacial das variáveis pode-se utilizar a classificação de Cambardella et al. (1994), na qual são considerados de forte dependência espacial os semivariogramas que têm efeito pepita < 25% do patamar, moderada quando entre 25 e 75% e de fraca quando >75%.

O grau de dependência (GD) que consiste na razão entre a variância estrutural e o patamar e permite classificar o grau de dependência espacial, este parâmetro pode ser calculado por:

$$GD = \frac{c_0}{c_0 + c_1} \quad \text{Equação 2}$$

onde: GD: Grau de dependência;  $C_0$ : Efeito pepita (representa a variação aleatória do fenômeno estudado);  $C_1$ : Variância estruturada (variância explicada pela componente espacial);  $C_0 + C_1$ : Patamar (variação total do fenômeno avaliado).

A avaliação de variabilidade de atributos do solo é medida pelo coeficiente de variação (CV) e se baseia nos limites propostos por Warrick & Nielsen (1980), que consideram: variabilidade baixa ( $CV < 12\%$ ); média ( $12\% < CV < 60\%$ ) e alta ( $CV > 60\%$ ) (MION et al, 2012).

A média e a mediana são apresentados como medida de tendência central e a variância, o Desvio Padrão e Coeficiente de Variação, para medir a variação dos valores; As informações sobre o formato da curva de distribuição são analisadas pelas medidas de Curtose e Assimetria; A assimetria mede o grau de afastamento da média em relação à Moda e à Mediana na distribuição normal seus valores coincidem; A Curtose mede o grau de achatamento da curva (LANDIM, 2003).

A comparação dos valores da Média, Mediana e Moda, segundo Moraes (1993) é uma das maneiras de se verificar a assimetria de uma distribuição, caso não coincidam, pode ser um indicativo de não normalidade, a rigor só teria sentido verificar a Curtose para a distribuição se a simetria já estiver satisfeita.

O Histograma e a curva de Distribuição Acumulada Normal permitem verificar, visualmente, quanto os dados se aproximam de uma distribuição normal e a presença de valores anômalos. Para curvas normais, os valores de Assimetria devem estar em torno de 0 e para Curtose em torno de 3 (LANDIM, 2003).

Na maioria das vezes o interesse da análise geoestatística não se limita à obtenção de um modelo de dependência espacial, desejando-se também prever valores não amostrados que podem ser um ou mais pontos específicos da área ou obter uma malha de pontos interpolados que permitam visualizar o comportamento da variável na região, através de um mapa de isolinhas ou de superfície. Para se obter este maior detalhamento da área em estudo, é conveniente a aplicação de um método de interpolação, como a krigagem (LANDIM & STURARO, 2002).

Camargo (1997) realizou um trabalho com o objetivo de desenvolver, implementar e testar um Módulo de Procedimentos Geoestatísticos para o Sistema SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas); a base conceitual deste Módulo está fundamentada em técnicas de krigagem. O Módulo foi testado em um estudo de caso em



que, a partir de amostras de solos foram feitas interpolações por krigeagem para se obter imagens contínuas da variação do teor de argila nos solos da Fazenda Canchim, em São Carlos, SP; resultados obtidos foram expressivos e revelaram a boa adequação das técnicas de krigeagem no estudo em questão.

O programa SPRING permite a modelagem geoestatística por possuir vários recursos, como: Trata de dados temáticos (fenômenos quantitativos), Mapas numéricos (superfícies), Imagens de qualquer sensor, Mapas cadastrais (objetos com atributos na forma de linhas, pontos ou polígonos) e Mapas de redes (objetos na forma de nós e linhas orientadas) (SANTOS, et al. 2010).

Como em outros programas no SPRING, as etapas seguintes devem ser realizadas: a) Análise Exploratória; b) Geração do Semivariograma; c) Ajuste do Semivariograma; d) Validação do Modelo de Ajuste; e) Krigagem.

Um método de se encontrar a melhor estrutura de um modelo matemático para a representação de um sistema dinâmico, pode se dar por meio da estimação de parâmetros para todas as possíveis estruturas e a consequente escolha, com base na comparação de índices de desempenho (VENDRUSCULO, 2003).

O SPRING fornece uma medida quantitativa, denominada critério de informação de Akaike, que atribui para qual modelo o ajuste é mais preciso a partir do menor valor observado (Lopes, 2003). Critério de informação de Akaike (AIC), descrito em Akaike (1974) como um procedimento para identificação de modelo estatístico.

### **3.4 A água e sua importância**

A maior parte da água de nosso planeta 97,5% está presente nos oceanos e mares, na forma de água salgada. Os 2,5% restantes que perfazem o total de água doce existente, 2/3 estão armazenados nas geleiras e calotas polares; somente 0,77% se encontram aptos para nosso consumo, sendo encontrada na forma de rios, lagos, água subterrânea, incluindo ainda a água presente no solo, na atmosfera (umidade) e na biota (TUNDISI, 2003).

No mundo, uma área de cerca de 1,532 bilhão de hectares está em produção agrícola, dos quais cerca de 278 milhões de solos sob o domínio de infraestrutura hídrica de irrigação. A área de 18% sob cultivo irrigado produz cerca de 44% da produção total agrícola, enquanto a agricultura de sequeiro responde pelo restante (CHRISTOFIDIS, 2006).

No Brasil há uma grande disponibilidade hídrica, segundo estimativa realizada pela Agência Nacional de Águas (ANA) das demandas por tipo de uso, sendo 2010 o ano base, a maior vazão de retirada foi para fins de irrigação, correspondendo a 72% da demanda, seguida de dessedentação animal (11%), abastecimento urbano (9%), abastecimento industrial (7%) e abastecimento rural (1%) (ANA, 2012).

No semiárido brasileiro o manejo inadequado da irrigação pode ocasionar diversos problemas com: a degradação do solo, pela adição de sais solúveis; perda de rendimento das culturas, conseqüentemente, redução financeira da cadeia produtiva.

O manejo racional da irrigação envolve, para Holanda et al. (2010) tanto a economia de água como os aspectos qualitativos para a prevenção dos problemas causados por sais e deve estar associado aos demais fatores de produção, em níveis ideais, de modo a maximizar os rendimentos agrícolas.

Para Christofidis (2006) um dos maiores desafios, entretanto, é a necessidade de se aperfeiçoar a eficiência no manejo da irrigação, da drenagem agrícola e práticas conservacionista na agricultura tradicional de sequeiro, conscientização de toda a sociedade na otimização dos recursos hídricos, conjuntamente com ciência e a tecnologia, além da formação técnica, otimização dos equipamentos e dos tradicionais instrumentos de gestão da água.

No estado da Paraíba águas superficiais e subterrâneas apresentam restrições de qualidade para os diferentes usos, de acordo com o predomínio das características de dureza e de salinidade. Na sua maioria, são águas com algumas restrições para consumo humano e fortes restrições para uso industrial e irrigação. As restrições de uso para irrigação são graves, os problemas mais comuns são a salinidade, velocidade de infiltração no solo, a toxicidade, o excesso de nutrientes e a corrosão dos equipamentos de irrigação. Outros problemas de qualidade se associam à eutrofização devido às descargas de esgotos domésticos e de fertilizantes de áreas agrícolas (PERH-PB, 2006)

A implantação de sistemas de reúso e reciclagem de água, de acordo com Barroso e Wolff (2011) implica em significativos benefícios ambientais, desde que possua viabilidade técnica e econômica, seja por aumentar a oferta de água potável e disponível nos mananciais ou por aumentar os níveis de tratamento dos efluentes líquidos, diminuindo os lançamentos nos corpos d'água.

A utilização de águas de qualidade inferior surge como alternativa para suprir a alta demanda hídrica em relação à baixa oferta, desde que se tenham os conhecimentos dos

principais atributos que possam interferir na qualidade da água destinada à irrigação, além do grau de perigo à saúde e ao meio ambiente (UCKER et al., 2013).

### **3.5 Qualidade da água de irrigação**

O desenvolvimento agrícola depende da disponibilidade de água, tanto em quantidade quanto em qualidade, além do seu uso adequado, visando aumentar a produtividade e reduzir os impactos ambientais negativos (Ramalho Neto et al., 2012). Para evitar o surgimento de problemas relacionados à qualidade da água na irrigação, teve-se estabelecer a potencialidade da água em causar condições no solo que possam limitar seu uso, e a necessidade de empregar técnicas de manejo especiais para manter produtividade aceitável às culturas (AYERS & WESTCOT, 1999).

Efeitos dos tipos de água sobre os vegetais leva-se em consideração sua composição físico-química, mas também as características fisiológicas das culturas, sua tolerância à salinidade, seu ciclo de produção, as propriedades físicas do solo com a permeabilidade, porosidade, textura e a composição mineral (FEITOSA e MANOEL FILHO, 1997).

A interpretação correta da qualidade da água para irrigação, os parâmetros analisados devem estar relacionados com seus efeitos no solo, na cultura e no manejo da irrigação, necessários para controlar ou compensar os problemas relacionados à qualidade da água (BERNARDO et al., 2009; SILVA, 2011).

Diagnosticar distúrbios relacionados à qualidade da água de irrigação com a salinidade, varia em tipo e intensidade no tempo e espaço e depende das inter-relações entre solo-água-planta-atmosfera e manejo da irrigação. Quanto ao aspecto da qualidade da água, é definido em função dos critérios de salinidade, sodicidade, toxicidade e outros. (BERNARDO, 2009; AYERS & WESTCOT, 1999).

#### **3.5.1 Diretrizes e classificação da água de irrigação**

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/97 se fundamenta, quanto ao capítulo I, no fato de que a água, embora reconhecida como recurso natural renovável, seja também um recurso de domínio público e sua gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas. No capítulo II, objetiva

assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. No capítulo IV, como instrumento de gestão o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo usos preponderantes da água (BRASIL, 1997).

A resolução n.º 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água naturais do território brasileiro e dá diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Os corpos de água são classificados em três categorias: Água Doce (salinidade < 0,5%), com cinco classes; Salinas (salinidade superior a 30%), três classes e Salobras (salinidade entre 0,5 e 30%), quatro classes (CONAMA, 2005).

Os problemas do solo e das culturas decorrentes da deposição de sais adicionada pela água de irrigação se agravam à medida em que o conteúdo total de sais aumenta, o que requer o uso de práticas especiais de manejo para manter rendimentos aceitáveis, a qualidade da água e/ou sua adaptabilidade à irrigação se determina, também, pela gravidade dos problemas que podem surgir depois do uso a longo prazo (AYERS & WESTCOT, 1999).

A avaliação da água para irrigação se fundamenta na identificação das propriedades físico-química e de prováveis problemas relativos ao risco de salinização dos solos, de infiltração e de toxicidade de íons, indicando se a água pode ou não ser utilizada para irrigação (Lobato et al. 2008). Segundo Gomes e Filizola (2006), os principais indicadores de qualidade de água de irrigação, do ponto de vista agrônomo, são: pH, RAS,  $CE_{es}$  e Sais Solúveis Totais no solo (também expresso em Totais de Sólidos Dissolvidos (TSD)).

### **3.5.2 Classificação segundo Ayers & Westcot (1999)**

A classificação proposta por Ayers & Westcot (1999) avalia os efeitos da qualidade de água de irrigação relacionados à Salinidade, Infiltração, Toxicidade de íons específicos e a Outros Problemas que reduzem o rendimento das culturas.

Com base nos problemas provocados, a Tabela 2 serve como diretriz para a interpretação da qualidade da água para irrigação, limitando-se exclusivamente aos resultados analíticos da composição química, delimitando três graus de restrição de uso: Nenhuma Restrição, Ligeira a Moderada Restrição e Restrição Severa. As diretrizes para

avaliar a qualidade da água de irrigação, se refere aos efeitos a longo prazo da qualidade da água sobre a produção das culturas, nas condições de solo e manejo agrícola (AYERS & WESTCOT, 1999; ALMEIDA, 2010).

Tabela 2: Diretrizes para interpretar a qualidade de água para irrigação

Problema Potencial	Unidades	Grau de Restrição para Uso		
		Nenhuma	Ligeira e Moderada	Severa
<b>Salinidade</b>				
CE <sub>a</sub>	dS m <sup>-1</sup>	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
SDT	mg L <sup>-1</sup>	< 450	450 - 2000	> 2000
<b>Infiltração</b>				
RAS = 0 - 3 e CE <sub>a</sub> =		> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
= 3 - 6 =		> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
= 6 - 12 =		> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
= 12 - 20 =		> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
= 20 - 40 =		> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
<b>Toxicidade de Íons Específicos</b>				
Sódio (Na)				
Irrigação por superfície	RAS	< 3	3 - 9	> 9
Irrigação por aspersão	meq L <sup>-1</sup>	< 3	> 3	
Cloreto (Cl)				
Irrigação por superfície	meq L <sup>-1</sup>	< 4	4,0 - 10	> 10
Irrigação por aspersão	meq L <sup>-1</sup>	< 3	> 3	
Boro (B)	meq L <sup>-1</sup>	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
<b>Outros</b>				
Nitrogênio (NO <sub>3</sub> -N)	mg L <sup>-1</sup>	< 5,0	5,0 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	meq L <sup>-1</sup>	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
pH		Faixa normal: 6,5 - 8,4		

Fonte: AYERS e WESTCOT (1999)

### 3.5.3 Classificação segundo Richards (1954)

Ao classificar uma água para irrigação, Richards (1954) supõe que será usada sob condições médias com respeito à textura do solo, velocidade de infiltração, drenagem, quantidade de água usada, clima e, finalmente, à tolerância dos cultivos aos sais (CORDEIRO, 2001).

A avaliação qualitativa da água de irrigação é divididas em quatro classes de salinidade (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>), à medida em que aumenta a concentração de sais e conseqüentemente sua condutividade elétrica. Para problemas relacionados às condições do solo são classificados em quatro classes (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> e S<sub>4</sub>), segundo sua sodicidade baseada principalmente no efeito que tem o sódio trocável sobre a condição física do solo.

A combinação desses dois índices, CE e RAS, permite estabelecer diferentes tipos de água, ficando identificada cada uma pela inicial de cada um dos índices e subíndices numéricos. À medida que aumentam o valor dos subíndices, diminui a qualidade da água de irrigação (ALMEIDA, 2010).

### 3.6 Salinidade de água de irrigação

Problemas de Salinidade ocorrem quando concentrações de sais presentes na zona radículas das culturas, ocasionam perdas na produção (Ayers & Westcot, 1999). Para Almeida (2010) a Salinidade é o resultado da acumulação de sais na dissolução do solo aumentando o potencial osmótico, o que impede ou dificulta a captação de água por parte da planta e ainda origina alterações na absorção não seletiva de nutrientes, sendo o principal causador a água de irrigação.

A Condutividade Elétrica da água de irrigação ( $CE_a$ ) é o parâmetro mais utilizado para expressar a concentração de sais solúveis na água, expressa pela unidade do Sistema Internacional (SI) em deciSiemens por metro ( $dS\ m^{-1}$ ); outra forma de exprimir a salinidade de uma água é mediante a quantidade Total de Sais Dissolvidos (TSD) no solo, que também pode ser utilizada para expressar a concentração de sais solúveis, porém a CE é preferível (HOLANDA et al., 2010).

A adição de sais ao solo pela irrigação e o efeito das chuvas na sua lixiviação, foram estudados por Lopes et al. (2011) no Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará; os resultados mostraram concentrações de sais maiores na área irrigada que na mata nativa e os íons  $K^+$  e  $Na^+$  apresentaram maior incremento no solo pela adição da água de irrigação, cujo o impacto da irrigação se mostrou significativo.

Os fatores da qualidade da água que podem influenciar na infiltração, são os teores totais de sais e o teor de sódio em relação aos teores de cálcio e magnésio. A alta salinidade aumenta a velocidade de infiltração, enquanto baixa salinidade ou alta proporção de sódio em relação ao cálcio, a diminuição (AYERS & WESTCOT, 1999).

Para avaliar o perigo de sodificação pelo uso da água de irrigação utiliza-se um índice denominado Relação de Adsorção de Sódio (RAS). Suarez (1981) apud (Ayers & Westcot, 1999; Almeida, 2010; Holanda, 2010) propôs o índice  $RAS^\circ$  (Razão de Adsorção de Sódio Corrigido), em substituição à RAS tradicional, através da introdução do termo  $Ca^\circ$  (concentração de cálcio corrigida), que é o teor de cálcio da água corrigido pela

salinidade da água de irrigação ( $CE_{ai}$ ) para o teor de bicarbonato em relação ao seu próprio teor de cálcio ( $HCO_3/Ca$ ) e pela pressão parcial do dióxido de carbono ( $CO_2$ ).

A  $RAS^0$  se expressa pela seguinte equação:

$$RAS^0 = \frac{Na^+}{\left( \sqrt{\frac{Ca^0 + Mg^{2+}}{2}} \right)^{0,5}} \quad \text{Equação 3}$$

onde:  $RAS^0$ : Razão de adsorção de sódio corrigido;  $Na^+$ : concentração de sódio;  $Ca^0$ : concentração de cálcio corrigido;  $Mg^{2+}$ : concentração de magnésio.

### 3.7 Salinidade do solo

Segundo Richards (1954) a classificação do solo se baseia nos efeitos da salinidade na fisiologia das culturas e, sódio trocável nas propriedades do solo, que são expressos em termos de  $CE_{es}$  e PST, classificando o solo em três categorias “Salino”, “Salino-Sódico” e “Sódico” e, como medida para avaliar o perigo de salinização do solo, a  $RAS$  (DIAS et al., 2003).

Algumas propriedades físico-químicas do solo sofrem alterações devido ao manejo nele empregado, o qual, em grande parte, produz as principais modificações na estrutura dos solos, que podem ser verificadas através do monitoramento das modificações estruturais impostas ao solo, por questão de seu cultivo (FERREIRA, 2008).

Problemas de salinidade do solo estão associados à água de irrigação; Silva (2011) destaca que a finalidade mais importante do controle da salinidade é manter o rendimento da cultura em níveis aceitáveis.

Na identificação de solos afetados por sais é importante conhecer a percentagem que o sódio representa em relação à soma de cátions adsorvido, Porcentagem de Sódio Trocável (PST) (DIAS et al., 2003).

$$PST = \frac{Na_t}{CTC} * 100 \quad \text{Equação 4}$$

onde:  $Na^+$  : Sódio Trocável, em  $cmol_c.dm^3$ ; CTC: Capacidade de Troca de Cátions em  $cmol_c.dm^3$ .

O parâmetro que melhor se correlaciona com a PST do solo, é a RAS, pois ambos tratam da mesma espécie de cátions (HOLANADA, 2010). Conhecendo a RAS, é possível estimar a PST do solo de forma indireta, na ausência dos resultados do complexo sortivo (DIAS et al., 2003).

$$PST = \frac{100 * (0,01475 * RAS)}{1 + (0,01475 * RAS)} \quad \text{Equação 5}$$

Varias alternativas podem ser empregadas no controle da salinidade, como: Manejo da águas (misturas e/ou substituição, uso adequado de quando a água é de qualidade inferior); Drenagem em sistemas agrícolas; Métodos de irrigação; Lâmina de lixiviação; Escolha de genótipos adaptados a determinados níveis de salinidade; Tratos culturais; Fertilidade do solo e outros. Os métodos podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto, dependendo da viabilidade econômica.

Os sais solúveis do solo são constituídos principalmente dos cátions  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  e dos ânions  $Cl^-$  e  $SO_4^{2-}$ ; o cátion  $K$  e os ânions  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$  e  $NO_3^-$  se encontram, geralmente, em quantidades menores (Richards, 1954). Devido ao seu efeito sobre a permeabilidade do solo e sobre a nutrição e toxicidade das plantas, a sodicidade é utilizada na classificação da água de irrigação (Almeida, 2010). Barreto et al. (2012) acrescentam que o pH é um importante indicador das condições químicas do solo, por possuir capacidade de interferir na disposição de vários elementos químicos, essenciais ao desenvolvimento vegetal e à CE, como indicador da salinidade no solo.

A agricultura irrigada é uma excelente opção para o crescimento da produção de alimentos, principalmente quando a disponibilidade hídricas são escassa, porém, se utilizada de forma inadequada, pode proporcionar danos ao solo e perda de rendimento até o extremo do abandono da área.

Silva Neto et al. (2012) analisaram a degradação dos recursos naturais e os impactos gerados pelo manejo inadequado do solo, no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, PB, a baixa eficiência do processo de manejo do sistema de irrigação utilizado no perímetro, vem fazendo com que ocorra salinização do solo de forma acelerada, comprometendo, de forma significativa a área.

A salinidade e a sodicidade do solo são expressas, comumente, pela condutividade elétrica (CE), percentual de sódio trocável (PST) e pH, segundo classificação de solos sódicos e salinos, elaborada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (Richards,



1954) (Tabela 3). Lima Junior e Silva (2010) destacam a importância e a necessidade de desenvolvimento de pesquisas regionalizadas sobre a salinidade dos solos para melhor compreensão das bases genéticas, bioquímicas e fisiológicas da tolerância dos sais.

Tabela 3: Classificação do solo afetado por sais (Richards, 1954)

Classificação	CE <sub>es</sub> (dS.m <sup>-1</sup> )	PST (%)	pH <sub>ps</sub>
Solo sem problema de sais	< 4	< 15	< 8,5
Solo Salino	> 4	< 15	< 8,5
Solo Salino-Sódico	> 4	> 15	> 8,5
Solo Sódico	< 4	> 15	> 8,5

Fonte: DIAS et al., 2003

Efeitos da irrigação localizada na granulometria e em atributos químicos de um Neossolo cultivado com coqueiro anão, foram estudados por Xavier et al. (2012), ao observarem que a irrigação favoreceu o acúmulo de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e o P nas proximidades dos emissores e Na<sup>+</sup> em profundidade, favorecendo risco potencial de salinização sugerindo o manejo da irrigação considerando os tipos de emissor, mas especialmente a qualidade da água de irrigação e as características físicas e químicas do solo.

### 3.8 Bananicultura

A bananeira (*Musa spp*) está entre as culturas agrícolas mais importantes nas regiões tropicais e subtropicais do mundo abrangendo mais de 115 países (S. Junior, et al., 2012). Segundo dados do IBGE (2012) a região nordeste é a maior produtora (39,1%), seguida das regiões sudeste (31,7%), sul (13,5%), norte (11,8%) e centro-oeste (3,5%), em uma área estimada de 514.366 ha. Dentre as frutíferas a banana ocupa a segunda posição na produção mundial (FAO/STAT, 2012).

A cultivar Pacovan uma triploide, pertencente ao grupo genômico AAB, é uma mutação da Prata; apresenta bom potencial de produtividade sob irrigação, possível de atingir 35 a 40 t/ha/ciclo em cultivos bem conduzidos (Alves, 1999). O crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da bananeira, variam com o solo, clima, nível de manejo e genótipo (Marques et al., 2011). As raízes com maior diâmetro tenderam a se concentrar próximo ao pseudocaule da planta com profundidades inferiores a 0,40 m da superfície do solo (SANT'ANA et. al, 2012).

A concentração de sais de um solo depende da qualidade da água utilizada na irrigação, de uma drenagem natural ou artificial, do nível do lençol freático, e da concentração da salinidade inicial no solo (BERNARDO, 2009).

Em solos de regiões com deficiências hídricas, onde ocorre salinização tanto pela ascensão do lençol freático quanto pela natureza e composição do material de origem, podem ocorrer o acúmulo de sais prejudiciais ao crescimento das bananeiras. A bananeira é mais sensível ao sódio que o cloro (SILVA e BORGES, 2008).

S. Junior et.al. (2012) estudaram dez genótipos diploides de bananeira (*Musa spp*) quanto sua tolerância à salinidade; no estudo observaram que a maioria dos genótipos obtiveram reduções em seu desenvolvimento. Segundo Borges e Sousa (2004) para um ótimo desenvolvimento vegetativo, com a consequência otimização de produtividade, a bananeira requer valores de condutividade elétrica ( $CE_{cs}$ ) da água de irrigação não superior a  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  e Razão de Adsorção de Sódio (RAS) deve ser inferior ou igual a 10,0,

A bananicultura irrigada vem sendo usada com frequência na área de estudo, com água de qualidade inferior, proveniente do Riacho Bodocongó. Segundo Soares et al. (2000) o Riacho Bodocongó apresentava, originalmente, um regime intermitente, porém é perenizado no trecho após a cidade de Campina Grande, PB, consequente das descargas dos esgotos “in natura” e do efluente da Estação de Tratamento de Esgotos-ETE. O uso deste recurso hídrico na irrigação sem o manejo adequado pode ocasionar danos à própria cultura, como redução na produtividade e também favorece a degradação do solo pela adição de sais solúveis.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Caracterização geral da área de estudo

O experimento foi realizado em campo na Fazenda Ponta da Serra, no município de Queimadas, PB, instalado nas margens do Rio Bodocongó, a jusante da estação de tratamento de esgoto (ETE) da cidade Campina Grande, PB; as coordenadas geográficas do local são: 07° 22' 27,49361" de latitude Sul e 35° 59' 51,77968" de longitude Oeste.

O estudo foi realizado no período de janeiro a novembro de 2012, local cultivado com bananicultura irrigada em uma área de 0,5 ha, o suprimento hídrico é assegurado pelo Riacho Bodocongó, e o proprietário da área construiu um barramento no curso d'água, com a finalidade de garantir este insumo no período de escassez de precipitação pluviométrica (Figura 1).



Fonte: Google Earth

Figura 1: Localização da área de estudo na Fazenda Ponta da Serra

### 4.2 Aspectos fisiográficos da região de estudo

A bacia hidrográfica do Riacho Bodocongó se situa , de acordo com a classificação de Köppen, em uma zona de transição entre os tipos climático As' (quente e úmido com chuvas de outono/inverno) e Bsh (semiárido quente, também chamado agreste semiárido

ou tropical semiárido), sofrendo influência de ambos. A temperatura média anual é aproximadamente 25°C, com máximas em torno de 34°C e mínimas de 18°C (SILVA e ALMEIDA, 2011; MAYER et al, 1998).

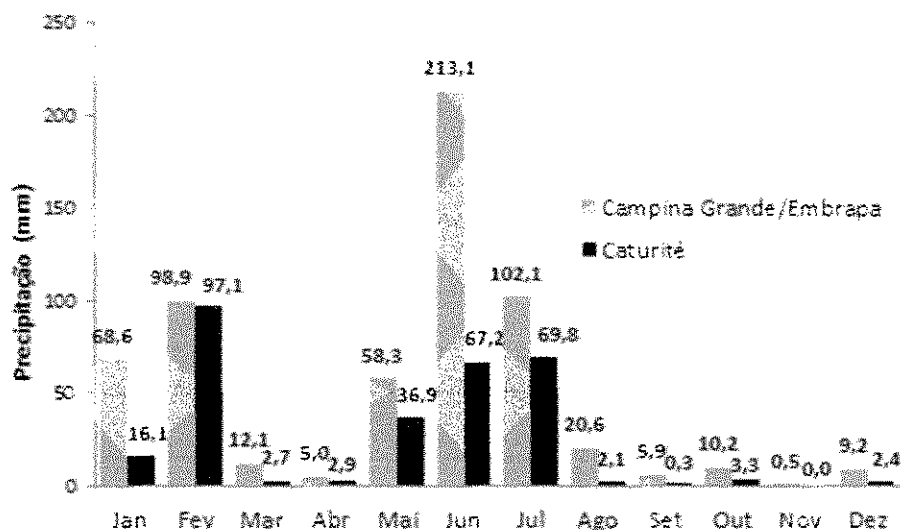
O município de Queimadas está localizado na Mesorregião Agreste Paraibano, na Microrregião de Campina Grande, inserido maiormente na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo predominante suave-ondulado, cortada por vales estreitos com vertentes dissecadas, ao norte compõem a unidade geoambiental do Planalto da Borborema; nos Patamares Compridos e Baixas Vertentes com relevo suave ondulado, ocorrem os Planossolos mal drenados com fertilidade natural média e problemas de sais, nos Topos e Altas Vertentes, com ocorrência de solos Brunos não Cálcicos, rasos, com alta fertilidade natural; já nos Topos e Altas Vertentes com relevo ondulado, ocorrem os Podzólicos drenados e fertilidade natural média e as Elevações Residuais solos Litólicos rasos, pedregosos com fertilidade natural média. O município se encontra nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, região do Médio Paraíba; seus principais tributários são: o Riacho Bodocongó, o Rio Paraibinha, o Rio Boa Vista e o Riacho Curimatã. Localizada em área de influências climáticas entre a Zona da Mata e o Sertão, a vegetação é caracterizada por Mata Úmida de Altitude e a Mata Subcaducifólia, basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia (MASCARENHAS, 2005).

#### **4.3 Regime pluviométrico**

Para melhor qualificar e classificar a água de irrigação, foi utilizado o regime pluviométrico da estação climatológica de Campina Grande/Embrapa e para avaliar o solo da área experimental, o regime pluviométrico da estação climatológica de Caturité, estações situadas na Bacia hidrográfica do Riacho Bodocongó, à montante e jusante, respectivamente, do local de estudo.

Os valores de precipitação pluviométrica mensal tiveram diferenças significativas, ou seja, um acumulado anual de 604,5 mm na estação de Campina Grande/Embrapa, 20,32% abaixo da Normal Climatologia. Na estação de Caturité o acumulado foi de 300,8 mm, 47% abaixo da Climatologia dos últimos sete anos, período de valores observados na estação, segundo dados disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs, 2012).

O regime pluviométrico ocorrido no ano de 2012 é semelhante em ambas as estações climatológicas, ocorrendo precipitações nos meses de janeiro e fevereiro e maio a julho caracterizando o período chuvoso e para o período de escassez de precipitação, de agosto a dezembro, com zero precipitação, registrado na estação de Caturité no mês de novembro (Figura 2).



Fonte: AESA, 2012

Figura 2: Precipitação média mensal

#### 4.4 Sistema de irrigação

A cultura é irrigada por sistema de irrigação localizado, do tipo microaspersão, constituído por um conjunto motobomba, com 3 cv de potência, cabeçal de controle composto por filtro de disco de 130 micron, manômetro analógico e injetor de fertilizantes tipo venturi, tubulação PVC com diâmetro nominal de 75 e 50 mm, na tubulação principal e secundária, respectivamente, e na linhas de cultivo mangueiras de polietileno flexível com 16 mm de diâmetro e 56 m de comprimento, contendo microaspersores autocompensantes da marca PLASTRO (modelo RFR), com vazão de  $41 \text{ L h}^{-1}$ , raio de alcance de 2,8 m, espaçados seis metros entre laterais e quatro metros na lateral irrigando, assim, quatro touceiras de plantas, cada um (Figura 3).



Figura 3: Detalhe do sistema de irrigação

O manejo da irrigação adotado pelo proprietário da área, tem frequência de dois dias e turno de rega com duração de seis horas de aplicação, aplicando-se 227,85 litros por emissor, correspondente ao tempo estabelecido para cada lâmina de água.

O controle do volume de água nas irrigações é realizado através de hidrômetro, instalado no início de cada subunidade de irrigação; deste modo e com base nas leituras observadas, constatou-se que cerca de 102,08 m<sup>3</sup> foi aplicado em cada evento de irrigação.

#### 4.5 Cultura

A área experimental é cultivada com bananeira (cv. Pacovan), plantada em fileiras duplas, no espaçamento de 4,0 x 2,0 x 2,0 m (Figura 04). A bananeira é uma cultura muito sensível à salinidade, apresenta bom desenvolvimento em solo com CE<sub>es</sub> de até 1,0 dS m<sup>-1</sup> (Classificação C<sub>3</sub>), acima deste valor ocorre comprometimento da produção (SILVA et al., 2002; BORGES e SOUSA, 2004; DOORENBOS & KASSAM, 1994).

Na bananeira, mais de 80% da extração de água pelas raízes ocorrem até 0,40 m apesar de que, dependendo do tipo de solo, o sistemas radicular da planta pode alcançar até 2,0 m de profundidade (COSTA et al., 2008).



Figura 4: Cultivo da área experimental

#### 4.6 Riacho Bodocongó

O Riacho Bodocongó é contribuinte da bacia do Rio Paraíba; tem suas nascentes a 691 m de altitude e possui uma extensão de 75 km; seu curso percorre os municípios de Puxinanã, Montadas, Pocinhos e Campina Grande pelo setor norte, vizinho ao distrito de São José da Mata, passando pelo município de Queimadas, até a Barra de Santana, estado da Paraíba; a bacia hidrográfica possui uma área de 981 km<sup>2</sup> (MAYER et al., 1998; SOUTO, 2012 ; CEBALLOS et al., 2000; MAGALHÃES, et al., 1999).

A cidade de Campina Grande, PB, possui 385.213 habitantes e apresentou um aumento, em 97,24%, de sua população urbana, no período 1970-2010 (IBGE, 2013), e como resultado, um crescimento na demanda de água e aumento na produção de dejetos; no período de estiagem a vazão média de esgotos domésticos afluentes à Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da cidade, é de 256 L s<sup>-1</sup>, muito superior à vazão do rio à montante da ETE, que é de 60 L s<sup>-1</sup>, provocando impactos ambientais negativos ao Riacho Bodocongó (MAYER et al., 1998). Magalhães et al. (1999) destacam que a água do riacho no período de estiagem, os esgotos da cidade de Campina Grande chegam a representar a quase totalidade da sua vazão; mesmo assim, é importante e, às vezes, a única fonte hídrica para a população que habita nas proximidades, sendo usada na agricultura irrestrita e em atividades domésticas.

O curso do Riacho Bodocongó apresenta regime intermitente, perenizado no trecho que corta a cidade de Campina Grande, PB, após o açude de Bodocongó, pelo recebimento dos efluentes do sangradouro deste, no período das chuvas e de uma indústria de reciclagem de papel, entre outros (Ceballos et al., 2000). Conforme Magalhães et al. (1999) o trecho situado à jusante da ETE da cidade de Campina Grande recebe o equivalente a 350 L s<sup>-1</sup> de esgotos, que em consequência, se encontra bastante poluído.



Figura 5: Riacho Bodocongó, Fazenda Ponta da Serra

## **4.7 Diagnóstico da necessidade de drenagem**

### **4.7.1 Qualidade da água de irrigação**

Para avaliar a salinidade da água do Riacho Bodocongó quanto ao aspecto ambiental, realizaram-se quatro amostragem, realizadas nos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro de 2012. As amostras foram coletadas diretamente, no Riacho Bodocongó, ao lado da sucção do sistema de irrigação. Sua caracterização, quanto ao nível de salinidade, foi realizada através das análise dos parâmetros: Condutividade Elétrica ( $CE_a$ ) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da água de irrigação. A qualidade da água foi enquadrada e classificada segundo a resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA, quanto ao uso preponderante. As análises foram realizadas pelo Laboratório da Estação Experimental de Tratamento de Biológicos de Esgotos Sanitários – EXTRABES, segundo metodologia proposta pela ALPHA (1995).

Para classificar e avaliar a água de irrigação quanto aos aspectos de salinidade e sodicidade, foi realizado monitoramento mensal no período de janeiro a novembro de 2012. As amostras foram coletadas mensalmente, na linha principal do sistema de irrigação, logo após a saída da bomba. A caracterização da água de irrigação foi realizada através de análises dos parâmetros físico-químicos: Potencial Hidrogeniônico (pH); Condutividade Elétrica ( $CE_a$ ); Cálcio ( $Ca^{2+}$ ); Magnésio ( $Mg^{2+}$ ); Sódio ( $Na^+$ ); Potássio ( $K^+$ ); Carbonato ( $CO_3^{2-}$ ); Bicarbonato ( $HCO_3^-$ ); Cloreto ( $Cl^-$ ); Sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) e Relação de Adsorção de Sódio (RAS). A classificação foi realizada segundo enquadramento proposto por Ayres e Westcot (1999) e Richards (1954). Os íons dominantes pelo gráfico de Piper, com auxílio do software QUALIGRAF. As análises foram realizadas e classificadas pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, conforme metodologia apresentada pela EMBRAPA.

### **4.7.2 Avaliação hidrodinâmica do solo**

Para determinar a condutividade hidráulica e o nível freático, a área experimental foi subdividida em seis subáreas de aproximadamente  $833,3 \text{ m}^3$ ; um ponto de observação foi instalado em cada subárea, posicionado entre as linhas de cultivo, totalizando seis poços de monitoramento, a uma profundidade variando de 0,50 e 1,50 m (Figura 6).



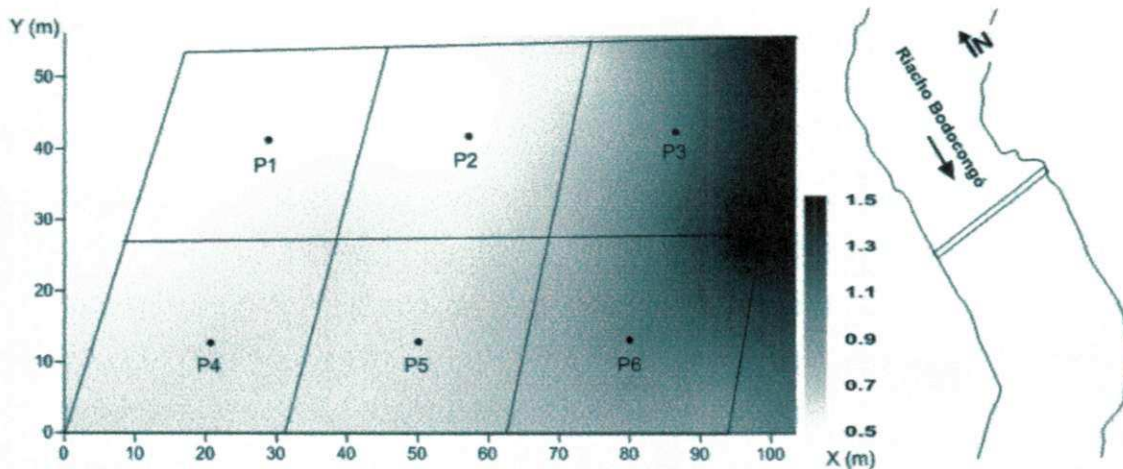


Figura 6: Distribuição dos poços de monitoramento do lençol freático

Os poços foram perfurados com trado manual e revestidos com tubos de PVC, a fim de permitir o monitoramento do lençol freático ao longo do período de estudo estabelecido (Figura 7). A construção dos poços de observação seguiu as etapas abaixo:

1. Abertura do furo no solo com um trado de diâmetro de 60 mm, até alcançar a profundidade de 1,50 m;
2. Revestimento do poço com um tubo de PVC com diâmetro de 50 mm, perfurado ou ranhurado alternadamente, a partir da extremidade inferior do tubo, envelopado com uma tela sintética de 1,0 mm, para evitar o entupimento dos furos;
3. O espaçamento entre a parede do poço e o tubo de PVC foi preenchido com areia grossa do próprio solo do local, fazendo-se uma compactação manual com a finalidade de aumentar a estabilidade do poço e evitar infiltração da água da irrigação e da chuva;
4. Na extremidade superior do tubo deixou-se passar do nível do solo entorno de 30 cm, para evitar a entrada de material quando for realizar a coleta de dados e melhor identificação e localização do poço na área de estudo; é recomendável colocar um tampão com uma perfuração lateral, para permitir a circulação de ar.



Figura 7: Instalação e material dos poços

#### 4.7.2.1 Monitoramento do lençol freático

Os poços de monitoramento do nível de lençol freático foram instalados em fevereiro de 2012. O acompanhamento da profundidade do nível freático foi realizado após eventos de irrigação e eventual precipitação tomadas as leituras de nível freático a partir de seis horas após cada evento (Figura 7).

Para realizar a leitura do nível freático utilizou-se de "plop" fixado a uma trena, fita métrica ou equivalente. Ao baixar o "plop" no poço, cuja ponta passa a corresponder ao zero da trena, este produz ao tocar a água, um som característico; daí, a denominação. O "plop" é nada mais que um peso suficiente para manter a trena esticada cuja característica principal é a de produzir o referido som que indica o nível da superfície da água.

#### 4.7.2.2 Determinação da condutividade hidráulica (K)

A condutividade hidráulica do solo é uma de suas propriedades físicas mais importantes para pesquisa e projeto de drenagem, podendo ser determinada abaixo do lençol freático ou acima dele. No presente trabalho a determinação da condutividade hidráulica seguiu a metodologia apresentada por Cruciani (1940), o método utilizado foi o inverso de Auger-Hole, que consistiu em abrir um orifício no solo de certa profundidade, enchê-lo de água e medir a velocidade de rebaixamento do nível (Figura 8). Modelo matemático para o cálculo da condutividade hidráulica:

$$K = 1,15r \frac{\log y_1 + \frac{r}{2} - \log y_2 + \frac{r}{2}}{t_2 - t_1} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:  $K$ = condutividade hidráulica do solo;  $r$ = raio do poço (cm);  $y_1$ = altura da água no orifício (cm) no início do processo  $t_1$ ;  $y_2$ = altura final de água (cm) no instante  $t_2$ .

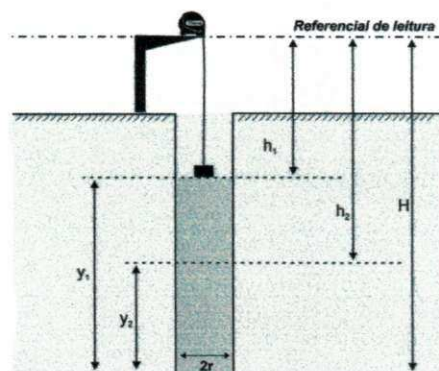


Figura 8: Geometria do método de inverso auger-hole

#### 4.7.2.3 Determinação da porosidade drenável ( $\mu$ )

Determinou-se a porosidade drenável a partir da análise física do solo em cada um dos pontos amostrais considerando-se, como capacidade de campo ( $C_c$ ), a umidade do solo equivalente à tensão de 0,33 atm e como ponto de murcha permanente (PMP), a umidade na tensão de 15 atm; desta forma, pode-se calcular a porosidade drenável conforme Queiroz (1995) e Bernardo (2006).

$$\mu (\%) = PMP - Cc \quad \text{Equação 7}$$

onde:  $\mu$  é a porosidade drenável (%); PMP é o ponto de murcha permanente (%) e  $Cc$  é a capacidade de campo (%).

Porosidade drenável estimada a partir do valor da condutividade hidráulica do solo, segundo equação proposta por van Beers.

$$\mu (\%) = \sqrt{K_0} \quad \text{Equação 8}$$

onde:  $K$  é a condutividade hidráulica em  $\text{cm d}^{-1}$ .

#### 4.7.3 Avaliação da salinidade no solo

A área de estudo tem 0,5 ha, onde foram locados os 32 pontos em malha regular de 11,0 m x 20,0 m, posicionados nas linhas de cultivo por coordenada cartesiana ( $x$ ;  $y$ ) em metros (Figura 9). Para avaliação do nível de salinidade foram realizadas duas amostragens

de solo, a primeira no mês de fevereiro, início do período chuvoso e outra em novembro, no período de escassez de precipitação pluviométrica utilizando-se como referência, o regime pluviométrico registrado pela estação climatológica de Caturité.

A caracterização da salinidade foi realizada através dos seguintes parâmetros: Potencial Hidrogeniônico do Extrato de Saturação ( $\text{pH}_{\text{es}}$ ); Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação ( $\text{CE}_{\text{es}}$ ); Percentagem de Saturação do Solo (PST); Relação de Adsorção de Sódio (RAS); Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ); Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ); Sódio ( $\text{Na}^+$ ); Potássio ( $\text{K}^+$ ); Carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ); Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ); Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ); Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e Classificação do Solo. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da Universidade Federal de Campina Grande, PB, e analisadas segundo metodologia apresentada pela EMBRAPA (1997).

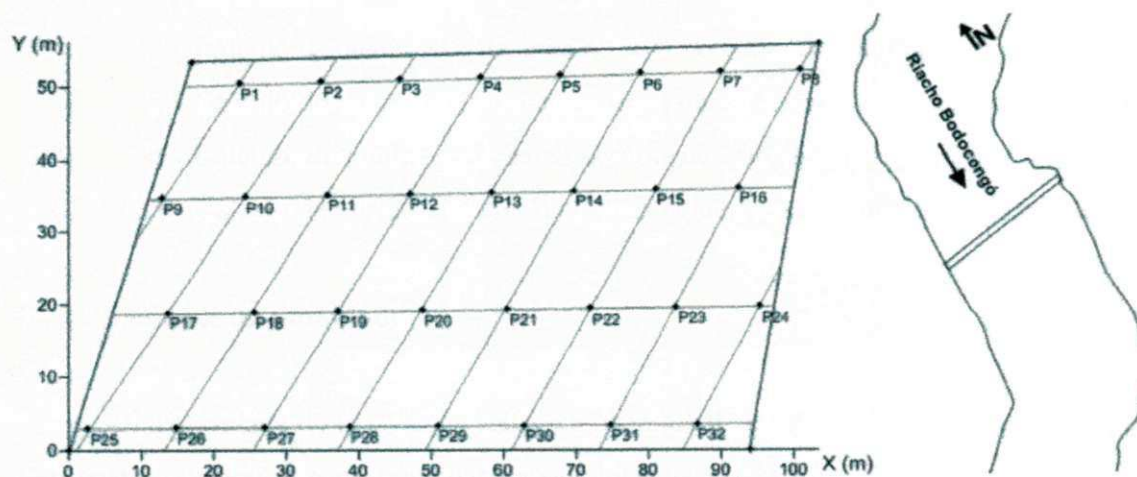


Figura 9: Pontos de avaliação das propriedades físico-químicas do solo

#### 4.7.3.1 Sais adicionados ao solo pela água de irrigação

A condutividade elétrica (CE) expressa a concentração total de sais solúveis presentes no solo e/ou na água, por estar intimamente relacionada à concentração total de eletrólitos dissolvidos na solução aquosa; também é usada, como expressão, a concentração de Sólidos Total Dissolvidos (TSD), quantificados pelas equações abaixo (QUEIROZ, 2010; DIAS et al., 2003).

Para a  $\text{CE}_{\text{es}} < 5 \text{ dS m}^{-1}$

$$\text{TSD} = 640 * \text{CE}$$

Equação 9

A Lâmina Anual de Irrigação (LA) que deve ser aplicada para satisfazer a demanda da cultura tanto quanto a necessidade de lixiviação (Ayers & Westcot, 1999), pode ser obtida através da equação:

$$LA = \frac{ET_c}{1 - NL} \quad \text{Equação 11}$$

onde: LA – Lâmina anual de irrigação, mm/ano;  $ET_c$  – Evapotranspiração da cultura, mm/ano e NL – Necessidade de lixiviação.

Determinação da Evapotranspiração da Cultura ( $ET_c$ ):

$$ET_c = ET_o * k_c \quad \text{Equação 12}$$

onde:  $ET_o$ =Evapotranspiração de referência;  $ET_c$  - Evapotranspiração da cultura ( $ET_o$ = 1154,80 mm/ano), INMET, 2012 e  $k_c$  - Coeficiente da cultura ( $k_c$ = 1,2), segundo Doorenbos & Pruitt (1976).

#### 4.7.4 Análise dos dados de campo

Os dados foram analisados de acordo com a estatística descritiva para verificação de seu comportamento quanto às medidas estatísticas de posição e de variabilidade, calculando-se a Média, Mediana, Desvio Padrão (s), Coeficiente de Variação (%), Coeficiente de Curtose (K) e Coeficiente de Assimetria (Cs).

Utilizou-se a estatística descritiva para avaliar o comportamento da Condutividade Hidráulica ( $K_0$ ) e Porosidade Drenável ( $\mu$ ), e geoestatística para avaliar a dependência temporal e espacial para os parâmetros: pH,  $CE_{es}$  e PST, que caracterizam a salinidade no solo, realizada através de modelos de semivariogramas; para tal, utilizou o software SPRING versão 5.2.2, desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); após a validação do modelo foi feita a edição de cada atributo em mapas de contorno e isolinhas, mediante krigagem ordinária, utilizando-se o programa SURFER.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Qualidade da água de irrigação

Observa-se que o Riacho Bodocongó apresentou no período de estudo, uma variação da  $CE_a$  de 1,78 a 2,18  $dS\ m^{-1}$ , cujo valor médio obtido foi de 1,93  $dS\ m^{-1}$ . A concentração de sais dissolvidos a água no período de estudo resultou em  $TSD = 1.235,2\ mg\ L^{-1}$ , isto é, salinidade igual a 1,23‰, enquadrada como “Água Salobra”, segundo a resolução nº 357/05 do CONAMA (Figura 10). Águas destinadas ao uso preponderante em irrigação de plantas frutíferas, devem estar enquadradas na Classe “Águas Doces” de salinidade igual ou inferior a 0,5‰, segundo a resolução nº 357/05 do CONAMA.

Pelo relatório de monitoramento de qualidade da água da Bacia do rio Paraíba e contribuintes para o segundo semestre de 2006, o rio Bodocongó apresentou, em pontos localizados à jusante da cidade de Campina Grande e à montante da confluência com o Rio Paraíba, a água com salinidade de 0,5 e 1,30 ‰, respectivamente, representando acréscimo de 0,8‰ ao longo do trecho; neste este, período a água foi enquadrada em Classe 3 (SUDEMA, 2012).

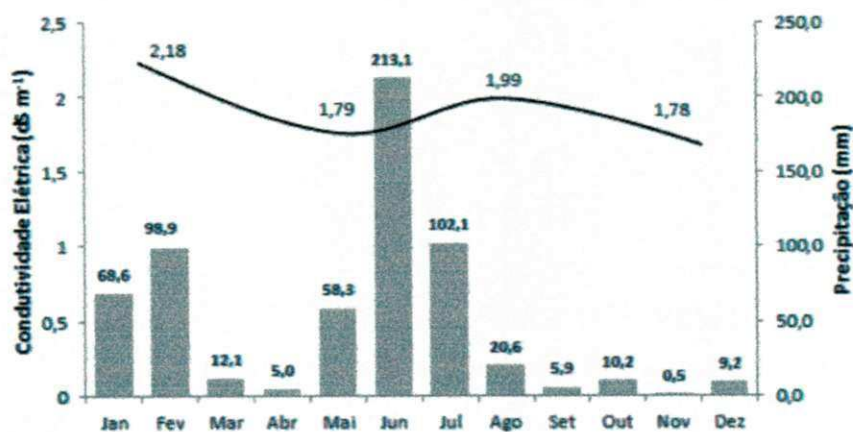


Figura 10: Variação temporal da concentração da  $CE_a$  no Riacho Bodocongó

No estudo, constatou-se que nos meses de abril e novembro, a água foi enquadrada na classe grau de restrição “Severa”, nos demais meses, enquadrado na classe grau de restrição “Moderada”, segundo a classificação de Ayres & Westcot (1999).

O enquadramento na classe “Severa” ocorreu devido provavelmente, aos baixos índices pluviométricos registrados na região, pela estação meteorológica de Campina Grande/Embrapa, localizada à montante do ponto de observação.

Em seu estudo Magalhães et al. (1999) realizado no mesmo trecho do Riacho Bodocongó, situado à jusantes da ETE da cidade de Campina Grande, PB, observaram que a água apresentou alta salinidade,  $CE_a$  variando de 2,42 a 3,51  $dS\ m^{-1}$  estando assim classificada, assim como “Moderada a Severa”, segundo classificação de Ayres & Westcot (1999). Ceballos et al. (2000) também observaram, em pesquisa realizado no mesmo percurso do riacho  $CE_a$  em torno de 2,40  $dS\ m^{-1}$ , indicando elevadas concentrações de sais, provavelmente pela contribuição dos esgotos que alimentam o rio, além das características dos solos cristalinos da região. Águas de concentração salina acima de  $CE_a=0,7\ dS\ m^{-1}$  podem comprometer a estrutura do solo e afetar o desenvolvimento de plantas irrigadas, entretanto, os teores limites de salinidade, prejudiciais ao cultivo irrigado, variam conforme o tipo de cultivar (Ayres & Westcot, 1999).

### **5.1 Caracterização iônica da água de irrigação**

O diagrama de Piper vem sendo largamente utilizado em estudos de qualidade de água para irrigação, quanto aos íons dominantes; assim, a partir dos resultados obtidos procedeu-se à classificação iônica da água do Riacho Bodocongó em relação aos íons dominantes (ânions e/ou cátions) utilizando-se esta ferramenta, observa-se, quanto à predominância de cátions e ânions nos triângulos que, para os cátions, ocorreu maior disseminação nos resultados em relação aos ânions; no entanto, em ambos os casos 100% das amostras foram predominantemente águas sódicas e cloretadas; desse modo, quanto à predominância de cátions e ânions na água de irrigação durante todo o período de monitoramento, observou-se, no losango, que a água do Riacho Bodocongó foi classificada como “Cloretadas Sódicas” (Figura 11).

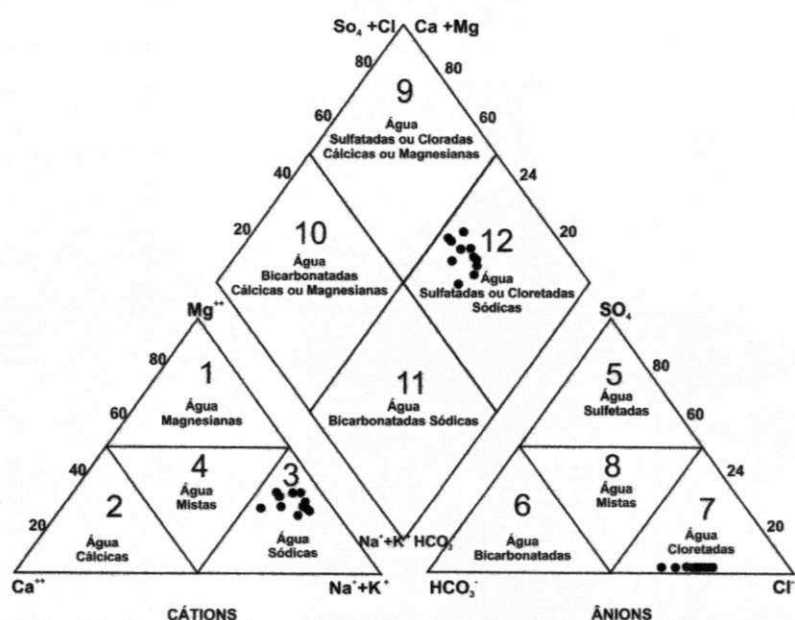


Figura 11: Classificação iônica da água de irrigação aplicada à cultura da bananeira, conforme as diferentes épocas do ano

Andrade et al. (2010) também constataram predominância em 100% dos casos de águas sódicas e cloretadas, para os cátions e ânions, respectivamente; já Lobato et al. (2008) e Barroso et al. (2011), constataram-se que a água de irrigação se mostrou predominantemente sódica. Contudo, Barroso et al. (2010) verificaram um equilíbrio de 47,5% para os ânions (bicarbonatos e os cloretos) presentes na água do Baixo Jaguaribe, classificada como “bicarbonatadas” e “cloretadas”. Richards (1954) enfatiza que existe forte dependência da qualidade da água em relação à época de amostragem, sendo esta bastante influenciada pela variação do nível da água.

## 5.2 Problemas potenciais de infiltração

Na Figura 12 é apresentado o enquadramento da água de irrigação quanto aos problemas potenciais de Infiltração. Observa-se, pela Relação de Adsorção de Sódio Corrigida (RAS°), que no mês de junho a água foi enquadrado, na classe grau de restrição “Moderada”; nos outros meses, enquadrado, na classe grau de restrição “Nenhuma”, classificação esta apresentada por Ayers & Westcot (1999).

Assis Júnior e Silva (2012) observaram os efeito das concentrações salinas de água de irrigação de duas fontes diferentes (rio e poço raso) sobre os atributos físicos de um neossolo flúvico cultivado com a bananeira Musa sp. cv. Pacovan no município de



Quixeré, CE; neste estudo a água de irrigação comprometeu as características do solo ocasionando alterações na sua densidade, argila dispersa em água e grau de floculação.

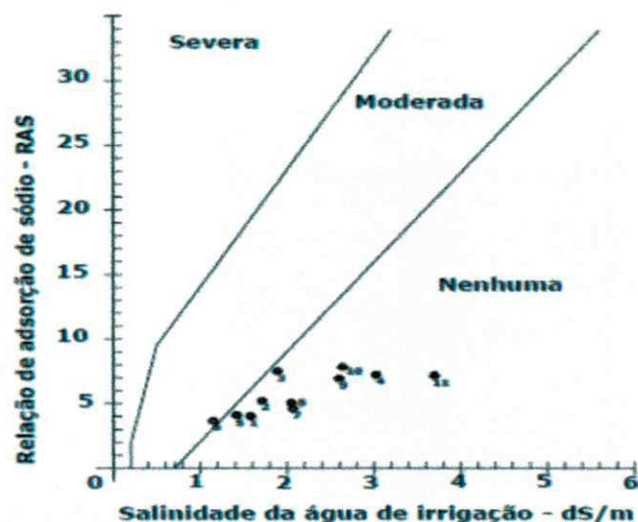


Figura 12: Relação relativa da infiltração provocada pela salinidade e RAS

Com base no valor de  $RAS^{\circ}$  e  $CE_a$ , considerando a classificação de Richards (1954), a água no período chuvoso (Jan, Mai. e Jun.), observou-se a seguinte classificação  $C_3S_1$ , representando risco de alta salinidade e baixo risco de sodicidade; ainda no período chuvoso (Fer., Mar., Jul. e Ago.) a água do riacho Bodocongó foi classificada como  $C_3S_2$ , representando risco de alta salinidade e médio risco de sodicidade (Figura 13).

No período de escassez da precipitação (Abr., Set., Out. e Nov.) a água do riacho Bodocongó foi classificada como  $C_4S_2$ , representando perigo de salinidade muito alto e médio risco de sodicidade, segundo classificação de Richards (1954) (Figura 13).

Quanto ao risco de salinidade, a água  $C_3$  não deve ser usada em solos cuja drenagem seja deficiente, como é o caso da área deste estudo enquanto " $C_4$ ", não é apropriada para irrigações corriqueiras porém pode ser usada ocasionalmente em circunstâncias muito especiais e com manejo adequado da irrigação e drenagem. Quanto ao risco de sodicidade, a água  $S_1$ , pode ser usada para a irrigação na maioria dos solos; já a " $S_2$ ", só deve ser usadas em solos com textura grossa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade (BERNARDO, 2009; ALMEIDA, 2010).

Na análise temporal observou-se alteração na classe quanto ao risco de salinidade e sodicidade, onde a água variou de  $C_3S_1$  a  $C_4S_2$  contribuindo, então, com a degradação do Riacho Bodocongó no período de escassez de precipitação momento em que a irrigação da cultura é plena; com tudo, Magalhães et al. (1999) destacam que o Riacho Bodocongó é, às

vezes, o único recurso hídrico para os ribeirinhos, apesar da péssima qualidade de suas águas.

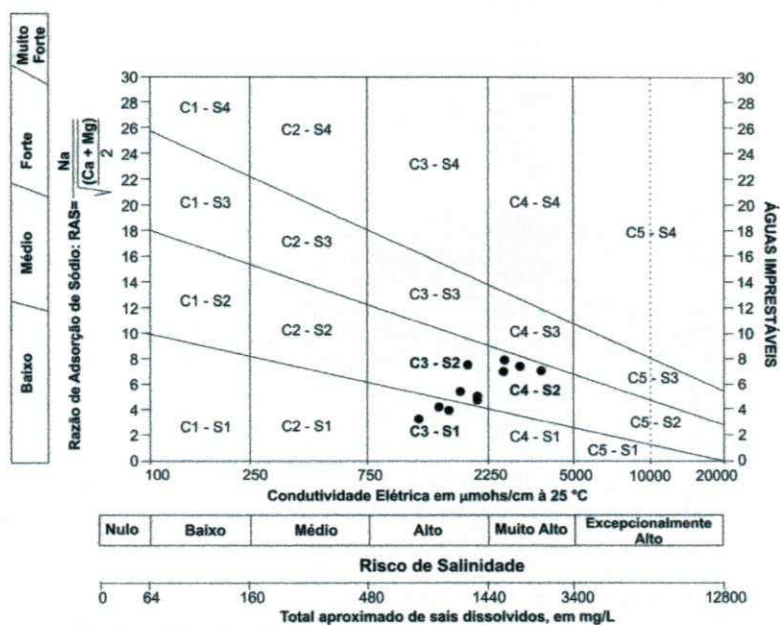


Figura 13: Diagrama de classificação de água para irrigação

## 5.2 Monitoramento do lençol freático

Durante o período de estudo não foi observada a presença do lençol freático em nenhum dos poços de observação, devido, provavelmente aos baixos índices pluviométricos registrados na região, valores registrados na estação climatológica de Caturité, com média acumulada de 300,8 mm/ano, precipitação média anual 47% abaixo da série histórica, mantendo o lençol freático abaixo da profundidade de 1,5 m.

## 5.3 Características físicas do solo

Em meio aos objetivos propostos neste estudo, procedeu-se à caracterização física do solo da área experimental em resposta às constantes disposições de sais contidos na água do Riacho Bodocongó através da irrigação da cultura da bananeira; desta forma, os valores mínimos, máximos, médios, os desvios padrão e o coeficiente de variação de cada parâmetro analisado durante o período experimental, podem ser evidenciados nos itens subsequentes.

Com base nos resultados da análise física do solo para amostras coletadas na profundidade efetiva do sistema radicular da cultura da bananeira (0 - 0,4 m) observou-se

que a Densidade aparente ( $D_a$ ) e a Densidade real ( $D_r$ ) apresentaram variações de (1,30 a 1,43) e (2,54 a 2,84), respectivamente; a Porosidade total (PT) variou entre (45,48 a 52,60); a Capacidade de campo ( $C_c$ ) e o Ponto de murcha permanente (PMP) variaram de (7,48 a 32,61) e (2,98 a 15,33), respectivamente, e  $\mu$  variou de (16,47 a 40,28).

De acordo com as análises granulométricas, observam-se as seguintes classes texturais da área experimental: “Areia”, “Areia-Franca”, “Franco”, “Franco-Arenoso”, “Franco-Arg.-Arenoso” e “Franco-Siltoso”, correspondendo a 3, 16, 3, 59, 16 e 3%, respectivamente, com predomínio do solo “Franco-Arenoso” (Figura 14).

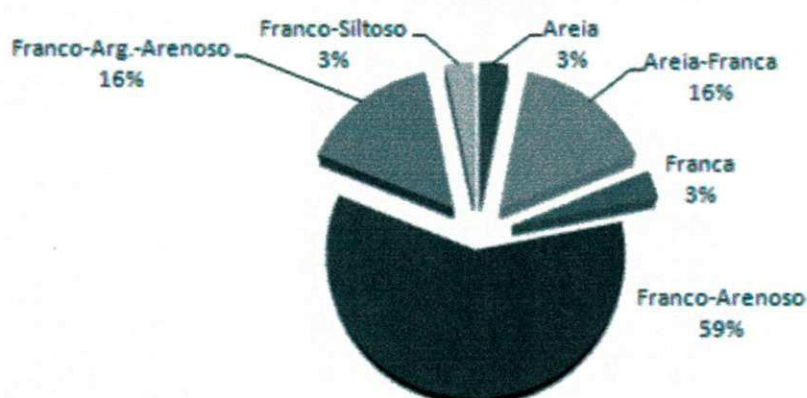


Figura 14: Classes texturais do solo

A partir dos resultados obtidos com a caracterização física do solo da área experimental, constatou-se uma ampla variabilidade dos parâmetros analisados, o que pode ser evidenciado pelos valores de desvio padrão e pelo coeficiente de variação apresentado por estes (Tabela 4). Com base nestes resultados, percebe-se que os valores de Percentagem de umidade do solo (U), apresentaram oscilações bastante expressivas, o que pode ser confirmado pelos valores mínimos (1,52%), máximos (6,38%) e de desvio padrão (1,32%), apresentados por esta variável cujo valor médio obtido foi de 3,41%.

Tabela 4: Parâmetros físico do solo

Ponto	U (%)	$d_a$ ( $g\ cm^{-3}$ )	$d_r$ ( $g\ cm^{-3}$ )	PT (%)	PMP (%)	CC (%)
Média	3,41	1,35	2,64	48,72	10,62	23,00
Mediana	3,09	1,35	2,64	48,47	11,59	25,69
D. P.	1,32	0,05	0,06	2,22	3,87	7,08
C. V.	38,77	4,02	2,22	4,55	36,40	30,80
Máx	6,38	1,44	2,84	54,75	17,75	33,10
Mín	1,52	1,19	2,54	45,04	2,98	7,48

U - Percentagem de Umidade do Solo;  $D_a$  - Densidade Aparente;  $d_r$  - Densidade Real; PT - Porosidade Total; PMP - Ponto de Murcha Permanente; Cc - Capacidade de Campo

O grau de compactação de um solo pode ser determinado em função da sua “Densidade aparente”; assim, e com base nos resultados obtidos para esta variável verifica-se, na Tabela 4 que o grau de compactação do solo estudado se manteve praticamente constante nos diferentes pontos amostrais, como mostram os baixos valores de desvio padrão e o coeficiente de variação encontrados ( $0,05 \text{ g m}^{-3}$  e  $0,04\%$ , respectivamente) portanto, estima-se portanto que, em média, o solo estudado possui grau de compactação equivalente a  $1,35 \text{ g cm}^{-3}$ , independente do ponto amostral. Para Sato et al. (2011) a compactação do solo diminui o volume de poros ocupados pela água ou pelo ar, limita a infiltração e a redistribuição de água no solo, reduz trocas gasosas e a disponibilidade de oxigênio, limitando o desenvolvimento fisiológico e a produtividade das culturas.

Comportamento semelhante pode ser observado para “Densidade real” do solo em que os valores obtidos para esta variável se mantiveram entre  $2,54$  e  $2,84 \text{ g m}^{-3}$  apresentando, em média, densidade de  $2,64 \text{ g m}^{-3}$ . Para Ingaramo (2003) o tamanho de partículas é uma das principais propriedades físicas empregadas na avaliação da qualidade do solo.

O comportamento apresentado pela densidade aparente do solo parece ter influenciado diretamente a “Porosidade total” do solo ressaltando-se, inicialmente, que houve boa precisão experimental dentro dos pontos amostrais, em que o coeficiente de variação se encontra abaixo de  $10\%$ , representado, portanto, alta precisão experimental para avaliações de campo, conforme Gomes (2000). Ainda com relação à PT, nota-se que, em média  $48,72\%$  da sua estrutura podem ser ocupados por ar e água, independente do ponto amostral (Tabela 4).

Quanto a “Capacidade de campo” verifica-se, na Tabela 4, que esta variável apresentou comportamento distinto, conforme cada ponto amostral, cujo valores encontrados oscilaram entre  $7,48$  a  $33,10\%$  (mínimo e máximo, respectivamente), e o médio obtido ( $23,0\%$ ) indica que o solo da área experimental possui baixa capacidade de retenção de umidade, evento que pode ser confirmado pelos resultados correspondentes ao “Ponto de murcha permanente”, em que o limite mínimo de água armazenada no solo da área experimental é, em média,  $10,62\%$ . Para Bernardo et al. (2009) este resultado representa o teor de umidade no solo abaixo do qual a planta não conseguirá retirar água na mesma intensidade com que ela transpira, o que a levará à morte da cultura por déficit hídrico, caso não seja irrigada.

#### 5.4 Avaliação da salinidade no solo

Visto que a Tabela 5 representa os resultados correspondes à estatística descritiva dos parâmetros de avaliação da salinidade do solo da área experimental nos períodos chuvoso e de escassez de precipitação pluviométrica, percebe-se, que o regime pluviométrico observado na região parece ter contribuído para a elevação da concentração dos íons na água do Riacho Bodocongó, os quais foram aportados ao solo em grande quantidade, através das irrigações. Esta especificidade observada refletiu diretamente na concentração iônica no solo da área experimental, conforme cada época de amostragem, o que pode ser confirmado pelos resultados obtidos neste estudo, quando inicialmente, se verifica, a partir das avaliações temporais da salinidade do solo, grande variabilidade dos parâmetros analisados, como mostram os valores do desvio padrão e sobretudo, do coeficiente de variação apresentado.

Tabela 5: Estatística descritiva dos parâmetros de avaliação da salinidade do solo da área experimental nos períodos chuvoso e de escassez de precipitação.

Medidas estatística	Período chuvoso				Período de escassez de precipitação			
	pH	CE <sub>es</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	RAS <sup>o</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>-0,5</sup>	PST	pH	CE <sub>es</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	RAS <sup>o</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>-0,5</sup>	PST
Média	7,09	1,94	8,14	14,75	7,51	2,13	7,03	17,03
Mediana	7,14	1,86	7,97	15,16	7,49	2,07	7,62	17,29
D. P.	0,40	1,04	1,96	3,20	0,23	0,29	1,34	2,01
C. V.	5,63	53,78	24,05	21,71	3,12	13,51	19,01	11,78
Máx	8,13	4,59	11,62	19,00	7,90	2,79	9,17	21,79
Mín	5,62	0,11	4,84	5,49	7,10	1,76	4,57	12,36

pH-Potencial hidrogeniônico, CE<sub>es</sub>-Condutividade elétrica do extrato de saturação; RAS<sup>o</sup>-Relação de adsorção de sódio; PST-Percentagem de sódio trocável

A partir das avaliações temporais da salinidade do solo nota-se que, com exceção da RAS<sup>o</sup>, com média de 8,14 (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)<sup>-0,5</sup> no período chuvoso, os demais parâmetros avaliados neste estudo tiveram seu teores acrescidos no período de escassez de precipitações pluviométricas constatando-se, portanto, que neste período, conforme a variabilidade dos parâmetros analisados, os valores de pH se mantiveram praticamente constantes em uma faixa levemente alcalina, situando-se entre 7,1 e 7,9 mínimo e máximo, respectivamente. Quanto à condutividade elétrica (CE<sub>es</sub>) observa-se uma variação de 1,76 a 2,79 dS m<sup>-1</sup>; no entanto, o valor médio obtido para esta variável foi de 2,13 dS m<sup>-1</sup> indicando restrições severas para o cultivo da cultura da bananeira, de acordo com Doorenbos e Kassam (1994).

Deferente à variabilidade apresentada pela RAS<sup>o</sup> observa-se, na Tabela 5, que no período de escassez de precipitação pluviométrica os valores obtidos para esta variável variaram de 4,57 a 9,17 (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)<sup>-0,5</sup>, bem inferiores, portanto, àqueles encontrados no período chuvoso, 4,84 a 11,62 (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)<sup>-0,5</sup>; esta característica reforça a hipótese de que as precipitações pluviométrias incidentes na região proporcionaram redução dos íons no solo; tendo em vista, esta redução observada para a RAS<sup>o</sup> no período de escassez de precipitação, devido, provavelmente, à época de amostragem de solo, sendo que, esta foi realizada após o período chuvoso, ou seja, quando houve lixiviação dos íons no solo, por meio das chuvas incidentes na região.

Quanto à PST, constatam-se oscilações bastante expressivas, conforme os valores mínimos, máximos e médios obtidos para esta variável 12,36; 21,79 e 17,03, respectivamente (Tabela 5), observados no período de escassez de chuvas sinalizando, existir uma variação da qualidade da água de irrigação, aplicada à cultura da bananeira, bastante expressiva, passível de acarretar danos severos ao solo e à cultura. Bernardo (2009) enfatiza que a concentração de sais de um solo depende da qualidade da água utilizada na irrigação, de uma drenagem natural ou artificial, do nível do lençol freático e da concentração da salinidade inicial no solo.

#### 5.4.1 Classificação do solo quanto ao risco de degradação por sais

Observa-se na Figura 15 e pelas análises químicas dos pontos amostrais (Apêndice 2), durante o período chuvoso, a área de estudo apresentou a seguinte classificação química de solo afetado por sais: 38% Normal, 3% Salino, 3% Salino-Sódico e 56% Sódico, enquanto no período de escassez de precipitação o solo apresentou a seguinte classificação: 12% Normal e 88% do solo Sódico, segundo a classificação de Richards (1954).

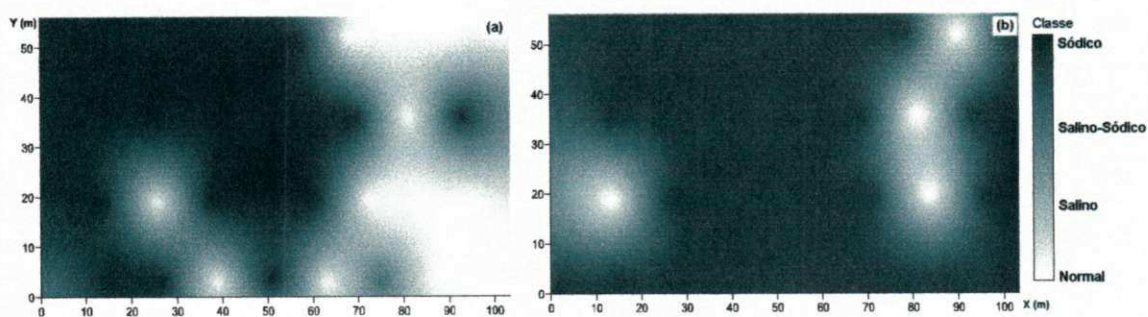


Figura 15: Classificação solo: (a) período chuvoso e (b) período de escassez de precipitação

Analisando temporalmente o solo da área experimental, observa-se que houve avanço no processo de degradação por sodicidade correspondendo ao aumento de 33% dos pontos amostrais (Figuras 15), ocasionado principalmente pelo uso de água do Riacho Bodocongó na irrigação e pela deficiência natural de drenagem. Segundo Dias et al. (2003) solos sódicos são fracamente agregados, adensados e compactados quando secos, e pegajosos e plásticos quando úmidos, em razão disto, apresentam baixa permeabilidade, são pegajosos e difíceis de serem trabalhados. Estas condições foram observadas in loco, quando realizadas as coletas de solo da área de estudo.

Pela classificação do solo constata-se que o manejo da água e solo adotado pelo proprietário na área experimental utilizando irrigação com água do Riacho Bodocongó e deficiência de drenagem natural, promoveram aumento da concentração de sais no solo, restringindo o cultivo irrigado. Magalhães et al. (1999) destacam que, com o nível de salinização dos solos irrigados na bacia do Riacho Bodocongó, comparando ao das áreas próximas não irrigadas, devido ao alto teor de sais da água e ao manejo inadequado da irrigação, esses solos se encontram com alto nível de sais. Lima et al. (2012) avaliaram, em estudo realizado na região de Mossoró, RN, os parâmetros que caracterizam a salinidade no solo (pH,  $CE_{es}$  e  $RAS_{es}$ ) em duas condições de solo e água; no estudo observaram que as lâminas crescentes de irrigação elevaram a concentração salina do solo.

#### **5.4.2 Quantidade de sais transportado pela água de irrigação presente no solo**

Para quantificar o potencial de salinização do solo pela água de irrigação, adotou-se a metodologia proposta por Cordeiro (2001), e se tomou, como referência, o período de irrigação da cultura, compreendido de janeiro a dezembro de 2012, totalizando 105 eventos de irrigação, em cada um aplicados  $102,08 \text{ m}^3$ , o que corresponde a  $10.718,4 \text{ m}^3/\text{ha}$  de água aplicada pela irrigação, e a média da condutividade elétrica da água de irrigação ( $CE_a = 2,17 \text{ dS m}^{-1}$ ).

A partir dos parâmetros apresentados durante o período de estudo, a água do Riacho Bodocongó utilizada na irrigação possui concentração salina de  $1,39 \text{ g L}^{-1}$ , estabelecendo, assim, o potencial de adicionar ao solo  $14,89 \text{ t/sal/ha}$  (Figuras 16 e 17), correspondendo a  $1,49$  tonelada de sais por  $1.000 \text{ m}^3$ . Segundo Rhoades (1974) águas de irrigação podem conter de  $0,1$  a  $4,0$  toneladas de sais por  $1.000 \text{ m}^3$  e são, em geral, aplicadas anualmente à razão de  $10.000$  a  $15.000 \text{ m}^3$  por hectare. Silva et al. (2011) destacam que o uso de

irrigação acarreta na incorporação de sais ao perfil do solo, em virtudes dos íons solúveis presentes.

Na área de estudo o uso de drenagem artificial é uma tecnologia importante para o controle de sais no perfil do solo; seu uso integrado ao sistema de irrigação pode mitigar os efeitos indesejáveis dos processos de salinização do solo, decorrentes do uso de água de qualidade inferior na irrigação. Segundo Macêdo et al. (2007) a água de irrigação é o principal veículo de sais em áreas irrigadas; conseqüentemente, cerca de 1 a 60 toneladas de sal por hectare poderão ser adicionadas aos solos irrigados por ano. De acordo com Santana et al. (2007), dependendo da estrutura e composição química, os solos retêm mais ou menos nutrientes e sais provenientes da água de irrigação.

A qualidade da água para irrigação está relacionada aos efeitos prejudiciais aos solos e às culturas requerendo, muitas vezes, técnicas especiais de manejo para controlar ou compensar eventuais problemas associados à sua utilização (AYERS & WESTCOT, 1999).

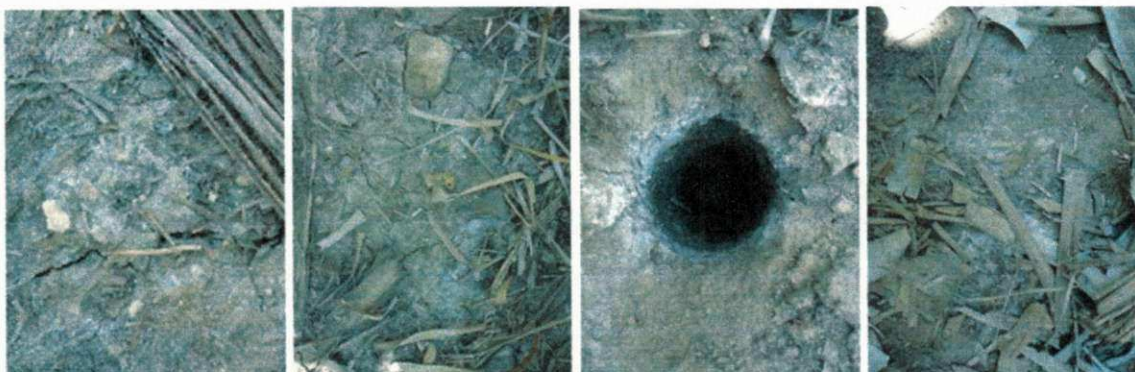


Figura 16: Observação visual da presença de sais no solo da área experimental

A fim de determinar os sais totais presentes no solo da área experimental, foram tomadas como referência, a camada de maior concentração radicular da cultura (0,4 m de profundidade); a metodologia proposta por Cordeiro (2001); a Densidade aparente média ( $D_a = 1,35 \text{ g cm}^{-3}$ ); a Percentagem média de saturação do solo ( $C_c = 23$ ); e a Condutividade do extrato de saturação, no Período chuvoso ( $CE_{es} = 1,93 \text{ dS m}^{-1}$ ), e no período escassez de precipitação ( $CE_{es} = 2,13 \text{ dS m}^{-1}$ ).

Estimou-se, durante o período chuvoso, uma quantidade de 771,03 kg de sais presente na zona radicular da cultura. Para o período de escassez de precipitação foi estimada uma quantidade de 862,44 kg de sais, observando-se que ocorreu ao longo do tempo um acréscimo de 91,41 kg (Figuras 16 e 17), o que evidência o teor de salinidade no



solo praticamente constante durante todo o período de estudo, caracteriza a necessidade do manejo adequado da água e do solo. Várias tecnologias podem ser empregadas no controle da salinidade do solo, tais como culturas resistentes à salinidade, lâminas de lixiviação e sistemas de irrigação e drenagem.



Figura 17: Sais presentes nas touceiras adicionados pela água de irrigação

Quando a acumulação de sais é excessiva ou quando se supõe que vai alcançar níveis indesejáveis, pode-se lixiviar os sais da zona radicular aplicando-se, à cultura, mais água que a necessária. Dentro desta perspectiva a necessidade de lixiviação (NL) para controlar os sais no solo adicionados com a água de irrigação, será de  $NL = 0,27$ , devendo-se aplicar, então, uma lâmina anual de lixiviação (LA), tanto para satisfazer a carência hídrica da cultura quanto à necessidade de lixiviação dos sais presentes no solo. Segundo Ayers & Westcot (1999) nos casos de culturas sensíveis e água de salinidade elevada, satisfazer-se uma necessidade de lixiviação acima de 0,25 ou 0,30, não é usual, em virtude da grande quantidade de água de que se necessita.

Na área de estudo e considerando as condições climáticas e a necessidade hídrica da cultura da bananeira, a lâmina anual de lixiviação estimada para o período de estudo é  $LA = 1.901,12$  mm/ano.

De acordo com o manejo de irrigação adotado pelo proprietário na área de estudo no ano de 2012, constatou-se que foi adicionado a cultura, pelo sistema de irrigação um volume de 1.071,84 mm, e houve uma precipitação acumulada na região de 300,3 mm (registrado pela estação climatológica de Caturité), corresponde ao volume total de 1.372,14 mm/ano, disponibilizado para a cultura.

Comparando o volume que foi disponível à cultura e a lâmina anual de lixiviação, observa-se que na área de estudo o volume de água não é satisfatório para atender às necessidade da cultura e promover a lixiviação dos sais presentes no solo. Deste modo, no

cultivo da bananeira na área experimental ocorreu déficit hídrico de -528,96 mm/ano, justificando a necessidade de técnicas agrícolas, como lâmina de lixiviação e sistema de drenagem artificial, com práticas adequada do manejo da água e solo no cultivo irrigado (Figuras 18).

Monteiro et al. (2009) investigam o efeito de lâminas de lixiviação e de precipitação no controle da salinidade do solo em lisímetros de drenagem, em um vale aluvial irrigado do semiárido pernambucano; no estudo verificou-se que a lixiviação parcial pode ser utilizada como alternativa de manejo com vista à redução da salinidade na zona radicular desde que precipitações efetivas possam complementar o processo de lavagem.

O conhecimento básico da demanda de água pelas culturas, consiste no ponto mais importante para se definir critérios de manejo da irrigação e drenagem; assim, a partir de observações visuais durante a condução do estudo percebeu-se que grande parte das plantas apresentou comprometimento de seu desenvolvimento vegetativo além de sintomas característicos de toxidez por cloro e sódio, o que pode ser justificado pelos elevados teores desses íons presentes na água de irrigação e no solo (Figura 18). Segundo Donato e Arantes (2009) efeitos abióticos, como seca, salinidade, temperaturas extremas e toxicidade química, estão intimamente relacionados e constituem sérias ameaças à agricultura da bananeira, pois afetam os processos fisiológicos e bioquímicos.

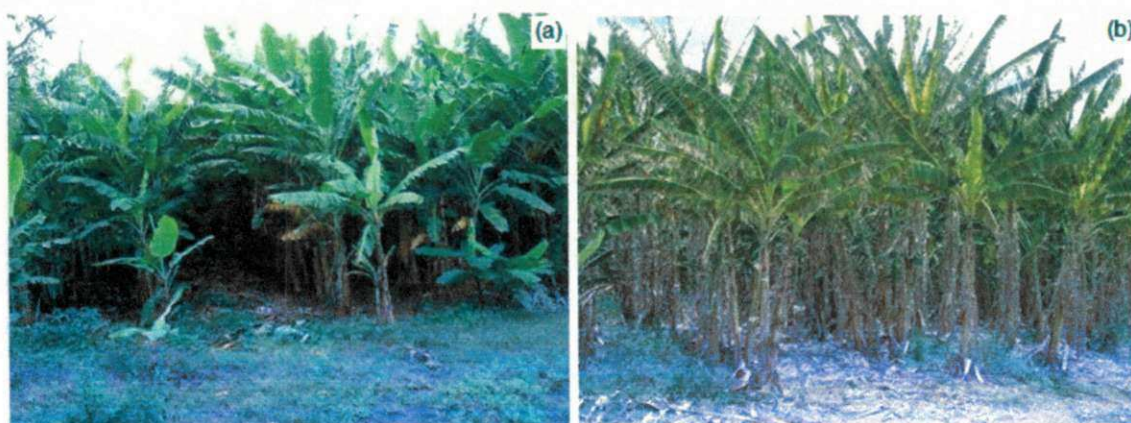


Figura 18: Plantio no início (a) e final (b) do experimento

### 5.5 Qualidade do solo: atributos hidrodinâmicos

Na Tabela 6 são apresentados os valores das medidas estatísticas das variáveis Condutividade Hidráulica ( $K_0$ ) e Porosidade Drenável ( $\mu$ ); observa-se que a média e a

mediana diferem entre si, indicativo dos parâmetros a não distribuição normal. Os valores de Curtose e Assimetria, que em uma distribuição normal devem ser de 3 e 0, respectivamente, também sugerem a não distribuição normal.

Observa-se na Tabela 6 que  $K_0$  e  $\mu$  obtiveram  $CV= 63,0\%$  e  $20,65\%$ , classificação alto e médio, respectivamente, segundo os limites do coeficiente de variação proposto por Warrick & Nilssen (1980).

Tabela 6: Medidas estatísticas dos parâmetros físicos do solo condutividade hidráulica ( $K_0$ ) e porosidade drenável ( $\mu$ )

Medida estatística	$K_0$ (cm h <sup>-1</sup> )	$\mu$ (%)
Média	0,25	29,43
Mediana	0,17	30,92
Desvio Padrão (s)	0,15	5,55
CV (%)	63,0	20,65
Variância (S)	0,02	30,77
Curtose (Cr)	1,81	1,90
Assimetria (Cs)	0,73	0,02

Observa-se, através dos gráficos de histograma e probabilidade de distribuição normal, um comportamento não linear, indicando que a média aritmética, por ser uma medida bastante influenciada pelos valores extremos, não é uma medida de tendência central adequada para a representação dos valores observados dos parâmetros hidrodinâmicos do solo (Figuras 19 e 20).

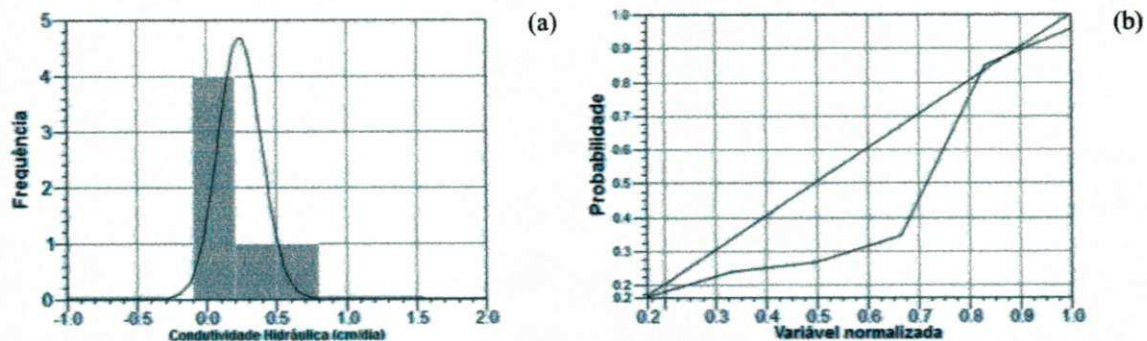


Figura 19: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) da condutividade hidáulica ( $K_0$ )

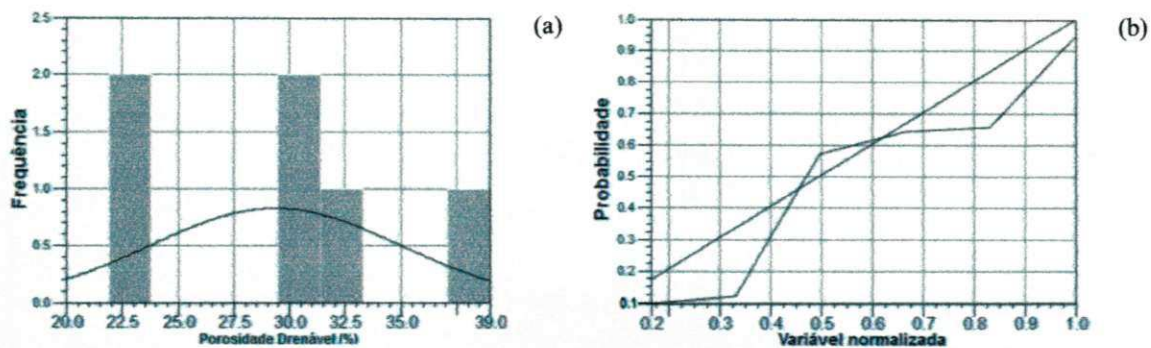


Figura 20: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) da porosidade drenável ( $\mu$ )

A variabilidade dos parâmetros hidrodinâmicos está associada diretamente às propriedades físicas do solo, sobretudo a textura. No solo da área experimental foram encontradas várias classes texturais com predomínio de solo Franco-Arenoso. Ferreira (2010) destaca que tanto a dispersão quanto a expansão das argilas afetam a porosidade do solo e, conseqüentemente, sua condutividade hidráulica em decorrência da concentração iônica da água de irrigação.

A partir dos resultados obtidos nota-se que na área experimental a condutividade hidráulica do solo, determinada em campo, variou de 0,1 a 0,51  $\text{cm h}^{-1}$  apresentando, em média, 0,25  $\text{cm h}^{-1}$  (Tabela 6). De acordo com a classificação proposta por Richard (1954) percebe-se que na área estudada mais de 50% dos pontos amostrais apresentaram processo de degradação por sais, caracterizando-os, portanto, como sódicos (Figuras 15). Segundo Dias et al. (2003) a degradação do solo por sodicidade promove redução da permeabilidade, o que pode justificar a lenta condutividade hidráulica nos pontos avaliados. De acordo com Bernardo (2006), solos que apresentam valores de  $K_o < 0,125 \text{ cm h}^{-1}$ , solos de muito lenta  $K_o$ ; valores entre 0,125 a 0,5  $\text{cm h}^{-1}$ , lenta; valores entre 2,0 a 6,25  $\text{cm h}^{-1}$ , moderada; valores de  $K_o > 25,0 \text{ cm h}^{-1}$ , muito rápido.

Quanto à porosidade drenável estimada a partir dos parâmetros físicos do solo, observa-se que ocorreu uma variação de 22,17 a 38,23% nos diferentes pontos amostrais cujo valor médio obtido foi de 29,43% conferindo, ao solo do local, uma classificação textural do tipo Franco-arenoso. No entanto, quando se atribuiu o valor médio da condutividade hidráulica obtida neste estudo (0,25  $\text{cm h}^{-1}$ ) à equação de van Beer, constata-se que a porosidade drenável estimada para o local é de  $\mu = 2,5\%$ . Beltrán (1986) enfatiza que a condutividade hidráulica e a porosidade drenável relacionadas com a textura, sendo que o solo “Argiloso” possuem  $\mu$  (variando de 1 a 3%) e K (variando de

0,05 a 0,1 m/d); solo “Franco-arenoso”,  $\mu$  (variando de 12 a 18%) e K (variando de 1,5 a 3,0 m/d); e solo “Arenoso-grosso”,  $\mu$  (variando de 26 a 35 %) e K > 6 m/d.

Em meio aos resultados encontrados neste estudo percebe-se que parâmetros hidrodinâmicos do solo são extremamente importantes em qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo e dimensionamento de sistemas de drenagem subterrânea (Figura 21). Segundo Erthal et al. (2010) altas concentrações de  $\text{Na}^+$  na solução do solo podem causar deterioração da estrutura do solo pela dispersão dos colóides e subsequentes entupimentos dos macroporos, causando decréscimo na permeabilidade à água e aos gases.

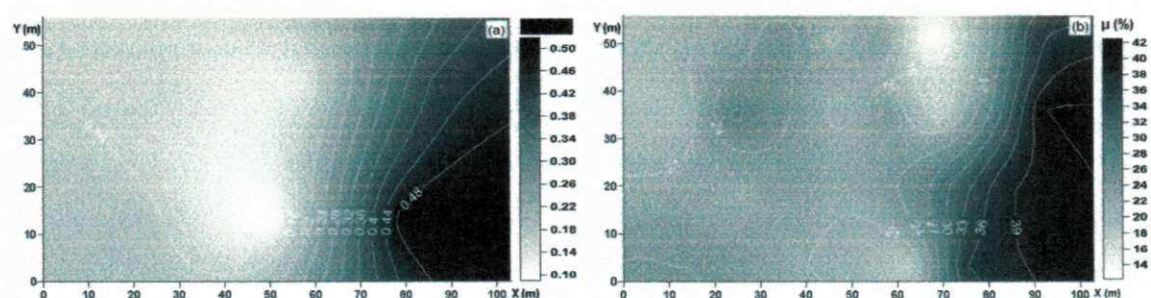


Figura 21: Mapa de contorno e isolinhas dos parâmetros hidrodinâmicos do solo condutividade hidráulica ( $K_0$ ) (a) e porosidade drenável ( $\mu$ ) (b)

## 5.6 Variabilidade espacial e temporal da salinidade no solo

Quando os dados se harmonizam próximos à distribuição normal a média aritmética pode ser considerada medida de tendência central; assim, o conjunto de dados observado são representativos, podendo ser utilizados na avaliação do solo e para propor um manejo adequado.

Na Tabela 7 são apresentados os valores das medidas estatísticas das variáveis potencial hidrogeniônico do extrato de saturação ( $\text{pH}_{\text{es}}$ ), condutividade elétrica do extrato de saturação ( $\text{CE}_{\text{es}}$ ) e potencial de sódio trocável (PST), para o período chuvoso.

Tabela 7: Medidas estatísticas dos parâmetros que classifica a salinidade do solo para o período chuvoso

Medida estatística	$\text{pH}_{\text{es}}$	$\text{CE}_{\text{es}}$ ( $\text{dS m}^{-1}$ )	PST
Média	7,10	1,94	14,80
Mediana	7,14	1,90	15,16
Desvio Padrão (s)	0,40	1,03	3,15
CV (%)	5,54	52,93	21,36
Variância (S)	0,15	1,05	9,93
Assimetria (Cs)	-0,10	0,36	-1,20
Coef. Curtose (K)	0,243	0,173	0,212

Verifica-se, observando os valores estatísticos do parâmetro  $pH_{es}$  para o período chuvoso, uma distribuição aproximadamente simétrica em torno da média visto que a média e a mediana são muito próximos, seu valores são 7,10 e 7,14, respectivamente, caracterizando um solo neutro. O valor da assimetria próximo a zero ( $C_s = -0,10$ ), com distribuição assimétrica negativa e suave, e o achatamento (Coef. curtose = 0,243) ligeiramente leptocúrtica. Pelos limites do coeficiente de variação proposto por Warrick e Nilssen (1980), o CV calculado foi de 5,54%, classificado baixo mostrando boa precisão experimental (Tabela 7); observa-se também que o gráfico da distribuição normal e o histograma mostram os pontos com bom ajuste da reta, sinalizando uma distribuição próxima do normal (Figura 22).

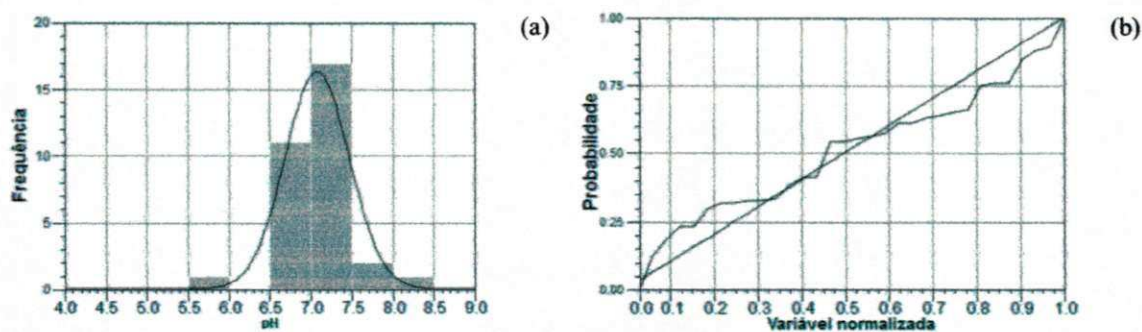


Figura 22: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) do  $pH_{es}$  para o período chuvoso

Com base nos os valores do parâmetro  $CE_{es}$  para o período chuvoso, verifica-se uma distribuição aproximadamente simétrica em torno da média, visto que a média e a mediana estão próximo, seus valores são 1,94 e 1,90, respectivamente. O valor da assimetria próximo a zero ( $C_s = 0,36$ ), com distribuição assimétrica positiva e suave, e o achatamento (Coef. curtose = 0,173) ligeiramente leptocúrtica. Pelos limites do coeficiente de variação propostos por Warrick & Nilssen (1980) o CV calculado foi de 52,93%, classificado médio (Tabela 7); observa-se que o gráfico da distribuição normal e o histograma, mostram os pontos com bom ajuste da reta, sinalizando uma distribuição próxima do normal (Figura 23).

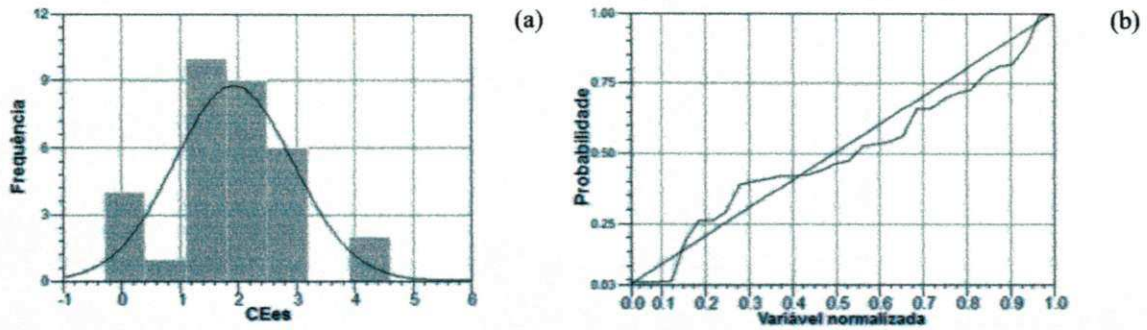


Figura 23: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) da  $CE_{es}$  para o período chuvoso

De acordo com os valores estatísticos do parâmetro PST verifica-se para o período chuvoso, uma distribuição aproximadamente simétrica em torno da média visto que a média e a mediana estão próximo, seu valores são 14,80 e 15,16, respectivamente. O valor da assimetria ( $C_s = -1,20$ ), com distribuição assimétrica negativa e suave, e o achatamento (Coef. curtose = 0,212) ligeiramente leptocúrtica. Pelos limites do coeficiente de variação propostos por Warrick & Nilssen (1980), o CV calculado foi de 21,36%, classificado médio (Tabela 7); observa-se também que o gráfico da distribuição normal e o histograma mostram os pontos com bom ajuste da reta, sinalizando uma distribuição próxima do normal (Figura 24).

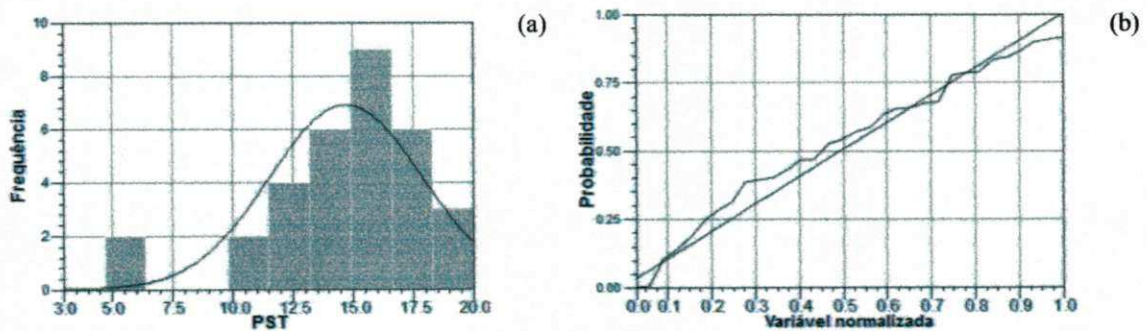


Figura 24: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) da PST para o período chuvoso

Na Tabela 8 são apresentados os valores das medidas estatísticas das variáveis potencial hidrogeniônico do extrato de saturação ( $pH_{es}$ ), condutividade elétrica do extrato de saturação ( $CE_{es}$ ) e potencial de sódio trocável (PST), para o período de escassez de precipitação.

Tabela 8: Medidas estatísticas dos parâmetros que classificam a salinidade do solo para o período escassez de precipitação

Medida estatística	pH <sub>es</sub>	CE <sub>es</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	PST
Média	7,51	2,13	17,03
Mediana	7,50	2,10	17,29
Desvio Padrão (s)	0,23	0,28	1,97
CV (%)	3,07	13,30	11,59
Variância (S)	0,05	0,08	3,90
Assimetria (Cs)	0,06	0,74	-0,12
Coef. Curtose (K)	0,323	0,223	0,296

Com base nos valores estatísticos do parâmetro pH para o período de escassez de precipitação, verifica-se uma distribuição aproximadamente simétrica em torno da média visto que a média e a mediana estão próximos, seus valores são 7,51 e 7,50, respectivamente, caracterizando um solo alcalino; cujo valor da assimetria muito próximo a zero ( $C_s = 0,06$ ), com distribuição assimétrica positiva e suave, e o achatamento (Coef. curtose = 0,323) platicúrtica. Pelos limites do coeficiente de variação propostos por Warrick & Nilssen (1980), o CV calculado foi de 3,07%, classificado baixo, mostrando boa precisão experimental (Tabela 8); observa-se também que o gráfico da distribuição normal e o histograma mostram os pontos com bom ajuste da reta, sinalizando uma distribuição próxima do normal (Figura 25).

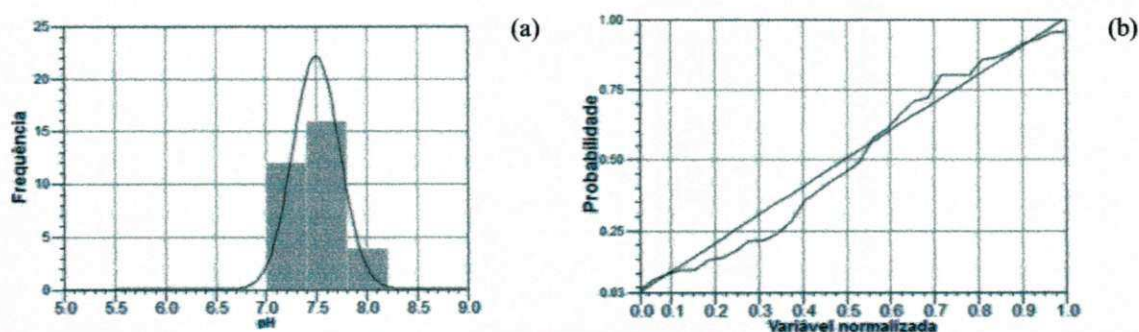


Figura 25: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) do pH para o período de escassez de precipitação

Com base nos valores estatísticos do parâmetro CE<sub>es</sub> para o período de escassez de precipitação (Tabela 8), verifica-se uma distribuição aproximadamente simétrica em torno da média visto que a média e a mediana são bem próximo, seu valores são 2,13 e 2,10, respectivamente. O valor da assimetria e próximo a zero ( $C_s = 0,74$ ), com distribuição assimétrica positiva e suave, e o achatamento (Coef. curtose = 0,223) ligeiramente leptocúrtica. Pelos limites do coeficiente de variação propostos por Warrick & Nilssen (1980), o CV calculado foi de 13,30%, próximo do limite inferior, sendo classificado



médio; observa-se também que o gráfico da distribuição normal e o histograma, mostra os pontos com bom ajuste da reta, sinalizando uma distribuição próxima do normal (Figura 26).

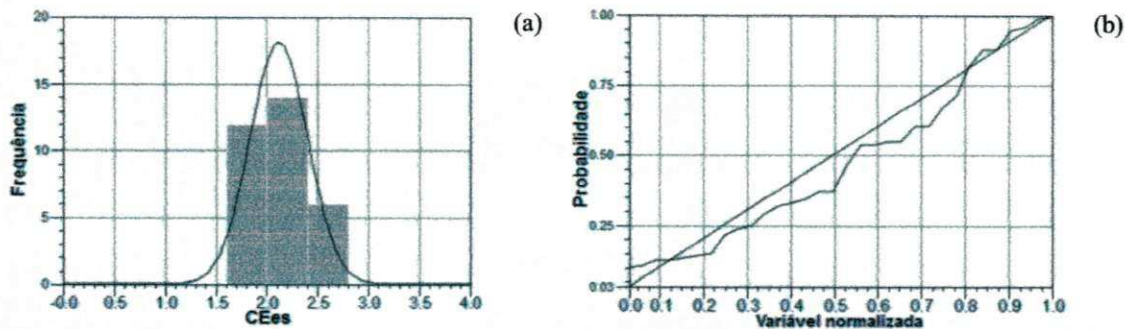


Figura 26: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) da  $CE_{es}$  para o período de escassez de precipitação

Observando os valores estatísticos do parâmetro PST para o período de escassez de precipitação (Tabela 8), verifica-se uma distribuição aproximadamente simétrica em torno da média visto que a média e a mediana são próximo, seu valores são 17,03 e 17,29, respectivamente. O valor da assimetria próximo a zero ( $C_s = -0,12$ ), com distribuição assimétrica negativa e suave, e o achatamento (Coef. curtose= 0,296) platicúrtica. Pelos limites do coeficiente de variação propostos por Warrick & Nilssen (1980), o CV calculado foi de 11,59%, classificado baixo mostrando boa precisão experimental; observa-se que o gráfico da distribuição normal e o histograma mostram os pontos com bom ajuste da reta, sinalizando uma distribuição próxima do normal (Figura 27).

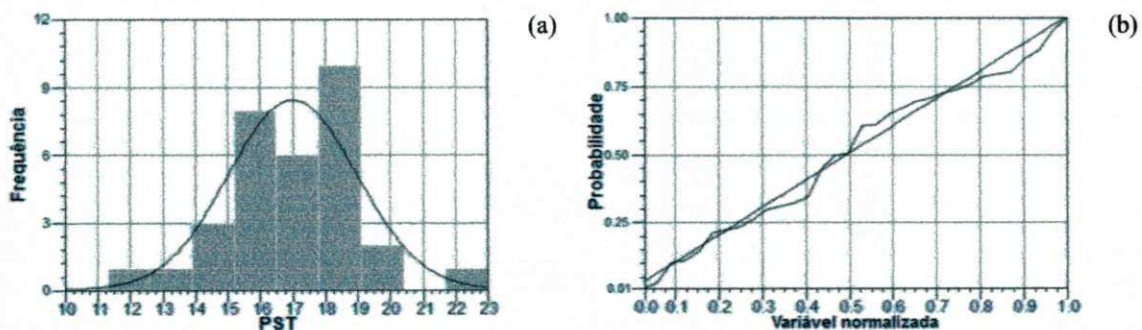


Figura 27: Histograma (a) e gráfico de probabilidade normal (b) da PST para o período de escassez de precipitação

### 5.6.1 Análise da dependência espacial

Na Tabela 9 observam-se os semivariogramas experimentais das variáveis analisadas e os modelos ajustados para os casos que apresentaram estrutura de dependência espacial para o período chuvoso. A estrutura e a dependência espacial são analisadas por meio de semivariogramas ajustados em que a dependência espacial é definida pelo alcance (a), do efeito pepita ( $C_0$ ) e pelo patamar ( $C_0+C_1$ ).

O modelo de ajuste com menor valor de informação de akaike para o parâmetro pH, foi o modelo “Esférico” e para os parâmetros  $CE_{es}$  e PST foi o modelo “Gaussiano” (Tabela 9). Segundo Lopes (2003) a informação de akaike, se refere para qual modelo o ajuste é mais preciso.

Tabela 9: Estimativa dos parâmetros do modelo teórico ajustados aos semivariogramas experimentais e à relação efeito pepita/patamar para o período chuvoso

Variável	Akaike	Parâmetros				Modelo
		Efeito Pepita ( $C_0$ )	Contribuição ( $C_0+C_1$ )	Alcance (a)	GD= ( $C_0/ C_0+C_1$ )*100	
pH	-42,75	0,047	0,107	26,41	43,93	Esférico
$CE_{es}$	-66,37	0,585	0,841	85,18	69,56	Gaussiano
PST	-24,15	5,75	6,32	243,51	90,98	Gaussiano

A classificação do grau da dependência espacial foi feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar ( $C/C_0+C_1$ ), considerada fraca superior a 75%, moderada entre 25% e 75%, e forte inferior a 25%, conforme Cambardella et al. (1994). O patamar ( $C_0+C_1$ ) é atingido quando a variância espacial dos dados ( $C_1$ ) se torna constante com o aumento da distância entre as amostras (SOUZA, 2000).

Observa-se que o alcance obtido para os parâmetros estudados foi pH= 26,41 m,  $CE_{es}$ = 85,18 m e PST= 243,51 m (Tabela 9). Segundo SANTOS et al, (2012) o alcance da dependência espacial é um parâmetro importante no semivariograma, pois define a distância máxima até onde o valor de uma variável possui relação de dependência espacial com seus vizinhos.

Na modelagem geostatística dos parâmetros da área experimental observa-se que o grau de dependência (GD) obtido foi pH = 43,93,  $CE_{es}$  = 69,56 e PST = 90,98 (Tabela 9). Segundo Isaaks & Srivastava (1989) a magnitude do efeito pepita é fundamental no processo pois, quanto maior também for a diferença do efeito pepita em relação ao patamar

do semivariograma, maior será a continuidade do fenômeno e menor a variância da estimativa, ou seja, maior a confiança que se pode ter na estimativa gerada.

Na Figuras 28, 29 e 30 observam-se os modelos ajustados para os casos em que foi apresentada dependência espacial; no período chuvoso os parâmetros pH e  $CE_{cs}$ , apresenta moderada dependência espacial, a PST, devido ao elevado efeito pepita ter apresentado fraca dependência espacial, concordando com valores obtidos por Souza, 2000 e Santos et al, 2012 em estudos da variabilidade espacial dos parâmetros que caracterizam a salinidade do solo resultando em mapas de contorno e isolinhas, permitindo a visualização das áreas impactadas por salinidade e sodicidade.

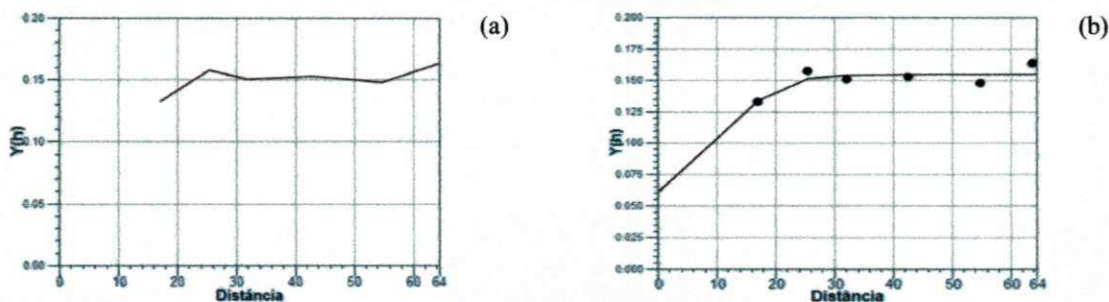


Figura 28: Semivariograma experimental (a) e modelos ajustados (b) do pH.

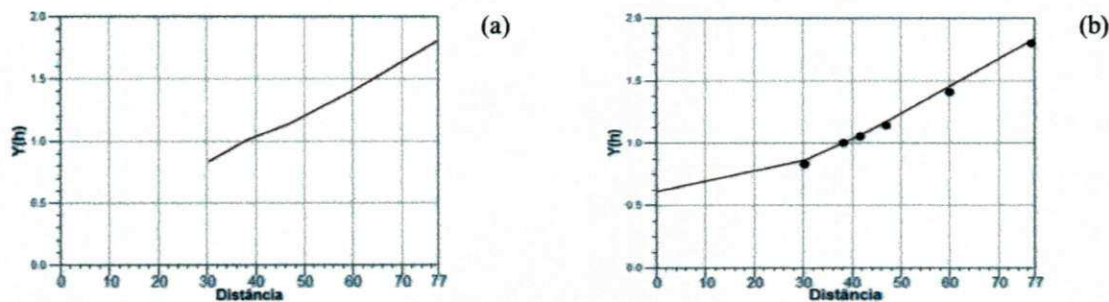


Figura 29: Semivariograma experimental (a) e modelos ajustados (b) da  $CE_{cs}$ .

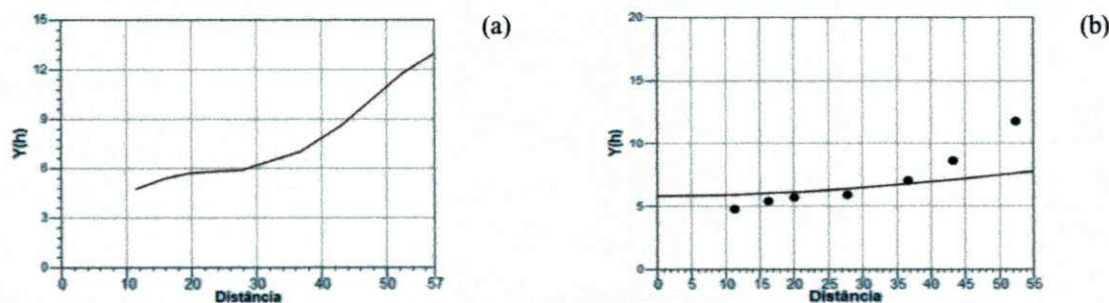


Figura 30: Semivariograma experimental (a) e modelos ajustados (b) da PST.

Na Tabela 10, observam-se os semivariogramas experimentais das variáveis analisadas e os modelos ajustados para os casos que apresentaram estrutura de dependência espacial, para o período de escassez de precipitação. Neste período os modelos de ajuste

com menor valor de informações de akaike para os parâmetros pH,  $CE_{es}$  e PST, foram o “Esférico”, “Gaussiano” e “Exponencial”, respectivamente.

Tabela 10: Estimativa dos parâmetros do modelo teórico ajustado aos semivariogramas experimentais e a relação efeito pepita/patamar para o período de escassez de precipitação

Variável	Akaike	Parâmetros				Modelo
		Efeito Pepita ( $C_0$ )	Contribuição ( $C_0+C_1$ )	Alcance (a)	GD= ( $C_0/ C_0+C_1$ )*100	
pH	-43,75	0,022	0,036	34,34	61,11	Esférico
$CE_{es}$	-51,63	0,033	0,055	21,59	60,00	Gaussiano
PST	-40,16	3,223	3,301	552,84	97,64	Exponencial

Com a análise no período de escassez de chuva dos parâmetros pH,  $CE_{es}$ , observa-se moderada dependência espacial, e a PST fraca dependência espacial, tal como ocorreu no período chuvoso, conforme classificação apresentada por Cambardella et al. (1994). Os valores de alcance obtidos foram pH= 34,34 m,  $CE_{es}$ = 21,59 m e PST= 552,84 m e, quanto ao grau de dependência (GD) se observa os valores para o pH= 61,11,  $CE_{es}$ = 69,56 m e PST = 90,98 m (Tabela 9).

No período de escassez de precipitação observam-se, pelas Figuras 31, 32 e 33, os modelos ajustados para os casos em que apresentaram dependência espacial. Segundo Zucoloto et al., (2011) comprovada a dependência espacial dos atributos estudados utiliza-se o método de krigagem ordinária para a interpolação dos valores dos atributos.

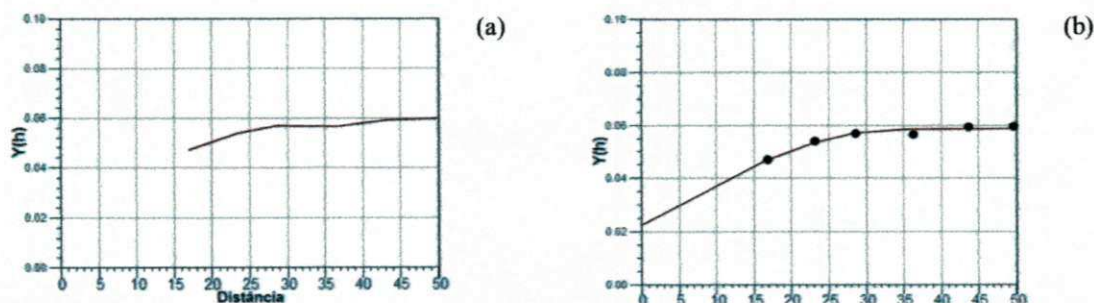


Figura 31: Semivariograma experimental (a) e modelos ajustados (b) do pH

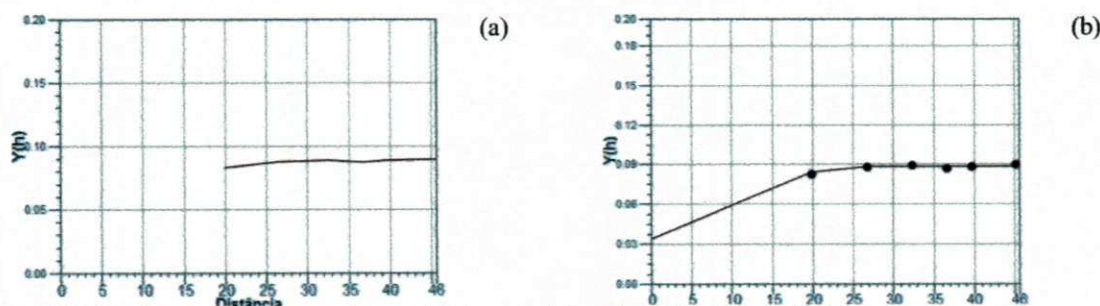


Figura 32: Semivariograma experimental (a) e modelos ajustados (b) da  $CE_{es}$

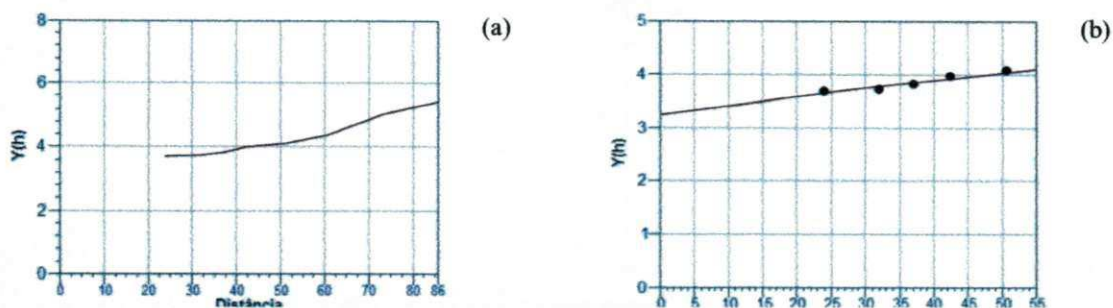


Figura 33: Semivariograma experimental (a) e modelos ajustados (b) da PST

As amostragens do solo nos distintos períodos avaliados evidenciam, na área de estudo, em 2012, a degradação do solo pelo processo de salinidade e sodicidade, devido às condições imperfeitas de drenagem e ao uso de águas poluídas na irrigação, agravados pelas condições climáticas da região. Os aumentos nas concentrações de sais solúveis na solução do solo (Salinidade) e/ou o aumento da percentagem de sódios trocável (Sodicidade), podem ser constatado pelas análises químicas dos parâmetros de classificação do solo afetado por sais (Apêndice 2), cujos parâmetros observados na modelagem geoestatística apresentaram o mesmo enquadramento no grau de dependência espacial, ao longo do tempo.

Conforme Cambardella et al. (1994) os atributos que apresentaram forte dependência espacial são mais influenciados por propriedades intrínsecas do solo, como textura e mineralogia; por outro lado, os que apresentaram fraca dependência são mais influenciados por fatores externos, tais como: qualidade da água de irrigação, preparo do solo, ou seja, pelo manejo da água e solo.

No estudo a partir dos parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados para cada variável, foram estimados os valores em locais não amostrados, por meio do interpolador geoestatístico krigagem. Leão (2009) em estudo da variabilidade espacial da salinidade do solo, no perímetro irrigado Engenho Arcoverde, em Condado, PB, destacando-se que o conhecimento da variação espacial de atributos de solo pode contribuir para o planejamento de lavouras, objetivando ao manejo adequado.

### 5.6.2 Interpolação por krigagem

Analisando os mapas de contorno e as isolinhas dos pontos amostrais da área de estudo observa-se os problemas de salinidade e sodicidade aumentaram ao longo do tempo. O exposto fica melhor apresentado pela escala de valores dos parâmetros estudados; no

período chuvoso os valores máximos se correlacionam com os valores mínimos do período de escassez de precipitação, indicando um aumento nos processos de salinização e sodicidade no solo, ocasionados pelo uso de água de qualidade inferior na irrigação e deficiência na drenagem natural, justificando a necessidade da implantação de um sistema drenagem artificial, com o intuito do manejo adequado da água e solo (Figuras 34, 35 e 36). Zucoloto et al. (2011) verificaram, em trabalho realizado no Estado do Espírito Santo e em plantio comercial de bananeira ‘Prata-Anã’, por meio de técnicas da geoestatística que todos os atributos químicos do solo e a produção da bananeira apresentaram dependência espacial, constituindo mapas temáticos por krigagem ordinária dos parâmetros, em pontos não amostrados.

Observa-se na Figura 34, que o pH do solo variou de 6,94 a 7,30, durante o período chuvoso, sendo classificado neutro. Para o período de escassez de precipitação ocorreu uma variação de 7,30 a 7,70 tendendo para um solo alcalino. Conforme Santos et al. (2010) a alcalinidade de solo salinizado é mais frequente em solos salino-sódicos e sódicos. De acordo com Queiroz et al. (2010) o pH do solo é influenciado, geralmente, pela composição e natureza dos cátions trocáveis, concentração de sais solúveis e pela presença ou ausência de gesso e carbonatos de cálcio e magnésio.

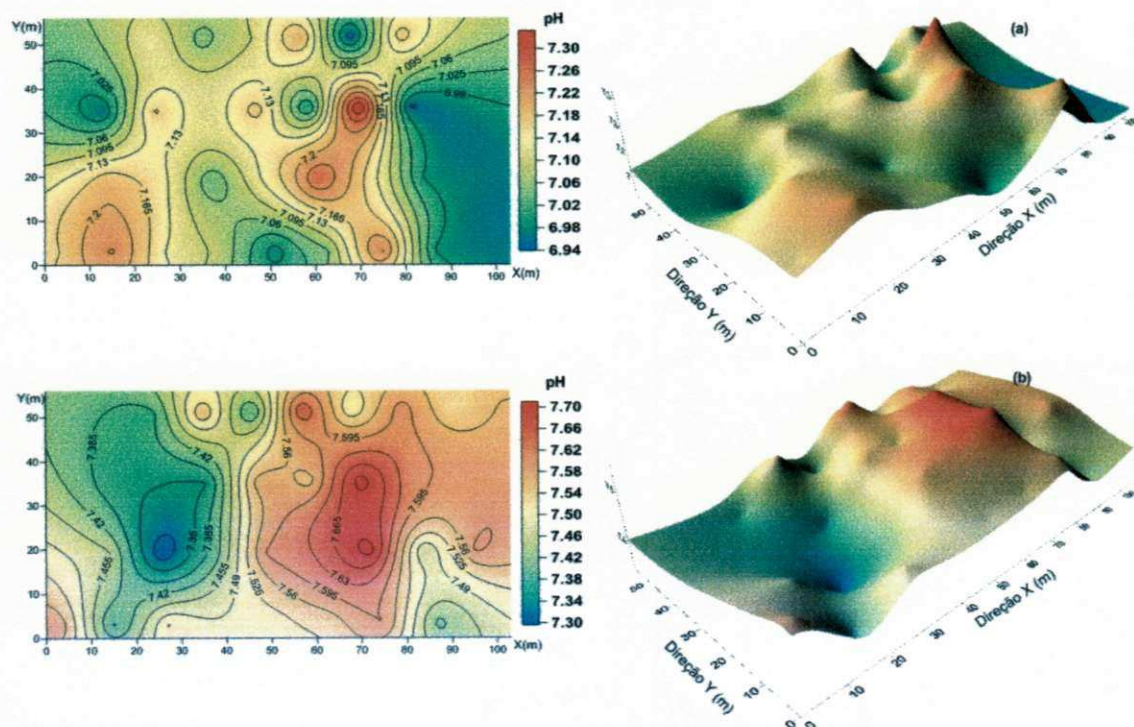


Figura 34: Superfície por Krigagem para a variável pH, (a) período chuvoso e (b) período de escassez de precipitação

Avaliando temporalmente a condutividade elétrica do extrato de saturação ( $CE_{es}$ ), observa-se aumento de salinidade no solo da área experimental, processo decorrente, provavelmente, da deposição de sais através das águas de irrigação e/ou da evaporação da água do solo no período de seca (Figura 35). Mendes et al. (2008) destacam, em estudo da variabilidade temporal fertilidade, salinidade e sodicidade em solos irrigados no município Congo, PB, a importância do manejo adequado da irrigação como prática no controle da salinidade do solo.

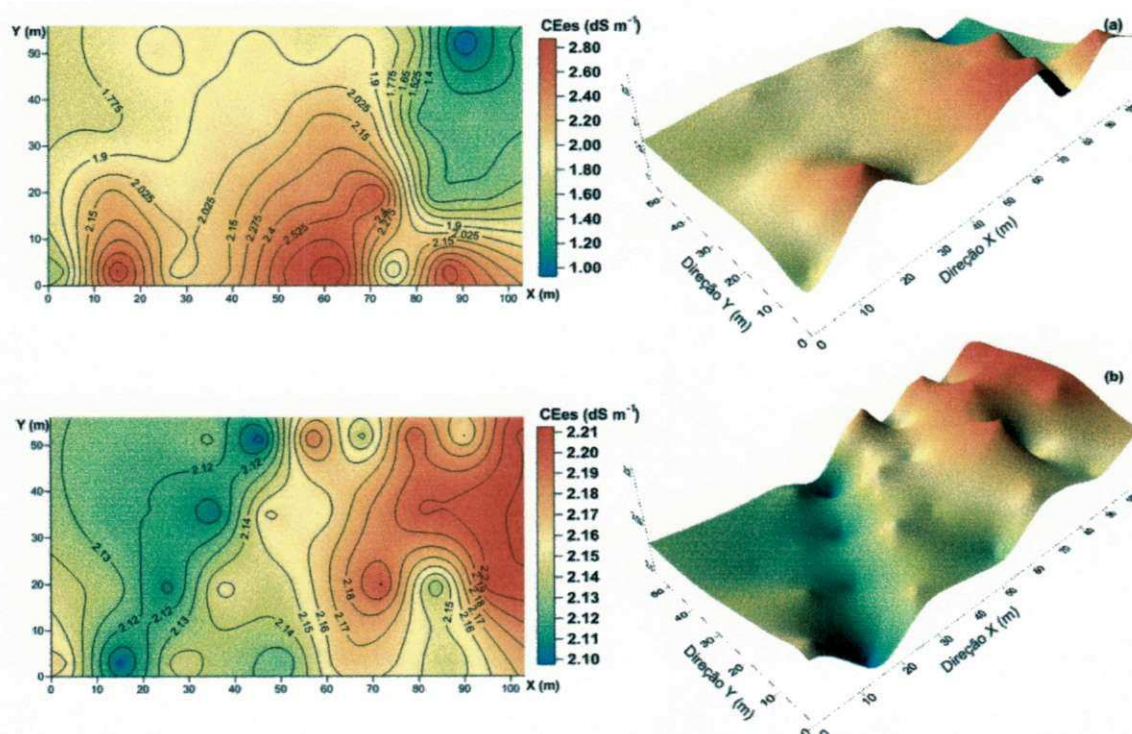


Figura 35: Superfície por Krigagem para a variável  $CE_{es}$ , (a) período chuvoso e (b) período de escassez de precipitação

No estudo de solos com problemas de sais é necessário conhecer a porcentagem de sódio trocável (PST); observa-se que os valores da PST no período de escassez aumentaram em relação ao período chuvoso (Figura 36). Segundo Mendes et al. (2008) o aumento da sodicidade é preocupante de uma vez que o excesso de sódio trocável nos solos pode influenciar suas propriedades químicas e físico-hídricas.

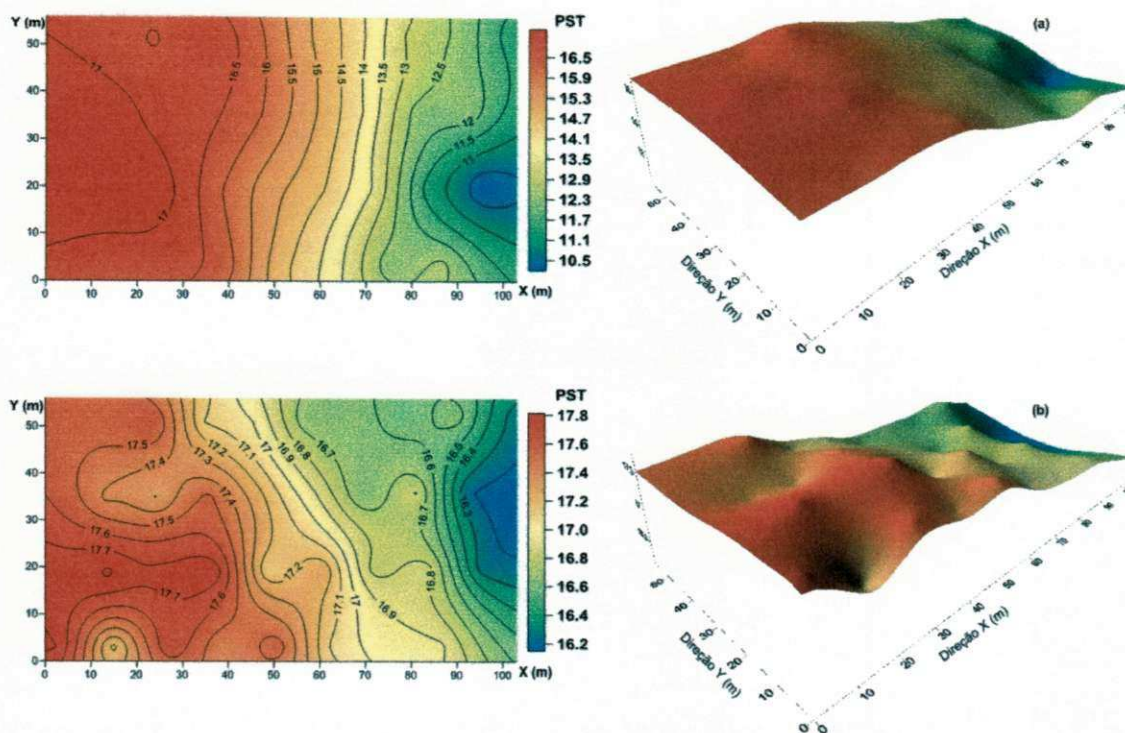


Figura 36: Superfície por Krigagem para a variável PST, (a) período chuvoso e (b) período de escassez de precipitação

Observa-se, pela variabilidade temporal e espacial realizada através da modelagem geoestatística dos parâmetros de classificação química do solo afetado por sais, a necessidade de implantação de práticas agrícolas com a finalidade de promover a recuperação do solo, como: o uso de recuperadores químicos, lâmina de lixiviação e sistema de drenagem, com a intenção de remover o excesso de sais e o sódio trocável do perfil do solo, observados em toda a área de estudo (Figuras 34, 35 e 36).

Diversas técnicas são utilizadas na recuperação, segundo Cavalcante et al. (2010); duas são fundamentais: a lavagem dos sais e a aplicação de melhoradores químicos; Bernardo (2006) destaca que, nos solos salinos ( $CE_{es}$  superior a  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ ), sua recuperação pode ser feita através da lixiviação dos sais e dos solos sódicos (PST superior a 15%) cuja melhoria poderá ocorrer com a aplicação de melhoradores químicos. Raramente se consegue a recuperação do solo afetado por sais utilizando-se um método isoladamente; a eficiência pode ser mais expressiva combinando-se duas ou mais técnicas (CAVALCANTE et al., 2010).



## 6 CONCLUSÕES

1. Durante o período de estudo a água do riacho Bodocongó, apresentou elevada concentração salina, ficando enquadrada na classe “Água Salobra”, imprópria para o cultivo de fruticultura irrigada, conforme a resolução nº 357 do CONAMA. Classificada com relação aos riscos de salinidade alto e muito alto (C<sub>3</sub>/C<sub>4</sub>) e com níveis de sodicidade baixo e médio (S<sub>1</sub>/S<sub>2</sub>).
2. No decorrer do experimento não foi observada presença do lençol freático em nenhum dos pontos de observação para a profundidade avaliada, devido, provavelmente, aos baixos índices pluviométricos registrados na região e da falta de lixiviação de água de irrigação.
3. O solo foi classificado, em 59% da área, como “Franco-arenoso”; no período chuvoso, quanto à salinidade: 38%, “Normal”; 3%, “Salino”; 3%, “Salino-Sódico”; e 56%, “Sódico”; no período de escassez de precipitação: 12%, “Normal” e 88%, “Sódico”, correspondendo a um incremento de 33%.
4. Os solos da região de estudo são naturalmente mal-drenados, com fertilidade média e problemas de sais, enquanto o manejo agrícola adotado na área de estudo, favoreceu os impactos ambientais negativos ao solo; assim, para a prática de agricultura irrigada com água do Riacho Bodocongó na área de estudo, faz-se presente a implantação de sistema de drenagem, como manejo adequado da água e solo.
5. No estudo, a água do Riacho Bodocongó utilizada na irrigação, possui o equivalente a 1,39 g L<sup>-1</sup> de concentração salina, um potencial de se adicionar, ao solo, 14,89 t/sal/há; contudo se observou no período de chuvoso, 771,03 kg de sais presentes na rizosfera e no período de escassez de precipitação 862,44 kg de sais verificando-se que para atender às necessidades hídricas da cultura e promover a lixiviação dos sais, ocorreu um déficit hídrico de -1.141,46 mm/ano contribuindo, desta forma, com a degradação do solo evidenciando a necessidade da implantação de sistema de drenagem.
6. A prática da irrigação com água de qualidade inferior nas áreas de estudo, associada às condições edafoclimáticas desfavoráveis e a drenagem insuficiente, gerou efeitos negativos ao solo como a concentração excessiva de sais e os problemas de infiltração, observados através dos parâmetros hidrodinâmicos do solo em que a

porosidade drenável estimada a partir da análise física do solo, lhe confere classificação textural predominante “Franco-arenoso”, enquanto a condutividade hidráulica se apresentou lenta nos pontos avaliados, característico de estrutura compactada.

7. A modelagem geoestatística dos parâmetros pH,  $CE_{es}$  e PST mostrou-se adequada na identificação da vulnerabilidade do sistema de cultivo de bananeira irrigada com água do Riacho Bodocongó. Observou-se, a partir dos mapas de contorno e isolinhas, que o uso constante da irrigação com água poluída pode ocasionar acúmulo de sais na rizosfera, reduzir o potencial produtivo da cultura e promover degradação do solo, pela adição de sais solúveis, o que justifica o uso de tecnologias, como lâmina de lixiviação e sistema de drenagem artificial.

## 7 RECOMENDAÇÕES

1. O uso da água do Riacho de Bodocongó é restrito ou impróprio para a agricultura irrigada, na maioria das culturas, fato que deve ser levado em consideração quando a implantação de uma nova cultura na área.
2. Estudos complementares dos parâmetros físicos e hidrodinâmicos do solo (classe textural, condutividade hidráulica, e porosidade drenável), a fim de permitir a adoção de práticas de drenagem com manejo adequado da água e solo.
3. Utilizar culturas tolerantes à salinidade, por exemplo extensivas (Caupi, Arroz, Amendoim); hortaliças (Tomateiro, Abobrinha, Beterraba) e forrageiras (Capim-mimoso, Caupi, Cevada forrageira).
4. O solo da área de estudo carece de práticas agrícolas com a finalidade de promover a recuperação do solo, ocasionadas pelo processo de degradação por salinidade e sodicidade, como o uso de agentes químicos (gesso agrícola), aplicação de lâmina de lixiviação e/ou técnicas de drenagem.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA: **Dados pluviométricos.** Meteorologia/Chuvas. Disponível em: <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/medicaoPluviometrica.do?metodo=chuvasDiariasMapa> (acesso em dezembro de 2012).

AKAIKE, H.: **A New Look at Statistical Model Identification.** IEEE Transactions on Automatic Control, 19 (6): 716-723, Dec. 1974.

ALMEIDA, O. Á. DE: **Qualidade da água de irrigação.** Cruz das Almas : Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Disponível em <[http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro\\_qualidade\\_agua.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro_qualidade_agua.pdf)> (acesso em outubro de 2012).

ALVES, E. J.: **A cultura da bananeira: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais.** 2ª ed. Brasília: EMBRAPA/CNPMP. 585, 1999. pg. 90-91.

ANA - Agência Nacional de Águas: **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012.** Ed. Especial. 215 pg. Brasília, 2012.

ANDRADE, E. M. de; AQUINO, D. N.; CRISOSTOMO, L. e A.; RODRIGUES, J. O.; CHAVES, L. C. G. Similaridade da composição hidroquímica das águas freáticas do perímetro irrigado do Baixo Acaraú, Ceará, Brasil. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, RR, v. 4, n. 1, p. 11-19, jan/jun, 2010.

ASSIS JÚNIOR, R. N. de e SILVA E. F. da: Efeito da qualidade da água de irrigação sobre os atributos físicos de um neossolo flúvico do município de Quixeré, CE – Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, outubro de 2012. 36:1778-1786.

AYERS, R. S. & WESTCOT, D.W.: **A qualidade de água na agricultura.** Campina Grande-PB: UFPB, 1999.

BARRETO, A. N., OLIVEIRA, G. R., NOGUEIRA, L. C.; IVO, W. M. P. M.: Condutividade hidráulica saturada em um solo aluvial do perímetro irrigado de São Gonçalo, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.5, nº 1, 2001. pg.152-155.

BARRETO, H. B. F.; AMARAL JÚNIOR, V. P. DO; MAIA, P. DE M. E.; SILVA NETO, S. J. DA: Variabilidade espacial do ph e condutividade elétrica em solo cultivado com arroz irrigado no Rio Grande do Norte. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) vol.7, nº 1, pg. 182 – 188, jan/mar de 2012.

BARROSO, A. de A. F.; NESS, R. L. L.; GOMES FILHO, R. R.; SILVA, F. L. da; CHAVES, M. J. L.; LIMA, C. A. de. Avaliação qualitativa das águas subterrâneas para irrigação na região do baixo Jaguaribe – Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE, v.4, nº. 3, p.150–155, 2010.

BARROSO, L. B. e WOLFF, D. B.: Reuso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. **Engenharia ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, vol. 8, nº 3, p. 225-236, jul/set de 2011.

BATISTA, M. DE J.; NOVAES, F. DE; SANTOS, D. GARCIA DOS et al.: **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2ª ed., revisada e ampliada. Brasília: CODEVASF, 2002. 216 pg.

BELTRÁN, J. M. **Drenaje agrícola**. Madrid: Ministerio da Agricultura, Pesca y Alimentacion, 1986. 239p.

BERGEZ, J. E. e NOLLEAU, S. Maize grain yield variability between irrigation stands: a theoretical study. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, vol. 60, nº 1, p. 43-57, 2003.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Atualizada e ampliada, Viçosa-MG: UFV, 2009. 625 pg.

BORGES, A. L. e SOUSA, L. S.: **O cultivo da bananeira**. Aldo Vilar Trindade et al. Cruz das almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004.

BRASIL: Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm) (acesso em dezembro de 2012).

CAMARGO, E. C. G.: **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (Krigagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (SPRING)**. INPE, São José dos Campos, Junho de 1997. Dissertação de Mestrado.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEM, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPA, A.E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p.1501-1511, 1994.

CAVALCANTE, L. F.; SANTOS, R. V. dos.; HERNANDEZ, F. F. F.; GHEYI, H. R.; DIAS, T. J.: Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R., DIAS, N. S., LACERDA, C. F.; **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicações**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. pg. 43-59.

CEBALLOS, B. S. O.; KONIG, A.; ROLIM, H. O.; ARAÚJO, M. L.; GUIMARÃES, A. O.: Efeito do represamento na qualidade da água de um rio impactado por esgotos- Rio Bodocongó, Campina Grande, PB. In: **21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Trabalhos Técnicos. Brasil. 2000.

CHRISTOFIDIS, D.: Água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. **Revista ciências exatas**, Taubaté, vol. 12, nº 1, pg. 37-46, 2006.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Legislação ambiental**. Resolução nº. 357 de 17 de Março de 2005, Publicação DOU nº 053, de 18/03/2005, pg. 58-63. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. (acesso em dezembro de 2012).

CORDEIRO, G. G.: **Qualidade de água para fins de irrigação (Conceitos básicos e práticas)**. Petrolina, PE: Embrapa SemiÁrido, 2001. 32 pg. ISSN 1516-1633.

COSTA, E. L. DA; COELHO, E. F.; SIMÃO, F. R.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, P. M.: Irrigação da bananeira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, vol. 29. nº 245, pg. 38-58, jul/ago de 2008.

CRUCIANI, D. E.: **A drenagem na agricultura**. São Paulo-SP, Nobel. 1940.

DIAS, N. da S.; GHEYI, H. R.; DUARTE, S. N.: **Prevenção, manejo e recuperação dos solos afetados por sais**. Serie Didática nº 013. Piracicaba: ESALQ/USP/LER. 2003. pg. 118.

DONATO, S. L. R. E ARANTES, A, DE M.: Estresses Hídricos e Térmicos: Efeitos e Estratégias de Resistência. In: COELHO, E. F E BORGES, A. L.: **Curso de bananicultura irrigada**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009.

DOORENBOS, J. & KASSAM, A. H.: **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande-PB: UFPB. Tradução de Gheyi, H. R.; Sousa, A. A.; Damaceno, F. A. V.; Medeiros, J. F., 1994. 306 pg. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem).

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O.: **Las necesidades de aguas de los cultivos**. Roma, FAO, 1976, 143 p. (Estudios FAO: Riego y Drenaje, 24)

EMBRAPA, Centro nacional de pesquisa de solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, 1997. 212 pg.

ERTHAL, V.J.T.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T. et al.: Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG, vol.14, nº 5, pg.467-477, 2010.

FAO/STAT. **Produção Mundial de Banana**. Disponível em: <http://www.fao.org>. (Acesso em novembro de 2012).

FARIAS, M. S. S.: **Diagnóstico da Necessidade de Drenagem no Perímetro Irrigado de São Gonçalo**. Campina Grande, PB, 1999: UEPB. Dissertação de Mestrado.

FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. 412p

FERNANDES, M. A.; VILAR, O. M.: Medida da condutividade hidráulica em solo não saturado por meio do infiltrômetro de disco. In: **Anais VII Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados**, vol. 1. 2011. Pirenópolis, GO.

FERREIRA, P. A. et.al.: Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas. In: GHEYI, H. R., DIAS, N. S., LACERDA, C. F.; **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicações**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. pg. 21-41.

FERREIRA, S. T.: **Avaliação da relação entre a condutividade hidráulica do solo saturado com parâmetros físicos de um latossolo vermelho distrófico submetido a dois diferentes manejos**. Ponta Grossa, PR 2008: UEPG, Dissertação de Mestrado.

FIGUEIRÊDO, V. B.; MEDEIROS, J. F. DE; ZOCOLER, J. L.; SOBRINHO, J. E.: Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, vol.29, nº 2, pg.231-240, abr/jun de 2009.

GOMES F. P. **Curso de estatística experimental**. 14ª ed. Piracicaba, Degaspari. 477p., 2000.

GOMES M. A. F. e FILIZOLA, H. F.: **Indicadores Físicos e Químicos de Qualidade de Solo de Interesse Agrícola**. EMBRAPA, Jaguariúna-SP, 2006.

GUERRA, H. O. C.: **Física dos Solos**. Unidade Acadêmica de engenharia Agrícola. Centro de Tecnologia de Engenharia Agrícola e Recursos Naturais CTRN-UFCG. 175p. Campina Grande-PB, 2000.

HOLANDA, J. S., AMORIM, J. R. A., FERREIRA NETO, M., HOLANDA, A. C.: Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R., DIAS, N. S., LACERDA, C. F.; **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicações**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. pg. 43-59.

HURTADO, A. L. B.; CICHOTA, R.; LIER, Q. DE J. V.: Parametrização do método do perfil instantâneo para a determinação da condutividade hidráulica do solo em experimentos com evaporação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, vol. 29 nº 2 viçosa mar/apr de 2005.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_201208.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201208.pdf) (acessado em dezembro de 2012).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: **Séries históricas e estatísticas**. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=CD77&t=populacao-presente-residente-sexo-dados-universo> (acesso em janeiro de 2013).

INGARAMO, O.E. **Indicadores físicos de la degradación del suelo**. La Coruña, Universidade da Coruña, 2003. 298p. (Tese de Doutorado)

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA: **Boletim das condições climáticas mensais, 2012.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=agrometeorologia/boletinsAgroclimatologicos> (acesso em 2013).

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

KUMMER, A. C. et.al. Qualidade da água residuária para irrigação do trigo. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, pg. 297 - 308, 2012.

LACERDA, R. D., GERRA, H. O. C., BARROS, G., CAVALCANTI, L. F.: Determinação da condutividade hidráulica de um solo argiloso pelo método do perfil instantâneo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, ano/vol. 5, nº 001, 2005. UEPB, Campina Grande-PB.

LANDIM, P. M. B. e STURARO, J.R. **Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos.** Geomatemática, Texto Didático 6, DGA, IGCE, UNESP. Rio Claro, SP, 2002.

LANDIM, P. M. B.: **GeoEas: Introdução à análise geoestatística.** Texto Didático 11, DGA, IGCE, UNESP. Rio Claro, SP, 2003. 114 pg.

LEÃO, A. B.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. DE B.; GUERRA, H. O. C.; ANDRADE, A. R. S. DE: Variabilidade espacial da salinidade do solo no perímetro irrigado engenheiro Arcoverde, Condado, PB. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, vol. 6, nº 3, pg. 404-421, set/dez de 2009.

LIMA JUNIOR, J. A. DE & SILVA, A. L. P. DA: Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, nº 11; 2010.

LIMA, A. S.; MIRANDA, N. DE O.; MEDEIROS, J. F. DE; BARRETO, H. B. F.; AMARAL JÚNIOR, V. P.: Avaliação de parâmetros de salinidade em dois solos submetidos a lâminas crescentes de irrigação com água salina. **Revista Verde (Mossoró - RN - Brasil)** vol.7, nº 1, pg. 154 - 158 jan/mar de 2012.

LIMA, V. L. A., FARIAS, M. S. S.; BORGES JUNIOR, J. C. F.: Drenagem agrícola no manejo dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R., DIAS, N. S., LACERDA, C. F.; **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicações.** Fortaleza, INCT Sal, 2010. pg. 369-381.

LOBATO, F. A. DE O.; ANDRADE, E. M. DE; MEIRELES, A. C. M.; CRISOSTOMO, L. A.: Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, vol. 39, nº 01, pg. 167-172, jan/mar de 2008.



LOPES, E. S. S.: **Procedimentos geoestatísticos com o "SPRING"- INPE**. Trabalho de conclusão de curso. Rio Claro, SP, 2003. 59 pg. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/spring/english/det\\_pub.php?termo=81&tipo=Trabalho%20Cient%EDfco](http://www.dpi.inpe.br/spring/english/det_pub.php?termo=81&tipo=Trabalho%20Cient%EDfco).

LOPES, F. B.; CHAVES, L. C. G.; ANDRADE, E. M. DE; CRISOSTOMO, L. A.: Risco de degradação em solo irrigado do perímetro irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Irriga**, Botucatu, vol. 16, nº 4, pg. 424-435, out/dez de 2011.

MACÊDO, L. DE S.; SOUSA, M. R. DE; MORRILL, W. B. B.: Drenagem para controle da salinidade. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, vol.1, nº 2, pg.69-71, dezembro de 2007.

MACÊDO, L. S.; SOUSA, M. R.; MORRILL, W. B. B.: Drenagem para controle da salinidade. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, vol. 1, nº 2, pg.69-71, dezembro de 2007.

MAGALHÃES, N. F.; NUNES, A. A. B.; CEBALLOS, B. S. O.; KONING, A.: Principais impactos nas margens do Baixo Riacho Bodocongó-PB, decorrentes da irrigação com águas poluídas com esgotos. **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária Ambiental**, 1999.

MARQUES, P. R. R.; DONATO, S. L. R.; PEREIRA, M. C. T.; COELHO, E. F.; ARANTES, A. DE M. Características agronômicas de bananeiras tipo Prata sob diferentes sistemas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, vol.46, nº 8, pg.852-859, agosto de 2011.

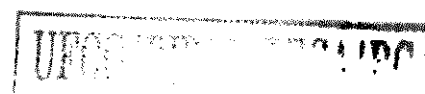
MASCARENHAS, J. DE C.; BELTRÃO, B. A.; SOUZA JUNIOR, L. C. DE; MORAIS, FRANKLIN DE; MENDES, V. A.; MIRANDA, J. L. F. DE.: Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Queimadas, estado da Paraíba**. Recife-PE, 2005: CPRM/PRODEEM.

MAYER, M.G.R.; CEBALLOS, B.S.O.; LUCENA, J.H.; KÖNIG, A.; SUASSUNA, E. N.: Variação espaço - temporal da qualidade das águas de um rio poluído com esgoto doméstico (PB-Brasil). **XXVI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**. Lima-Peru, 1998.

MELLO, C. R. de; OLIVEIRA, G. C. de; FERREIRA, D. F.; LIMA, J. M. de: Predição da porosidade drenável e disponibilidade de água para Cambissolos da Microrregião Campos das Vertentes, MG. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, vol. 37, nº 9, pg. 1319-1324, setembro de 2002.

MENDES, J. S.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.: Variabilidade temporal da fertilidade, salinidade e sodicidade de solos irrigados no município de Congo, PB. **Revista Brasileira de Ciência Agrária**. Recife, vol. 3, nº1, pg.13-19, 2008.

MILLAR, A.: **A drenagem de terras agrícolas: Bases agronômicas**. São Paulo: Editerra Ltda., 1988. 306p.



MION, R. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; SALES, F. A. de L.; SILVA, S. F. da; DUARTE, J. M. L.; SOUSA, B. M. de: Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um solo argiloso amarelo. **Semana: Ciências Agrárias**, Londrina, vol. 33, nº 6, pg. 2057-2066, nov./dez. 2012.

MONTEIRO, A. L. N.; MONTENEGRO, A. A. DE A.; MONTENEGRO, S. M. G.; SANTOS, F. X. DOS.: Avaliação de lavagem parcial de sais em neossolo flúvico irrigado, utilizando modelagem computacional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, vol. 29, nº 2, pg. 207-220, abr/jun de 2009.

MORAES, S. O., LIBARDI, P.L., REICHARDT, K., BACCHI, O.O.S.: Heterogeneidade dos pontos experimentais de curvas de retenção da água no solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, Brasil, out/dez de 1993.

MOTA, L. H. DA S. DE O.; GOMES, A. DA S.; VALLADARES, G. S.; MAGALHÃES, R. M. F.; LEITE, H. M. F.; Silva, T A. da: Risco de salinização das terras do baixo Acaraú (CE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, junho de 2012. 36:1203-1209.

PELÁ, G. DE M.: **Mapeamento de atributos do solo para o planejamento da irrigação sob pivô central**. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007. Tese (Doutorado).

PERH-PB : **Plano estadual de recursos hídricos**. Resumo expandido & atlas, Governo do Estado da Paraíba; Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente, SECTMA; Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. – Brasília, DF : Consórcio TC/BR – Concremat, 2006. 112p.: il. Disponível em <http://www.aesa.pb.gov.br/perh/> (acesso em novembro de 2012).

PIZARRO, F.: **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Ed. Agrícola Espanõla. Caballero de Gracia, S.A. Madrid, 1978.

QUEIROZ, J. E. et al.: Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEYI, H. R., DIAS, N. S., LACERDA, C. F.; **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicações**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. pg. 63-81.

QUEIROZ, J. E. **Parâmetros hidrodinâmicos de um solo de várzea para fins de drenagem subterrânea**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1995. 167p. Tese Doutorado.

QUEIROZ, J. E.: Um Novo Método De Cálculo Da Porosidade Drenável. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, vol. I, pg. 117-119, 1997.

QUEIROZ, J. E.; CRUCIANI, D. E.; LIBARDI, P. L.: Planejamento da drenagem subterrânea considerando a variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo. In: **Congresso nacional de irrigação e drenagem**, 11, 1996, Campinas - SP. CAMPINAS-SP, pg. 629-640.

QUEIROZ, J. E.; CRUCIANI, D. E.; LIBARDI, P. L.: Variabilidade espacial da porosidade drenável de um solo de várzea, no município de Piracicaba, estado de São

Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, vol.3, nº 2, pg. 135-139, 1999.

RAMALHO NETO, J. DE S., et al.: Qualidade da água utilizada em *Saccharum officinarum* no sertão paraibano: riscos ao sistema de irrigação e ao solo. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**. vol. 9, nº 4, pg. 173-182, out/dez de 2012.

REZENDE, F. C.; RIBEIRO, V. B., ÁVILA, L. F.; FARIA, M. A. DE; SILVA, E. L. DA.: Variabilidade espacial do pH em área com cafeeiro fertirrigado e sistema tradicional. **Coffee Science**, Lavras, vol. 7, nº 3, pg. 198-207, set/dez de 2012.

RHOADES, J.D. Drainage for salinity control. In: VAN SCHILFGAARDE, J. (ed.). **Drainage for agriculture**. Madison (EUA), 1974. p. 433-461. (Agronomy, 17).

RICHARDS, L. A. (ed): **Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils**. Washington D. C.: United States Salinity Laboratory Staff. 166 pg., USDA. Agriculture Handbook nº 60, Issued February 1954.

S. JUNIOR, G. DE S. E; MORAIS, M. B. DE; CAMARA, T. R.; WILLADINO, L.: Crescimento de genótipos diplóides de bananeira submetidos ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.16, nº 11, pg.1145-1151, 2012.

SANT'ANA, J. A. DO V.; COELHO, E. F.; FARIA, M. A. DE; SILVA, E. L. DA; DONATO, S. L. R.: Distribuição de raízes de bananeira 'Prata-Anã' no segundo ciclo de produção sob três sistemas de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, vol. 34, nº 1, pg. 124-133, Março de 2012.

SANTANA, M. J. de; CARVALHO, J. de A.; SOUZA, K. J. de; SOUSA, A. M. G. de; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. de. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1470-1476, set./out., 2007.

SANTOS, A. R. dos; PELUZIO, T. M. de O.; SAITO, N. S.: **SPRING 5.1.2: passo a passo: aplicações práticas**. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 153 pg.

SANTOS, K. S. et al.: Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.16 nº 8. Campina Grande-PB. Agosto de 2012.

SILVA NETO, M. F. DA; MACEDO, M. L. A. DE; ANDRADE, A. R. S. DE; FREITAS, J. C. DE; PEREIRA, E. R. R.: Análise do perfil agrícola do perímetro irrigado de São Gonçalo-PB. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, vol.5, nº 2, pg. 155-172, 2012.

SILVA, I. N.; FONTES L. O.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. B.; OLIVEIRA, A. C.: Qualidade de água na irrigação. **ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido**, vol.07, nº 03, pg. 01, 15 jul/set de 2011.

SILVA, J. L. A. e ALMEIDA, J. A. C.: Reflexões Arqueológicas: estudo dos sítios arqueológicos do município de Queimadas-PB. TARAIRIÚ – **Revista do Laboratório de Arqueologia e Paleontologia da UEPB**. Campina Grande, Ano II – Vol.1, nº 02, Março de 2011.

SILVA, J. L. de A.; ALVES, S. S. V.; NASCIMENTO, I. B. do; SILVA, M. V. T. da; MEDEIRO, J. F.R de: Evolução da salinidade em solos representativos do Agropólo Mossoró-Assu cultivado com meloeiro com água de diferentes salinidades. **ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido**, vol. 7, nº 4 outubro/dezembro 2011, pg. 26-31.

SILVA, J. T. A. e BORGES, A. L.: Solo, nutrição e adubação da bananeira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, vol. 29. nº 245, pg. 25-37, jul/ago de 2008.

SOARES, N. S. DA C.; CEBALLOS, B. S. O.; OLIVEIRA, E. DE M.; KONIG, A. M: **Distribuição espaço temporal de bactérias indicadoras de contaminação e virus num riacho do trópico semi-árido**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Trabalhos Técnicos. Brasil, 2000.

SOUTO, K. G. M.; **Estado de conservação da mata ripária do Riacho Bodocongó**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências e Tecnologia, UEPB, 2012.

SOUZA, L. C. DE; QUEIROZ, J. E.; GHEYI, H. R.: Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.35-40, 2000.

SUDEMA - SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE: **Monitoramento das águas**. Disponível em: [http://www.sudema.pb.gov.br/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=360&Itemid=100002](http://www.sudema.pb.gov.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=360&Itemid=100002) (acesso em dezembro de 2012).

SUGUINO, H. H. e BARROS, J. C.: Dimensionamento de sistema de drenagem. In: GHEYI, H. R., DIAS, N. S., LACERDA, C. F.; **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicações**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. pg. 43-59.

TUNDISI, J. G. **Água no século 21: enfrentando a escassez**. RIMA/IIIE, 2003. 247 pg.

UCKER, F. E.; LIMA, P. B. S. DE O.; CAMARGO, M. F.; PENA, D. S.; CARDOSO, C. F.; PÊGO, A.W. E.: Elementos interferentes na qualidade da água para irrigação. **Revista Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. vol. 10, nº 10, pg. 2102-2111, jan/abr de 2013.

VENDRUSCULO, L. G.: Uso de Índices de Desempenho e do Critério de Akaike para Ajuste de Modelos de Semivariograma. Comunicado Técnico, nº 58, **Embrapa Informática Agropecuária**, Área de Comunicação e Negócios (ACN). Campinas, SP, dezembro de 2003.

WARRICK, A. W & NIELSEN, D. R.: Spatial variability of soil physical properties in the field In: **Hillel, D. Applications of soil physics**. New York: Academic. pg. 319-344, 1980.

XAVIER, F. A. DA S.; TAVARES, R. DE C.; MARQUES, G. V.; RODRIGUES, F. M.; OLIVEIRA, T. S. DE: Efeitos da irrigação localizada na granulometria e em atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico cultivado com coqueiro anão. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 43, nº 1, pg. 55-63, jan/mar de 2012.

ZUCOLOTO, M.; LIMA, J. S. DE S.; COELHO, R. I.: Correlação e variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produção de bananeira 'Prata-Anã'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, Volume Especial, E. 479-484, Outubro de 2011.

## APÊNDICES

Apêndice 1: Classificação da água do Riacho Bodocongó para o ano de 2012, segundo classes proposta por Ayers e Westcot (1999) e Richards (1954).

Tabela 1: Classificação da água quanto ao grau de restrição para uso na irrigação

Mês	Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	Sódio (Na <sup>+</sup> )	Potássio (K <sup>+</sup> )	Carbonatos (CO <sup>3-</sup> )	Bicarbonatos (HCO <sup>3-</sup> )	Cloretos (Cl <sup>-</sup> )	Sulfatos (SO <sup>2-</sup> )	TSD (meq L <sup>-1</sup> )	CE <sub>a</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	pH	*RAS <sup>o</sup> (meq L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	Classes		
													Ayers e Westcot, (1999)		Richards, (1954)
													Salinidade	Infiltração	
	Concentração iônica (meq L <sup>-1</sup> )														
Jan	2,72	4,90	7,43	0,44	0,00	3,87	9,22	Presença	15,80	1,58	7,60	4,04	Moderada	Nenhuma	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
Fev	3,97	3,53	8,72	0,54	0,00	5,97	10,47	Presença	17,44	1,74	7,62	5,42	Moderada	Nenhuma	C <sub>3</sub> S <sub>2</sub>
Mar	3,79	6,03	14,70	0,53	1,14	5,66	15,80	Presença	18,90	1,89	7,57	7,50	Moderada	Nenhuma	C <sub>3</sub> S <sub>2</sub>
Abr	4,26	7,04	15,62	0,51	0,96	6,54	20,50	Presença	30,32	3,03	7,88	7,43	Severa	Nenhuma	C <sub>4</sub> S <sub>2</sub>
Mai	2,37	3,49	6,79	0,44	0,00	3,31	8,37	Presença	14,22	1,42	7,03	4,18	Moderada	Nenhuma	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
Jun	2,21	2,90	5,13	0,41	0,28	2,68	7,05	Ausência	11,82	1,18	7,06	3,25	Moderada	Moderada	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
Jul	3,72	5,51	9,09	0,51	0,70	4,21	15,15	Presença	20,47	2,05	7,36	4,62	Moderada	Nenhuma	C <sub>3</sub> S <sub>2</sub>
Ago	2,96	5,58	9,18	0,51	0,50	6,12	13,47	Presença	20,42	2,04	7,50	4,91	Moderada	Nenhuma	C <sub>3</sub> S <sub>2</sub>
Set	3,76	7,16	14,50	0,53	0,00	6,67	18,32	Presença	26,00	2,60	7,39	6,95	Moderada	Nenhuma	C <sub>4</sub> S <sub>2</sub>
Out	3,90	6,89	16,54	0,53	1,62	5,47	19,10	Presença	26,37	2,64	7,70	7,88	Moderada	Nenhuma	C <sub>4</sub> S <sub>2</sub>
Nov	3,82	10,07	17,46	0,62	3,2	6,15	27,12	Presença	36,91	3,69	8,60	7,17	Severa	Nenhuma	C <sub>4</sub> S <sub>2</sub>
Média	3,41	5,74	11,38	0,51	0,76	5,15	14,96	-	21,70	2,17	7,57	5,76	-	-	-
D. P.	0,71	2,07	4,42	0,06	0,97	1,39	6,07	-	7,51	0,75	0,43	1,66	-	-	-
C. V.	0,21	0,36	0,39	0,11	1,28	0,27	0,41	-	0,35	0,35	0,06	0,29	-	-	-
Máx	4,26	10,07	17,46	0,62	3,20	6,67	27,12	-	36,91	3,70	8,60	7,88	-	-	-
Mín	2,21	2,90	5,13	0,41	0,00	2,68	7,05	-	11,82	1,18	7,03	3,25	-	-	-

\*RAS<sup>o</sup> - Ralação de Adsorção Sódio corrigido

## Apêndice 2 - Caracterização Química do Solo

Tabela 1: Classificação do solo, período chuvoso

Ponto	Cloretos (Cl)	Carbonatos (CO <sup>3-</sup> )	Bicarbonatos (HCO <sup>3-</sup> )	Sulfatos (SO <sup>2-</sup> )	Cálcio (Ca <sup>+2</sup> )	Magnésio (Mg <sup>+2</sup> )	Potássio (K <sup>+</sup> )	Sódio (Na <sup>+</sup> )	pH	CE <sub>es</sub> (dS.m <sup>-1</sup> )	RAS	PST	Salinidade	Classificação
1	8,75	0,0	3,80	Aus.	1,62	2,13	0,07	9,00	6,80	1,28	6,57	19,00	Não Salino	Sódico
2	12,50	0,0	5,00	Aus.	2,50	2,75	0,18	16,54	7,16	1,72	10,21	15,26	Não Salino	Sódico
3	17,75	0,0	3,10	Aus.	2,00	3,25	0,40	17,46	7,14	2,04	10,78	15,97	Ligeira	Sódico
4	22,50	0,0	3,20	Aus.	2,62	3,25	0,09	14,70	6,90	2,56	8,58	17,26	Ligeira	Sódico
5	12,25	0,0	5,70	Aus.	2,12	3,63	0,10	11,94	7,35	1,72	7,04	14,17	Não Salino	Normal
6	8,75	0,0	3,20	Aus.	0,75	3,50	0,23	7,06	7,00	1,28	4,84	14,91	Não Salino	Normal
7	14,75	0,0	3,00	Aus.	1,62	3,75	0,28	9,09	7,15	1,73	5,55	11,33	Não Salino	Normal
8	6,50	0,0	7,80	Aus.	1,12	2,62	0,47	7,98	7,25	0,13	5,84	11,89	Não Salino	Normal
9	15,25	0,0	5,60	Aus.	3,12	3,25	0,19	15,62	7,55	2,09	8,75	17,12	Ligeira	Sódico
10	11,00	0,0	4,80	Aus.	1,87	1,50	0,10	9,18	6,91	1,67	7,07	17,78	Não Salino	Sódico
11	17,00	0,0	2,10	Aus.	2,50	2,12	0,07	17,66	7,13	2,00	11,62	16,03	Não Salino	Sódico
12	20,00	0,0	3,10	Aus.	2,62	3,63	0,19	16,54	7,13	2,36	9,36	15,42	Ligeira	Sódico
13	9,25	0,0	4,10	Aus.	1,50	2,25	0,09	8,81	7,20	1,36	6,43	15,80	Não Salino	Sódico
14	16,75	0,0	2,00	Aus.	1,25	3,87	0,16	11,70	6,80	1,87	7,31	13,18	Não Salino	Sódico
15	21,25	0,0	7,10	Aus.	2,62	4,75	0,24	17,46	7,36	2,86	9,10	13,82	Ligeira	Normal
16	8,25	0,0	3,50	Aus.	1,37	1,88	0,38	6,97	6,88	0,12	5,47	5,49	Não Salino	Sódico
17	11,75	0,0	5,00	Aus.	2,12	1,63	0,09	12,86	6,73	1,69	9,39	17,22	Não Salino	Sódico
18	14,00	0,0	3,50	Aus.	2,00	3,00	0,18	17,66	7,00	1,78	11,17	13,87	Não Salino	Normal
19	22,25	0,0	3,00	Aus.	2,87	3,13	0,40	18,38	7,49	2,52	10,61	17,89	Ligeira	Sódico
20	12,50	0,0	5,40	Aus.	1,37	2,00	0,67	9,09	6,92	1,84	7,00	18,75	Não Salino	Sódico
21	22,75	0,0	5,20	Aus.	2,50	5,75	0,23	18,38	7,22	2,83	9,05	15,06	Ligeira	Sódico
22	12,00	0,0	4,40	Aus.	1,50	4,25	0,56	9,09	8,13	1,64	5,36	10,73	Não Salino	Normal
23	27,50	0,0	4,90	Aus.	2,50	5,75	0,37	21,14	6,91	3,14	10,41	14,47	Ligeira	Normal
24	8,00	0,0	3,00	Aus.	1,25	1,12	0,35	7,06	5,62	0,11	6,49	12,56	Não Salino	Normal



Continuação da Tabela 1

25	33,25	0,0	8,00	Aus.	5,62	8,63	0,19	28,50	7,57	4,39	10,68	18,23	Média	Salino Sódico
26	7,75	0,0	2,90	Aus.	1,87	1,00	0,09	7,73	7,20	1,02	6,45	18,90	Não Salino	Sódico
27	18,00	0,0	2,00	Aus.	2,75	3,25	0,32	16,54	7,24	2,02	9,55	16,19	Ligeira	Sódico
28	20,25	0,0	2,80	Aus.	2,75	3,50	0,82	13,78	6,90	2,36	7,80	14,48	Ligeira	Normal
29	20,25	0,0	4,00	Aus.	2,25	6,00	0,09	16,54	6,63	2,46	8,14	16,17	Ligeira	Sódico
30	21,00	0,0	5,00	Aus.	3,00	4,87	0,24	14,70	7,23	2,74	7,41	13,94	Ligeira	Normal
31	37,50	0,0	8,00	Aus.	5,00	9,00	0,24	26,66	7,36	4,59	10,08	12,91	Média	Salino
32	10,50	0,0	4,00	Aus.	1,25	2,12	0,23	8,08	6,97	0,15	6,22	6,21	Não Salino	Normal
Média	16,30	-	4,32	-	2,24	3,54	0,26	13,87	7,09	1,94	8,14	14,75	-	-
Mediana	15,00	-	4,00	-	2,12	3,25	0,23	14,24	7,14	1,86	7,97	15,16	-	-
D. P.	7,40	-	1,67	-	1,02	1,89	0,18	5,55	0,40	1,04	1,96	3,20	-	-
C. V.	45,37	-	38,78	-	45,44	53,44	69,26	40,00	5,63	53,78	24,05	21,71	-	-
Máx	37,50	-	8,00	-	5,62	9,00	0,82	28,50	8,13	4,59	11,62	19,00	-	-
Mín	6,50	-	2,00	-	0,75	1,00	0,07	6,97	5,62	0,11	4,84	5,49	-	-

Tabela 2: Classificação do solo, período de escassez de precipitação

Ponto	Cloretos (Cl <sup>-</sup> )	Carbonatos (CO <sup>3-</sup> )	Bicarbonatos (HCO <sup>3-</sup> )	Sulfatos (SO <sup>2-</sup> )	Cálcio (Ca <sup>+2</sup> )	Magnésio (Mg <sup>+2</sup> )	Potássio (K <sup>+</sup> )	Sódio (Na <sup>+</sup> )	pH	CE <sub>es</sub> (dS.m <sup>-1</sup> )	RAS	PST	Salinidade	Classificação
1	16,50	0,0	5,80	Aus.	1,75	4,75	0,21	9,09	7,64	2,16	5,04	16,04	Ligeira	Sódico
2	18,25	0,0	3,10	Aus.	1,87	5,88	0,07	9,00	7,32	2,20	4,57	17,89	Ligeira	Sódico
3	25,00	0,0	2,30	Aus.	3,00	4,75	0,09	9,00	7,82	2,79	4,57	16,21	Ligeira	Sódico
4	14,25	0,0	4,00	Aus.	1,75	6,12	0,14	15,62	7,26	1,97	7,87	18,59	Não Salino	Sódico
5	17,25	0,0	3,50	Aus.	1,75	4,50	0,21	13,78	7,63	2,16	7,80	17,00	Ligeira	Sódico
6	18,00	0,0	2,10	Aus.	2,25	5,00	0,19	12,85	7,46	2,01	6,75	15,51	Ligeira	Sódico
7	17,75	0,0	4,00	Aus.	1,62	5,63	0,80	13,78	7,70	2,15	7,24	13,20	Ligeira	Normal
8	13,75	0,0	5,00	Aus.	1,12	4,38	0,09	12,86	7,57	1,80	7,75	15,74	Não Salino	Sódico
9	14,50	0,0	4,00	Aus.	1,62	3,25	0,62	9,09	7,17	1,81	5,83	18,02	Não Salino	Sódico
10	14,25	0,0	3,30	Aus.	1,50	4,37	0,07	14,70	7,10	1,76	8,58	19,32	Não Salino	Sódico

Continuação da Tabela 2

11	16,75	0,0	4,00	Aus.	1,62	5,38	0,09	16,54	7,34	2,03	8,84	17,54	Ligeira	Sódico
12	14,50	0,0	3,80	Aus.	1,62	4,13	0,07	9,00	7,27	1,82	5,31	18,65	Não Salino	Sódico
13	21,50	0,0	4,10	Aus.	2,12	5,13	0,26	17,46	7,89	2,45	9,17	18,70	Ligeira	Sódico
14	16,75	0,0	4,90	Aus.	1,62	5,50	0,24	12,85	7,70	2,15	6,81	18,21	Ligeira	Sódico
15	16,25	0,0	4,00	Aus.	1,62	6,75	0,41	12,85	7,75	1,99	6,28	12,36	Não Salino	Normal
16	17,50	0,0	3,10	Aus.	1,37	4,63	0,14	13,78	7,42	2,00	7,96	17,56	Não Salino	Sódico
17	15,25	0,0	2,80	Aus.	1,12	4,75	0,35	9,09	7,22	1,83	5,31	14,91	Não Salino	Normal
18	13,75	0,0	5,00	Aus.	1,75	3,87	0,18	12,86	7,48	1,90	7,67	15,44	Não Salino	Sódico
19	15,00	0,0	2,00	Aus.	1,37	4,75	0,07	9,00	7,37	1,77	5,14	16,11	Não Salino	Sódico
20	18,50	0,0	4,90	Aus.	1,75	6,12	0,14	15,62	7,55	2,38	7,87	18,39	Ligeira	Sódico
21	22,50	0,0	5,20	Aus.	1,87	6,50	0,18	16,54	7,90	2,75	8,09	14,61	Ligeira	Sódico
22	18,75	0,0	3,90	Aus.	1,25	5,75	0,24	14,70	7,60	2,20	7,86	18,08	Ligeira	Sódico
23	19,75	0,0	5,70	Aus.	2,62	5,50	0,30	17,46	7,78	2,57	8,67	14,49	Ligeira	Normal
24	20,25	0,0	2,00	Aus.	2,12	5,38	0,14	14,70	7,32	2,28	7,59	18,28	Ligeira	Sódico
25	17,25	0,0	2,30	Aus.	1,25	4,87	0,18	13,66	7,44	1,92	7,81	16,74	Não Salino	Sódico
26	20,00	0,0	4,40	Aus.	1,87	4,63	0,09	13,78	7,84	2,60	7,64	21,79	Ligeira	Sódico
27	14,50	0,0	4,40	Aus.	1,62	4,50	0,16	9,00	7,22	1,93	5,14	17,77	Não Salino	Sódico
28	15,00	0,0	2,20	Aus.	1,75	3,75	0,09	9,18	7,29	1,80	5,54	19,05	Não Salino	Sódico
29	20,25	0,0	4,00	Aus.	2,62	4,63	0,26	14,70	7,76	2,45	7,72	15,96	Ligeira	Sódico
30	17,75	0,0	4,60	Aus.	2,37	5,13	0,26	13,78	7,70	2,25	7,12	20,29	Ligeira	Sódico
31	16,75	0,0	3,50	Aus.	1,50	5,00	0,19	12,86	7,20	2,03	7,13	17,04	Ligeira	Sódico
32	16,00	0,0	4,90	Aus.	1,75	4,62	0,09	14,70	7,50	2,10	8,24	15,57	Ligeira	Sódico
Média	17,31	-	3,84	-	1,77	5,00	0,21	12,93	7,51	2,13	7,03	17,03	-	-
Mediana	17,00	-	4,00	-	1,75	4,81	0,18	13,72	7,49	2,07	7,62	17,29	-	-
D. P.	2,70	-	1,09	-	0,43	0,79	0,16	2,76	0,23	0,29	1,34	2,01	-	-
C. V.	15,61	-	28,30	-	24,45	15,72	76,84	21,38	3,12	13,51	19,01	11,78	-	-
Máx	25,00	-	5,80	-	3,00	6,75	0,80	17,46	7,90	2,79	9,17	21,79	-	-
Mín	13,75	-	2,00	-	1,12	3,25	0,07	9,00	7,10	1,76	4,57	12,36	-	-