

**WELLINGTON PEREIRA DA SILVA**

**MONITORAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO EM ÁREA DE VÁRZEA SOB  
FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA EM CANA-DE-AÇÚCAR**

RECIFE – PE

2012

**WELLINGTON PEREIRA DA SILVA**

Engenheiro Agrônomo

**MONITORAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO EM ÁREA DE VÁRZEA SOB  
FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção de título de Mestre em Engenharia Agrícola.

**Orientadora:**

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

**Co-orientador:**

Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim

RECIFE – PE

2012

Ficha Catalográfica

S586m Silva, Wellington Pereira da  
Monitoramento do lençol freático em área de várzea  
sob  
fertilirrigação com vinhaça em cana-de-açúcar / Wellington  
Pereira da Silva. -- Recife, 2012.  
64 f. : il.

Almeida. Orientador (a): Ceres Duarte Guedes Cabral de  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Departamento de  
Tecnologia Rural, Recife, 2012.  
Inclui referências e apêndice.

Guedes 1. *Saccharum* spp 2. Potássio 3. Resíduo 4. Águas  
subterrâneas 5. Produtividade I. Almeida, Ceres Duarte  
Cabral de, Orientador II. Título

CDD 551.49

**MONITORAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO EM ÁREA DE VÁRZEA SOB  
FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Wellington Pereira da Silva

Dissertação defendida e aprovada em 27 de fevereiro de 2012 pela banca examinadora:

ORIENTADORA:

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elvira Maria Regis Pedrosa

---

Dr. Djalma Euzébio Simões Neto

A Deus, pela vida, força e sabedoria.

## **OFEREÇO**

A Severina Pereira, minha mãe, ao meu sobrinho Allanzinho a minha noiva Adriana e a toda minha família.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela proteção, força e coragem nas horas de dificuldade, ajudando-me a alcançar meus objetivos, dando – me força para chegar até o fim dessa jornada;

À minha mãe Severina Pereira da Silva pela educação que me deu, pelo exemplo de honestidade e integridade, estando sempre presente em todos os momentos da minha vida;

A minha noiva Adriana Neves, pelo companheirismo, pela paciência, pela força e incentivo, estando sempre presente em todos os momentos da minha vida;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, especialmente ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa;

À Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida pela orientação, amizade, atenção e apoio técnico, que muito vem contribuindo, ajudando-me a formar meu perfil profissional e pessoal e pela contribuição no meu crescimento acadêmico durante o curso;

Ao Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim pelo apoio na condução do experimento;

À Prof<sup>a</sup> Elvira Pedrosa pelas sugestões e atenção prestada sempre que necessário;

Aos Professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola pela contribuição no meu crescimento acadêmico durante o curso;

Ao Prof. Brivaldo Almeida, pelo valioso apoio e atenção prestados sempre de bom humor, mostrando-se disponível em ajudar;

Ao Prof. Paulo Klinger pela contribuição técnica na classificação do solo sempre mantendo-se disponível em ajudar;

Aos eternos orientadores Prof. Dr. Clodoaldo José da Anunciação Filho e Gerson Quirino Bastos pela orientação, amizade e lições de vida que muito enriqueceram, ajudando-me a formar meu perfil profissional e pessoal;

Ao Dr. Eduardo de Queiroz Monteiro, Presidente do Grupo EQM, pela oportunidade a mim concedida, pois proporcionou ampliar meus conhecimentos sobre o sistema de produção de cana-de-açúcar;

Ao Sr. José Fernando Barreto Lins, pela contribuição, apoio e incentivo durante a condução do trabalho;

Ao Dr. José Heleno do Rêgo Barros Júnior, pela oportunidade, ensinamentos e lições de vida que muito contribuíram na minha formação acadêmica e perfil profissional;

Aos Engenheiros Agrônomos Tony Ramos Paz, João Miguel da Silva e Vamberto Geraldo de França Silva pela disponibilidade, pelo apoio técnico, pela amizade formada, pelas informações obtidas sobre a cultura, pelos ensinamentos e lições de vida, e pelo auxílio em todos os momentos na condução do experimento;

Ao Sr. Antônio Fraga, Soraya Matos, aos Técnicos Agrícolas Carlos Eduardo, Edgar, Erick e Vital, aos topógrafos Ramilson Santos e Jósceles Rodrigues e ao conferente Edilson por se mostrarem sempre disponíveis e pelo apoio na condução do experimento;

Aos meus amigos e amigas da Pós Graduação em Engenharia Agrícola em especial, aos meus amigos Sinval Orrico (Escovado), Gledson Pontes (Crocodilo Grão Mestre), Max (Crocodilo mirim), Nadielan (Naaadi), Paulo de Tarso (Juda), Rafael Lima, Igor Rocha e Tony (Autoridade) pelo imenso e valioso apoio em todos os momentos do curso;

Às estagiárias Géssyka, Isabella e Karina, pelo acompanhamento em todas as etapas de coleta e laboratório, meu “muito obrigado”;

Aos alunos do Programa de Pós Graduação em Solos, Airon, Adelazil, Monaliza, Agenor, João Paulo, Wagner Souza, Bruno e estagiários do laboratório de Fertilidade do Solo, pela disponibilidade em ajudar, sempre;

Aos meus grandes amigos Eduardo Henrique, Fábio André e Lucas Paulo sempre presente em todos os momentos, pelo incentivo, força e amizade, meu muito obrigado;

Aos meus amigos de graduação Anderson Santos, Dinara Graziela, Erick Amorim, Mário Dias, Washington Freire, Wagner Dias e Willymberg Barreto que sempre me deram força e incentivo para a realização de mais um sonho.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABELAS .....	11
1. INTRODUÇÃO .....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	14
2.1. Importância econômica da cana-de-açúcar no Brasil .....	14
2.2. Propriedades da Vinhaça .....	15
2.3. Manejo da Vinhaça e Qualidade Ambiental .....	15
2.4. Alterações nas Propriedades das Águas Subterrâneas .....	16
2.5. Legislação Ambiental .....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	19
3.1. Área experimental .....	19
3.2. Solo .....	21
3.3. Variedade de cana-de-açúcar .....	23
3.4. Dispositivo experimental .....	23
3.5. Instalação dos poços de monitoramento .....	25
3.6. Aplicação de vinhaça .....	26
3.7. Caracterização do solo .....	28
3.8. Coleta da água subterrânea .....	29
3.9. Classificação da qualidade da água subterrânea .....	31
3.10. Colheita da cana-de-açúcar na área experimental .....	32
3.11. Análise estatística dos dados .....	33
3.11.1. Água Subterrânea .....	33
3.11.2. Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar .....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
5. CONCLUSÕES .....	53
6. REFERÊNCIAS .....	54
APÊNDICE .....	62



## RESUMO

### **Monitoramento do lençol freático em área de várzea sob fertirrigação com vinhaça em cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar é cultivada no Brasil em uma área com cerca de 8 milhões de hectares, condição esta que coloca o país como o maior do mundo em área cultivada com a cultura. Com a crescente demanda de etanol no mercado a cada safra, sua maior produção implicou no crescimento da geração da vinhaça. Este efluente é largamente utilizado nas práticas agrícolas como fertilizante. No entanto, a vinhaça pode provocar impactos ambientais quando não manejada de forma correta, podendo causar danos à fauna aquática e aos corpos d'água e comprometer a saúde da população. O presente trabalho teve como objetivo geral, avaliar os efeitos da utilização de diferentes lâminas de vinhaça na fertirrigação da cana-de-açúcar em áreas de várzea. O experimento foi conduzido no Engenho Aldeia pertencente à Usina Cucaú, município de Rio Formoso/PE. O dispositivo experimental adotado foi composto por uma malha georeferenciada de 81 poços de monitoramento distribuídos ao longo de uma área de 7,5 hectares, constituído por três subáreas com 2,5 hectares todas vegetadas com cana-de-açúcar. Os poços de monitoramento foram distribuídos em duas formas em cada uma das três subáreas, sendo 15 poços na área onde foi submetida à aplicação de vinhaça e 12 poços na bordadura totalizando 27 poços. O distanciamento dos poços foi de 30 x 30m na área de bordadura e 15 x 30m nas áreas submetidas à aplicação de vinhaça. Efetuaram-se seis coletas de água do lençol freático, sendo, uma antes da aplicação da vinhaça, e cinco após sua aplicação, com o objetivo de monitorar a concentração dos elementos ao longo do tempo. Sete parâmetros foram analisados  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , CE, pH e RAS, em todas as amostras. Como componentes de produção, foram determinadas a produtividade dos colmos (TCH) e a produtividade de açúcar por hectare (TPH), e para qualidade tecnológica foram avaliados o teor aparente de sólidos solúveis presentes no caldo (°Brix) da cana, a pureza (PZA), a polarização da cana (PC) e o Açúcar Total Recuperável (ATR). Não foram observadas modificações na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. A aplicação de vinhaça proporcionou acréscimo de 9% na produtividade dos colmos e de 4% na produtividade de açúcar. A relação de absorção de sódio mostrou que não existe risco de salinidade da área no período avaliado. O monitoramento dos parâmetros químicos do lençol freático mostrou que, ao longo do tempo, houve uma redução de suas concentrações, em função da precipitação pluviométrica ocorrida no período estudado. A vinhaça pode ser aplicada em áreas de várzea a cada safra em regiões de elevada pluviosidade.

**Palavras-chave** – *Saccharum* spp., potássio, resíduo, águas subterrâneas, produtividade.

## ABSTRACT

### **Groundwater monitoring in the low land under irrigation with vinasse sugarcane**

Sugarcane is cultivated in Brazil in an approximate 8-million hectare area, condition that places the country as the first in the world concerning the areas cultivated with that kind of culture. With the growing demand for ethanol in the market every crop, its greatest production implied in the growth of the vinasse generation. That sub-product is largely utilized in agricultural practices such as fertilizers. However, the vinasse might cause environmental impacts when not managed properly, damaging the aquatic fauna and water bodies as well as compromising the health of the population. The present work aims at evaluating the effects of the vinasse utilization on the sugarcane fertirrigation in floodplain areas. It was conducted at Engenho Aldeia, which belongs to Usina Cacaú, in Rio Formoso, Pernambuco. The experimental gadget adopted was formed of a 81-monitoring wells georeferenced mesh, distributed along a 7.5 hectare area, constituting three 2.5 hectare subareas, all vegetated with sugarcane. The monitoring wells were distributed in two molds in each of the three subareas, being 15 wells in the area submitted to the vinasse application, and 12 wells on the edges totaling 27 wells. The distance between the wells is 30 x 30 m on the edge area and 15 x 30m on the areas submitted to the vinasse application. Six water collections from the water table were performed: one before the vinasse application, and five after it, over different periods, with the objective of monitoring the concentration on the elements throughout time. Seven  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , CE, pH and SAR quality parameters were analyzed over time, highlighting potassium for appearing in higher concentration in vinasse, and SAR for indicating the water and soil salinity. The sugarcane itself (TCH) and sugar production per hectare (TPH) were defined as production components, whilst the apparent content of the soluble solids in the sugarcane juice ( $^{\circ}$ Brix), the sugarcane polarization (PC) and the total recoverable sugar (ATR) were evaluated for technological quality. Modifications in the sugarcane technological quality were not observed. No changes in the technological quality of sugar cane. Vinasse provide 9% productivity stems and 4% at sugar yield. The sodium absorption ratio showed that there is no risk of salinity in the area during the evaluation period. Results also show that concentration chemical elements reduced and are related to fluctuations of groundwater levels in the aquifer and rainfall. Finally, vinasse can be applied in floodplain areas annually where high rainfall is.

**Key-words** – *Saccharum* spp., potassium, residue, groundwater, productivity.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Valores diários e mensais da precipitação pluviométrica (mm) registrados no período de condução do experimento (dezembro de 2010 a setembro de 2011). ....	20
<b>Figura 2.</b> Perfil aberto na área experimental .....	21
<b>Figura 3.</b> Distribuição espacial dos poços de monitoramento na área experimental.....	24
<b>Figura 4.</b> Tubos de PVC perfurados e recobertos com tela filtrante .....	25
<b>Figura 5.</b> A - Tradagem dos poços; B e C - Instalação dos poços; D - Poço rente à superfície do solo.....	26
<b>Figura 6.</b> Aplicação de vinhaça na área experimental.....	27
<b>Figura 7.</b> A - Coleta da água do lençol freático, B e C - Transferência para proveta, D - Acondicionamento em recipientes de 100 mL; E e F - Higienização com água deionizada.....	31
<b>Figura 8.</b> A - Pesagem do feixe em campo, B - Dinamômetro acoplado ao braço mecânico da carregadora. ....	33
<b>Figura 9.</b> Distribuição espacial em diferentes épocas de avaliação para $K^+$ ( $mmol_c L^{-1}$ ) em água do lençol freático numa área submetida à lâmina de $50 m^3ha^{-1}$ de vinhaça.....	39
<b>Figura 10.</b> Distribuição espacial em diferentes épocas de avaliação para $K^+$ ( $mmol_c L^{-1}$ ) em água do lençol freático numa área submetida à lâmina de $60 m^3ha^{-1}$ de vinhaça.....	40
<b>Figura 11.</b> Distribuição espacial em diferentes épocas de avaliação para $K^+$ ( $mmol_c L^{-1}$ ) em água do lençol freático numa área submetida à lâmina de $65 m^3ha^{-1}$ de vinhaça.....	41
<b>Figura 12.</b> Distribuição espacial em diferentes épocas de avaliação para RAS ( $mmol_c L^{-1}$ ) <sup>0,5</sup> em água do lençol freático numa área submetida à lâmina de $50 m^3ha^{-1}$ de vinhaça.....	43
<b>Figura 13.</b> Distribuição espacial em diferentes épocas de avaliação para RAS ( $mmol_c L^{-1}$ ) <sup>0,5</sup> em água do lençol freático numa área submetida à lâmina de $60 m^3ha^{-1}$ de vinhaça.....	44
<b>Figura 14.</b> Distribuição espacial em diferentes épocas de avaliação para RAS ( $mmol_c L^{-1}$ ) <sup>0,5</sup> em água do lençol freático numa área submetida à lâmina de $65 m^3ha^{-1}$ de vinhaça.....	45
<b>Figura 15.</b> A - Produtividade de colmos de cana-de-açúcar ( $t ha^{-1}$ ); B - Produtividade de açúcar ( $t ha^{-1}$ ). ....	49

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Propriedades físicas do solo coletado no perfil .....	22
<b>Tabela 2.</b> Propriedades químicas do solo coletado no perfil .....	23
<b>Tabela 3.</b> Profundidade (m) de instalação dos poços de monitoramento. ....	25
<b>Tabela 4.</b> Composição química da vinhaça de mosto de melação. ....	26
<b>Tabela 5.</b> Atributos químicos do solo da área experimental.....	29
<b>Tabela 6.</b> Classes de restrição de uso da água para irrigação de acordo com a qualidade .....	32
<b>Tabela 7.</b> Diretrizes para interpretar a qualidade de água para irrigação em termos de risco de redução da infiltração de água no solo, segundo Ayers & Westcot (1985).....	32
<b>Tabela 8.</b> Diretrizes para interpretar a qualidade de água para irrigação em termos de risco de redução da infiltração de água no solo, segundo Ayers & Westcot (1985).....	35
<b>Tabela 9.</b> Valores médios dos parâmetros analisados ao longo do tempo, independentes da lâmina de vinhaça aplicada. ....	36
<b>Tabela 10.</b> Parâmetros estatísticos para as variáveis de qualidade da água analisada... 47	
<b>Tabela 11.</b> Efeito das lâminas (LAM), do tempo (T) e da interação tempo (T) x lâmina (L) na composição química da água do lençol freático. ....	48
<b>Tabela 12.</b> Equações de regressão ajustadas aos dados médios de TCH e TPH, medidas em cana-de-açúcar cultivada com e sem vinhaça. ....	49
<b>Tabela 13.</b> Equações de regressão ajustadas aos dados médios de ATR, Brix, Pol, Pureza (PZA) e Fibra, medidas em cana-de-açúcar cultivada com e sem vinhaça. ....	50
<b>Tabela 14.</b> Variáveis tecnológicas da cana-de-açúcar em áreas submetidas à aplicação de vinhaça e sem vinhaça. ....	51

## 1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das opções dentre as fontes de energia renováveis, apresentando grande importância no cenário agrícola brasileiro. Esta cultura ocupa uma área de aproximadamente oito milhões de hectares colhida, destinada a produção sucroalcooleira, o que classifica o Brasil como maior produtor mundial da cultura. A previsão da matéria prima processada pelo setor sucroalcooleiro na safra 2011/2012 é de 571,5 milhões de toneladas, das quais 283,9 milhões serão destinados para fabricação de açúcar e 287,6 milhões de toneladas para produção de etanol (CONAB, 2011).

A crescente participação dos veículos leves do tipo flex-fuel na frota automotiva brasileira vem impulsionando a produção de etanol no país (CONAB, 2010). Como consequência, o crescimento na produção de etanol, a cada safra, implica no aumento da produção de vinhaça na proporção de 13 m<sup>3</sup> de vinhaça por m<sup>3</sup> de etanol produzido.

A vinhaça é caracterizada como um efluente de destilarias com alto valor fertilizante em solos, porém com alto poder poluente quando descartada em corpos d'água. Este resíduo possui ainda concentrações consideráveis de cátions como K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, mas seu principal componente é a matéria orgânica, constituída de ácidos orgânicos. Sua riqueza nutricional está ligada à origem do mosto fermentado, que por definição, é todo líquido suscetível à fermentação. A concentração dos elementos presentes na vinhaça proporciona a cultura da cana-de-açúcar um acréscimo na produtividade de colmos por hectare e uma maior concentração de açúcar, quando comparados às áreas somente irrigadas com água, sendo assim, uma prática indispensável nas lavouras canavieiras. Atualmente, o uso da vinhaça na agricultura tornou-se um problema social com divergências de opiniões entre a indústria sucroalcooleira e a população em geral, principalmente no que diz respeito aos impactos ambientais (FREIRE e CORTEZ, 2000).

De acordo com Meurer et al. (2000) alguns elementos presentes na vinhaça, dependendo da concentração, podem ser contaminantes de águas superficiais e subterrâneas. Em alguns casos, a aplicação de vinhaça tem sido contestada pelos seus efeitos no solo e nas águas subterrâneas. A utilização dos resíduos industriais de uma empresa pressupõe muito mais do que a adoção de técnicas avançadas de tratamento, deve-se ter uma concepção moderna e sustentável de gerenciamento de resíduos, o que

implica em obter resultados satisfatórios visando sempre à busca pela conservação do meio ambiente.

Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo geral avaliar os efeitos da utilização da vinhaça sob diferentes lâminas de aplicação na fertirrigação da cana-de-açúcar em áreas de várzea. Para atingir o objetivo geral foram relacionados os seguintes objetivos específicos: i) monitorar a composição química da água subterrânea ao longo do tempo em função da aplicação de vinhaça; ii) avaliar a eficiência da vinhaça como fonte de potássio no solo; iii) determinar uma lâmina de fertirrigação que não contamine o lençol freático; iv) mensurar a produtividade da cana-de-açúcar sob efeito das diferentes lâminas.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Importância econômica da cana-de-açúcar no Brasil**

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância econômica para o Brasil, ocupa cerca de oito milhões de hectares, o que o classifica como maior produtor mundial da cultura, seguido por Índia, Tailândia e Austrália. As regiões de cultivo são Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste, permitindo duas safras por ano. Dessa forma, durante todo o ano, o Brasil produz açúcar e etanol, para os mercados interno e externo (UNICA, 2009).

O agronegócio sucroalcooleiro movimenta cerca de R\$ 56 bilhões por ano, o que corresponde a 2% do PIB nacional, gerando em média 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos, com cerca de 72 mil agricultores envolvidos no setor (JORNAL CANA, 2010).

No Brasil existem em média 420 usinas e destilarias em operação e em projeto para serem instaladas, compondo 3,5% da área agricultável do país. Na safra 2009/2010, foram esmagadas 610 milhões de toneladas de cana, onde foram produzidos 33 milhões de toneladas de açúcar e 29 bilhões de litros de etanol. Do montante produzido na safra 2009/2010, 20 milhões de toneladas de açúcar e 2 bilhões de litros de etanol foram voltados para exportação, o que gerou US\$ 10 bilhões em divisas para o país (JORNAL CANA, 2010).

A região Nordeste possui uma área com a cultura com cerca de 1.120,1 milhões de hectares, com uma produtividade em torno de 60,27 kg ha<sup>-1</sup>, com uma produção na safra 2011/2012 de 67.520 milhões de toneladas. Foram destinadas 41 milhões toneladas de cana para produção de açúcar e 26 milhões de toneladas para fabricação de etanol (CONAB, 2011).

O Estado de Pernambuco tem uma área estimada em 326,1 mil hectares implantados com a cultura, com uma produtividade média de 56,5 kg/ha. Na safra 2011/2012, esmagará 18,430 milhões de toneladas, das quais 13,8 milhões serão para produção de açúcar e 4,6 milhões para fabricação de etanol (CONAB, 2011).

Diante da grande importância do mercado sucroalcooleiro para o país, a iniciativa privada tem procurado criar instrumentos de mercado, como operações futuras, e desenvolver novas oportunidades para o açúcar e etanol, por meio da queda das

barreiras protecionistas e do empenho em transformar o etanol numa ‘commodity’ ambiental (UNICA, 2009).

## **2.2. Propriedades da Vinhaça**

A vinhaça é caracterizada como um efluente de destilarias com alto valor fertilizante em solos, porém de alto poder poluente, quando descartada em corpos d’água. A força poluente deste resíduo é cerca de cem vezes a do esgoto doméstico, decorrente da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além da corrosividade e temperatura elevadas (ROSSETTO, 1987).

A composição química da vinhaça é bastante variável e dependem, principalmente, de fatores como a natureza e composição da matéria prima, do sistema usado no preparo do mosto, do método de fermentação alcoólica, do tipo de levedura utilizada, do tipo de destilador empregado, do método de destilação e do tipo de flegma separado (GLÓRIA, 1984).

A vinhaça possui concentrações consideráveis de cátions como  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , mas seu principal componente é a matéria orgânica, basicamente constituída na forma de ácidos orgânicos. Sua riqueza nutricional está ligada à origem do mosto fermentado. Praticamente 60% da vinhaça produzida provêm de mosto de caldo e 40% do mosto misto (FREIRE & CORTEZ, 2000).

## **2.3. Manejo da Vinhaça e Qualidade Ambiental**

O descarte da vinhaça em cursos d’água, prática utilizada no passado, proporcionou por muito tempo danos ambientais. A matéria orgânica existente na composição da vinhaça, quando lançada nos rios, representava alimento para a fauna aquática, mas até o ponto em que o oxigênio disponível na água não fosse fator limitante para sobrevivência, podendo ocasionar morte por asfixia, além da alteração do pH do meio proporcionando morte da fauna aquática (ROSSETTO, 1987).

Cunha et al. (1981), estudando a aplicação de vinhaça como fertilizante e condicionador do solo, observaram que o acúmulo de potássio no perfil do solo não foi significativo, ficando retido a uma camada de 0,50 m de profundidade.



Conforme Ridesa (1994), a velocidade de mineralização da matéria orgânica da vinhaça no solo pode ser afetada por sua capacidade de infiltração e pela presença de cobertura vegetal e, deste modo, quanto maior a cobertura vegetal, tanto maior será a capacidade biológica de mineralização.

#### **2.4. Alterações nas Propriedades das Águas Subterrâneas**

Nos primórdios do Pró-Álcool a destinação da vinhaça bastante difundida nas destilarias do país era área de sacrifício e/ou sulcos de infiltração. No entanto, com o passar do tempo, ocorreu à eliminação desses sistemas porque eles não proporcionam o aproveitamento racional da vinhaça e impõem riscos de poluição das águas subterrâneas (PENHABEL, 2010).

Estudos de monitoramento são conduzidos com a finalidade de se avaliar a sensibilidade do lençol freático e do aquífero à contaminação. As variações no lençol freático afetam diretamente a evolução da contaminação, pois durante os períodos de elevação os contaminantes migram em profundidade no perfil do solo para a zona anteriormente insaturada, que é lavada após a saturação, condição essa que induz o aumento na concentração dos elementos na água subterrânea. Quando o nível do lençol freático abaixa, existe uma descontaminação da zona saturada, reduzindo assim, suas concentrações dos elementos contaminantes (BROUYÈRE et al. 2004).

Grandes doses de vinhaça podem ter um impacto severo no solo e nas águas superficiais e subterrâneas, dosagens muito altas eram recomendadas inicialmente, variando de 500 a 2000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Glória (1975) e Glória e Magro (1976) em trabalhos pioneiros, discutiram formas mais racionais para o uso da vinhaça, levando em conta a composição química da vinhaça e a aplicação desta como fertilizante, para assim, serem aplicadas doses menores de acordo com o teor de potássio contido no resíduo.

Gloeden et al. (1991) e Gloeden (1994) estudando a dinâmica dos constituintes da vinhaça nas zonas saturada e não saturada, concluíram que o cloro, o carbono orgânico, o amônio e o nitrogênio orgânico aparecem como elementos que impõem risco à qualidade da água subterrânea, além de poder apresentar risco ambiental em seu uso agrônomico em solos e sedimentos permeáveis. A infiltração da vinhaça na água subterrânea prejudica sua potabilidade pela transferência de altas concentrações de amônia, magnésio, alumínio, ferro, manganês, cloreto e matéria orgânica (HASSUDA, 1989).

Lyra et al. (2003) observaram o efeito do escoamento superficial de vinhaça (300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) aplicada a diferentes tipos de solo, durante 7 meses e constataram que, após a fertirrigação os valores de condutividade elétrica (CE) medidos no lençol freático não indicaram variações significativas, mas sim, a eficiência do sistema solo na retenção de íons contidos na vinhaça. Os autores concluíram que, como a avaliação da qualidade da água engloba uma série de parâmetros a ser contemplados com as concentrações permitidas pela legislação, o impacto sobre a qualidade da água do lençol foi consideravelmente minimizado, mas não o suficiente para atender a todas as exigências ambientais.

## **2.5. Legislação Ambiental**

Em decorrência do alto crescimento populacional, tem ocorrido uma intensa degradação do meio ambiente, condição essa que tem proporcionado a redução da biodiversidade, contaminação do lençol freático, do solo e dos rios. Diante desses fatos, foram elaborados decretos, leis, normas técnicas com a finalidade de preservar os recursos naturais.

Para vinhaça, existe uma Portaria nº 323 de 29 de novembro de 1978 (Ministério do Interior, 1978), que proíbe o lançamento direto ou indireto, da vinhaça, em qualquer coleção hídrica, pelas destilarias instaladas ou que venham a se instalar no país.

A Portaria nº 124, de 20 de agosto de 1980, do Ministério do Interior dita normas no tocante à prevenção de poluição hídrica, para a localização de indústrias, construções ou estruturas potencialmente poluidoras e para dispositivos de proteção. A Resolução nº15 de 01 de junho de 2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), dá as diretrizes para a gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas.

A Portaria nº 518 de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, que estabelece procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Existe ainda, a resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e estabelece, ainda, as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Seu § 4º, estabelece as condições de lançamento de efluentes. Como padrões de lançamento o Art. 24 informa que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou

indiretamente, nos corpos de água, depois de devido tratamento e desde que obedçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e, o § 5º, regulamenta os padrões de lançamento de efluentes.

E, finalmente, a Norma Cetesb P4.231 de dezembro de 2006, estabelece critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação no solo agrícola de vinhaça gerada pela atividade sucroalcooleira para o Estado de São Paulo.

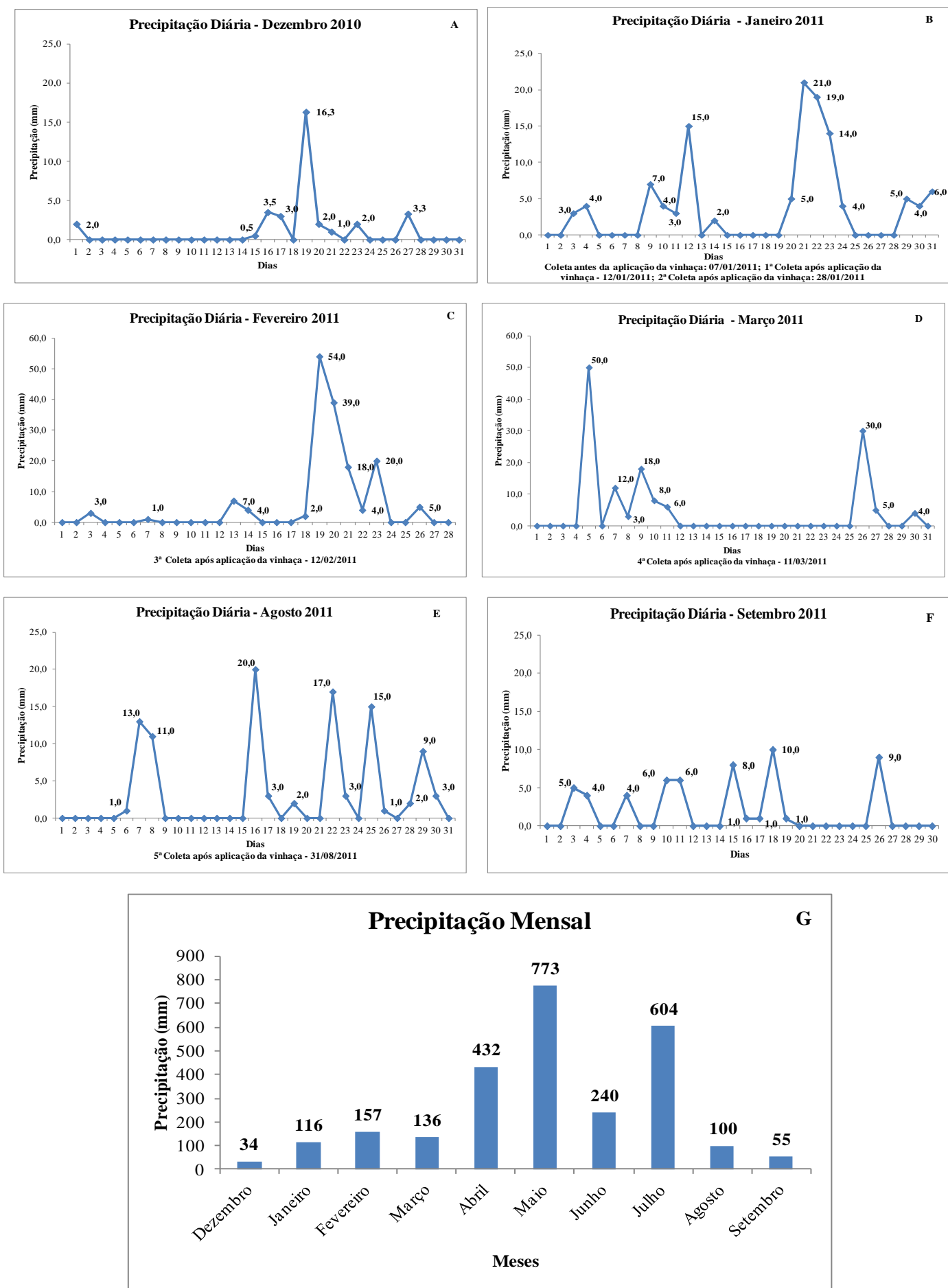
### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Área experimental**

O experimento foi conduzido no Engenho Aldeia, situado a 1,5km da sede da Usina Cucaú, localizado na latitude 08°38'91" S e longitude 35°16'08" W, a 60,45m de altitude com média pluviométrica anual de 2100 mm, município de Rio Formoso Mata Sul de Pernambuco a 108 km da capital Recife. A região caracteriza-se por apresentar clima tipo Ams', segundo Koppen, tropical chuvoso, com verão seco, estação chuvosa entre os meses de maio a agosto e temperaturas que variam entre 24 e 29°C.

Os dados pluviométricos referentes ao período do experimento (dezembro de 2010 a setembro de 2011) foram obtidos no pluviômetro localizado na sede do Engenho Aldeia a cerca de 1 km de distância da área experimental. A precipitação pluviométrica no período de condução do experimento foi de 2613 mm.

As Figuras 1A, 1B, 1C, 1D, 1E e 1F mostram os valores médios diários, respectivamente para os meses de dezembro de 2010 e janeiro, fevereiro, março, agosto e setembro de 2011, correspondentes ao meses de coleta de água e solo. Enquanto que, a Figura 1G, apresenta as médias mensais da precipitação pluvial para o período de dezembro de 2010 a setembro de 2011.



**Figura 1.** Valores diários e mensais da precipitação pluviométrica (mm) registrados no período de condução do experimento (dezembro de 2010 a setembro de 2011).

### 3.2. Solo

Para classificação taxonômica do solo foi aberto um perfil (Figura 2), antes da aplicação da vinhaça, onde foram coletadas amostras segundo recomendações preconizadas por Santos et al. (2005). Em cada horizonte (0-24, 24-48, 48-72 e 72-98 cm+), identificados conforme o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2006), foram coletadas amostras deformadas e não deformadas para realização das análises de caracterização química e física do solo, respectivamente.

As amostras de solo deformadas foram coletadas com trado tipo holandês, acondicionadas em sacos plásticos e etiquetadas. Em seguida, estas amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em peneira de malha de 2 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Uma subamostra foi retirada para calcular o fator de correção que converte TFSA em TFSE, segundo EMBRAPA (1979). Enquanto que, as amostras não deformadas foram coletadas com auxílio de um amostrador tipo Uhland com anéis volumétricos de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, embalados com plástico filme e etiquetadas.

A classe de solo identificada na área experimental foi denominada, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), como Gleissolo Háplico Tb Distrófico Sólodico A moderado. A descrição geral e morfológica do perfil encontra-se no Anexo I.



**Figura 2.** Perfil aberto na área experimental

As análises físicas realizadas foram densidade do solo (Ds), pelo método do torrão parafinado; densidade de partículas (Dp), pelo método do balão volumétrico e granulometria, pelo método do densímetro de acordo com a metodologia recomendada pela EMBRAPA (1997), sendo esta com peneiramento da fração areia e leitura de silte + argila em 24h, segundo Almeida (2008) e com pré-tratamento para remoção do carbono orgânico (>5%). A partir dos resultados de Ds e Dp foi calculada porosidade total. As umidades no ponto de murcha permanente e na capacidade de campo foram determinadas pelo aparelho extrator de Richards, realizadas segundo a metodologia da EMBRAPA (1997). Na Tabela 1, estão descritas as propriedades físicas do solo coletado.

**Tabela 1.** Propriedades físicas do solo coletado no perfil

Horizonte	Prof. <sup>(1)</sup> (cm)	Classe textural	Composição granulométrica			Ds <sup>(2)</sup> g cm <sup>-3</sup>	Dp <sup>(3)</sup>	P <sup>(4)</sup> (%)
			Areia	Silte	Argila			
Ap	0-24	Franco argilo-siltosa	152	492	356	1,42	2,53	44
BA	20-48	Argila	108	367	525	1,47	2,58	43
Bi	48-72	Argila	150	360	490	1,55	2,54	39
Big	72-98+	Argila	159	352	489	1,50	2,59	42

<sup>(1)</sup>Profundidade; <sup>(2)</sup>Densidade do solo; <sup>(3)</sup>Densidade das partículas; <sup>(4)</sup>Porosidade.

Nas amostras do perfil do solo (Tabela 2) foram analisados os seguintes parâmetros: pH em H<sub>2</sub>O e em KCl na proporção 1:2,5 respectivamente, sódio e potássio em solução de Mehlich 1 por fotometria de chama; cálcio e magnésio em KCl 1 mol L<sup>-1</sup> por espectrofotometria de absorção atômica; hidrogênio e alumínio trocáveis, método volumétrico, fósforo assimilável, nitrogênio total, carbono orgânico e condutividade elétrica, seguindo a metodologia da EMBRAPA (1997).

As análises físicas foram realizadas com três repetições e duas repetições para as análises químicas, as quais foram executadas nos Laboratórios de Aproveitamento de Resíduos e Mecânica do Solo, Centro de Apoio a Pesquisa (CENAPESQ), Microbiologia do Solo, Física do Solo e Química do Solo na Universidade Federal Rural de Pernambuco.

**Tabela 2.** Propriedades químicas do solo coletado no perfil

Atributos	Horizonte				
	Ap	BA	Bi	Big	
	Profundidade (cm)				
	0 – 24	24 – 48	48 – 72	72 – 98+	
CO <sup>(1)</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	267,1	78,1	57,3	51,8	
pH	H <sub>2</sub> O	5,9	5,3	5,0	4,9
	KCl	5,1	4,3	4,0	3,9
CE <sup>(2)</sup> (dS m <sup>-1</sup> )	0,44	0,15	0,11	0,10	
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>C</sub> kg <sup>-1</sup> )	7,24	3,32	1,07	0,64	
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>C</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,23	2,57	2,66	3,51	
K <sup>+</sup> (cmol <sub>C</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,51	0,14	0,12	0,11	
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>C</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,14	0,06	0,07	0,06	
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>C</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,06	0,32	0,85	1,28	
H <sup>+</sup> (cmol <sub>C</sub> kg <sup>-1</sup> )	12,47	9,10	8,84	7,81	
T (cmol <sub>C</sub> kg <sup>-1</sup> )	25,65	15,51	13,61	13,41	
V (%)	51,15	39,26	28,80	32,21	
m (%)	0,46	4,99	17,82	22,86	
N <sup>(3)</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	3,05	1,25	0,75	1,15	

<sup>(1)</sup>Carbono orgânico; <sup>(2)</sup> Condutividade elétrica do solo; <sup>(3)</sup> Nitrogênio.

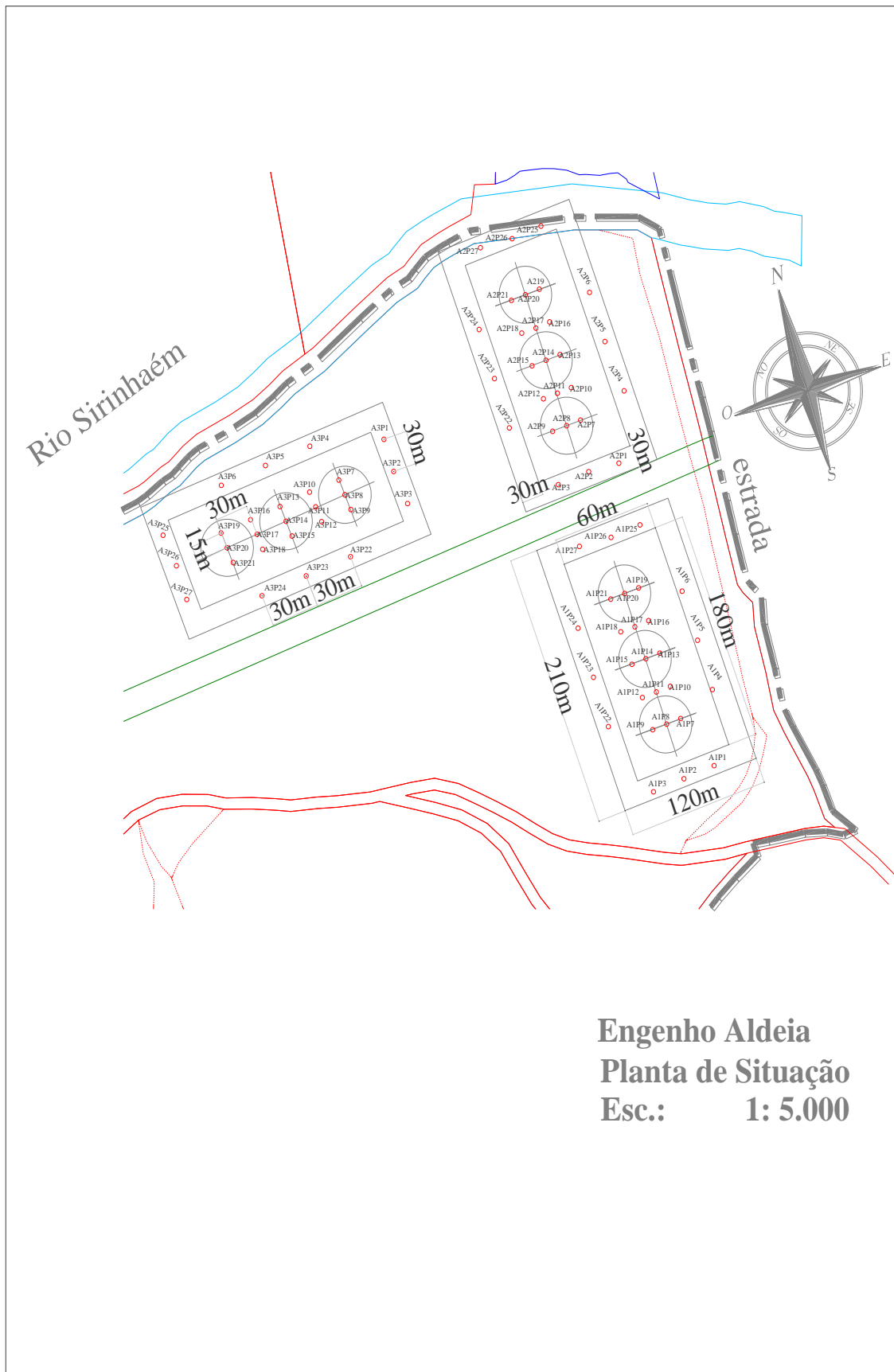
### 3.3. Variedade de cana-de-açúcar

A variedade plantada na área experimental foi a RB92579. A cultivar, desde sua liberação, vem apresentando expressivas elevações das áreas colhidas pelas empresas da região Nordeste, em função de suas vantajosas produtividades agroindustriais, de 30% a 40% acima das outras cultivares que eram mais cultivadas e 60% acima das variedades cultivadas há duas décadas. Na maioria das áreas cultivadas, tem-se observado elevadas produtividades (média acima de 80 t ha<sup>-1</sup>) e elevadíssima produtividade quando sob irrigação plena, média acima de 260 t ha<sup>-1</sup> (RIDESA, 2010).

### 3.4. Dispositivo experimental

O dispositivo experimental adotado foi composto por uma malha georeferenciada de 81 poços de monitoramento distribuídos ao longo de uma área de 7,5 hectares, constituindo três subáreas com 2,5 hectares todas vegetadas com cana-de-açúcar (Figura 3).





**Figura 3.** Distribuição espacial dos poços de monitoramento na área experimental.

Os poços de monitoramento foram distribuídos em duas formas em cada uma das três subáreas, sendo 15 poços na área onde foi submetida à aplicação de vinhaça, e 12 poços na bordadura totalizando 27 poços.

O distanciamento dos poços foi de 30 x 30m na área de bordadura e 15 x 30m nas áreas submetidas à aplicação de vinhaça.

### 3.5. Instalação dos poços de monitoramento

As estações de monitoramento são constituídas de poços confeccionados com tubos de PVC de 75 mm de diâmetro e 3 metros de comprimento, perfurados e recobertos com tela filtrante a partir do terço médio inferior conforme modelo proposto por Lyra (2002), (Figura 4).



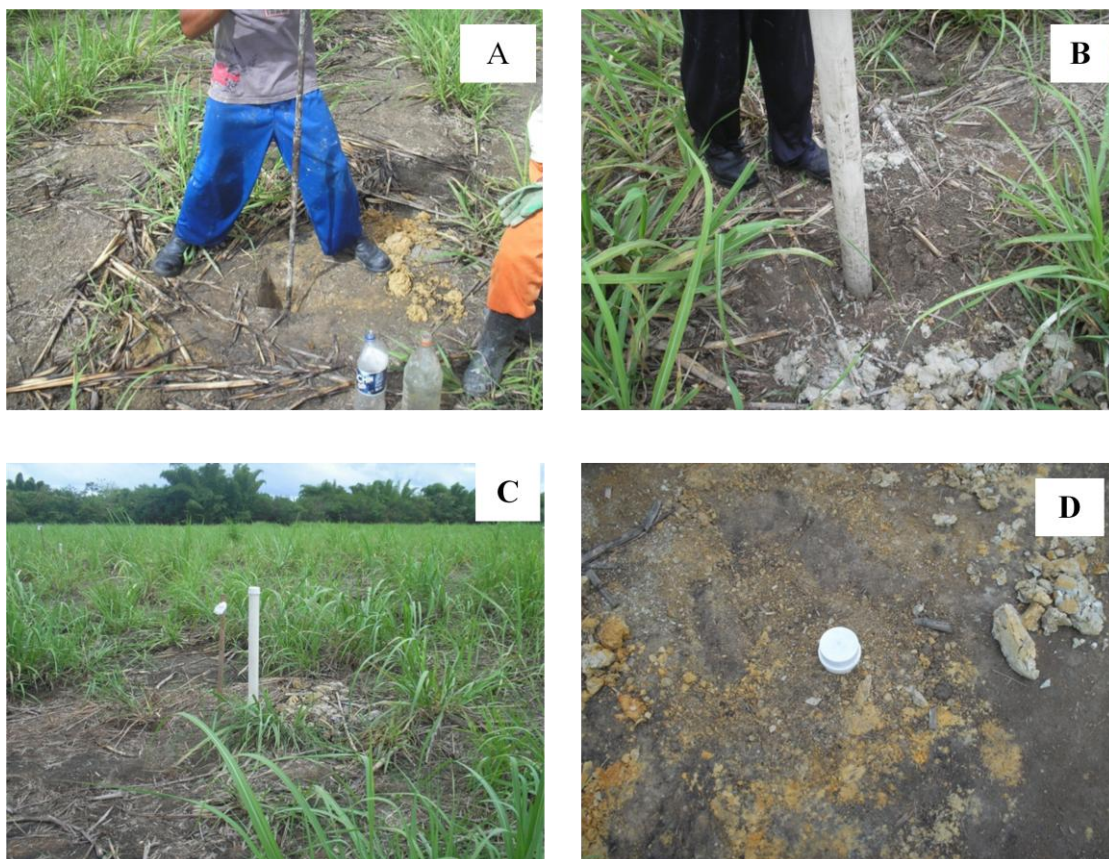
**Figura 4.** Tubos de PVC perfurados e recobertos com tela filtrante

O período de instalação dos poços de monitoramento foi durante o mês de dezembro de 2010. Os poços foram instalados no solo a uma profundidade que variou de 1,30 a 3 m de profundidade em função da presença do lençol freático no local. Na Tabela 3 estão relacionadas às profundidades de instalação dos poços de monitoramento em função do lençol freático, em toda área experimental.

**Tabela 3.** Profundidade (m) de instalação dos poços de monitoramento.

POÇOS	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3
Mínimo	1,29	1,91	1,65
Médio	1,78	2,40	2,11
Máximo	2,38	3,03	3,03

A abertura de cada poço de monitoramento ficou rente à superfície do solo. Em cada um, em sua parte superior, foi sinalizada com sua respectiva numeração de cor vermelha com o objetivo em facilitar a identificação dos poços, principalmente, no período em que o solo estará totalmente recoberto pelo canavial (Figura 5).



**Figura 5.** A - Tradagem dos poços; B e C - Instalação dos poços; D - Poço rente à superfície do solo.

### 3.6. Aplicação de vinhaça

A vinhaça utilizada para fertirrigação na área experimental foi produzida pela Destilaria Anexa da Usina Cucaú S/A, e o mosto da vinhaça produzida no momento de aplicação foi o de melaço. A composição química da vinhaça utilizada encontra-se na Tabela 4.

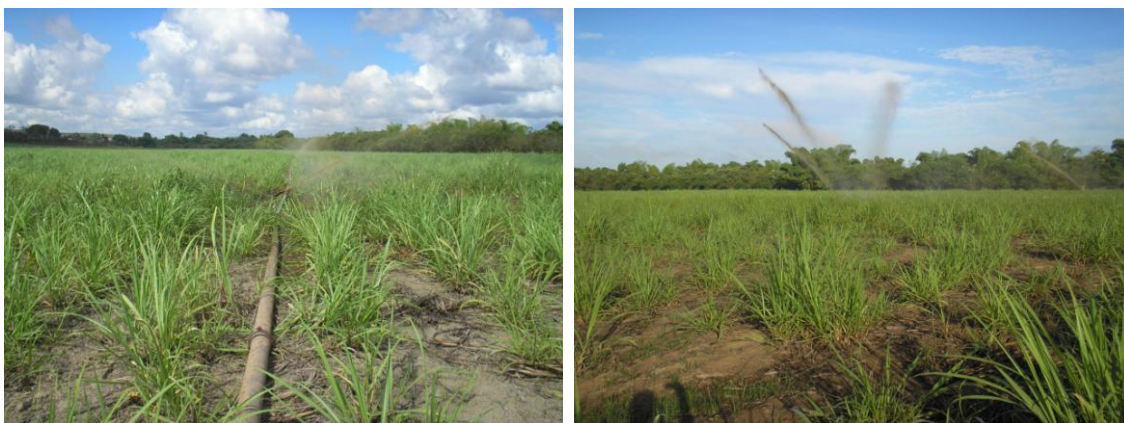
**Tabela 4.** Composição química da vinhaça de mosto de melaço.

Parâmetros	Valores
pH	3,98
CE (mS cm <sup>-1</sup> )	9,32
K (mg L <sup>-1</sup> )	18.894
Na (mg L <sup>-1</sup> )	759

A coleta da vinhaça utilizada no experimento, para análise, foi realizada no momento da aplicação, sendo coletada diretamente no bocal do aspersor, para que se pudesse ter uma ideia das concentrações que foram aplicadas.

Para caracterização química da vinhaça foram realizadas as análises da condutividade elétrica (CE) a 25°C pelo método eletrométrico através do condutivímetro, o potencial hidrogeniônico (pH) determinado por leitura direta com eletrodo combinado calibrado com soluções tampões de pH 4,0 e 7,0. Para determinação das concentrações de sódio e potássio foram realizadas as leituras fotometria de chama.

A vinhaça foi aplicada via aspersores, tipo montagem direta, com canhão de 2<sup>1/2</sup>” modelo Plúvio 250. Uma linha lateral, com três aspersores, espaçados em 60 m, foi instalada no centro de cada subárea para aplicação da lâmina de fertirrigação. Adotou-se três diferentes diâmetros do bocal principal (14, 16 e 18 mm) com o objetivo de aplicar diferentes lâminas em cada subárea experimental, sem sobreposição entre os aspersores. A pressão foi mantida em aproximadamente 30 mca durante uma hora, que correspondeu ao tempo de funcionamento do sistema de irrigação e conseqüentemente de aplicação da vinhaça. O diâmetro molhado foi de 50, 55 e 58 m, em cada subárea, em função do respectivo bocal. As lâminas de fertirrigação aplicadas foram equivalentes a 50, 60 e 65 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça pura com mosto de melaço (Figura 6), respectivamente em cada subárea.



**Figura 6.** Aplicação de vinhaça na área experimental

### 3.7. Caracterização do solo

A coleta do solo foi realizada no mês de dezembro de 2010. Amostras deformadas de solo foram coletadas ao lado do local de instalação dos poços de monitoramento em toda área experimental, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

No campo, as amostras de solo, foram embaladas e devidamente identificadas em função da posição e profundidade e acondicionadas em sacos plásticos, perfazendo um total de 243 amostras. Depois de coletadas, as amostras de solo deformadas foram secas ao ar, destorroadas com peneira de 2 mm de abertura.

Para caracterização química do solo foram realizadas as análises da condutividade elétrica (CE) a 25°C pelo método eletrométrico através do condutímetro, o potencial hidrogeniônico (pH) determinado por leitura direta com eletrodo combinado calibrado com soluções tampões de pH 4,0 e 7,0 sendo na relação (1:2,5); em H<sub>2</sub>O e em KCl, respectivamente. Também foram determinados os teores de sódio e potássio por fotometria de chama, pela solução extratora Mehlich 1, cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica, sendo extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, alumínio trocável pelo método volumétrico por titulação com hidróxido de sódio, acidez potencial por titulação alcalimétrica do extrato e solução de acetato de cálcio, seguindo as metodologias da EMBRAPA (2009).

O hidrogênio extraível foi calculado pela diferença entre acidez potencial e alumínio trocável seguindo a metodologia da EMBRAPA (1997).

De posse dos dados, foi calculada a capacidade de troca de cátions (CTC), a soma de bases trocáveis (S), a percentagem de saturação por bases trocáveis (V), a percentagem de sódio trocável (PST) e a percentagem de saturação por Alumínio (m) segundo metodologia da EMBRAPA (1997). O resultado dos atributos químicos analisados encontra-se na Tabela 5.

**Tabela 5.** Atributos químicos do solo da área experimental.

Atributos		Profundidades (cm)								
		0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
		Área 1			Área 2			Área 3		
pH	Água	5,5	5,3	5,1	5,5	5,2	4,9	4,8	4,6	4,6
	KCl	4,8	4,4	4,2	4,7	4,3	4,0	4,3	4,1	4,0
	CE(dS m <sup>-1</sup> )	0,53	0,49	0,42	0,43	0,29	0,27	0,36	0,28	0,25
	Ca <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,27	0,2	0,1	0,55	0,25	0,15	0,31	0,19	0,14
	Mg <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,27	3,0	2,60	4,45	3,40	3,37	4,19	3,09	2,71
	K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,16	0,11	0,09	0,5	0,24	0,22	0,34	0,11	0,08
	Na <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,17	0,14	0,12	0,11	0,07	0,07	0,14	0,10	0,13
	Al <sup>3+</sup> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,28	0,42	0,67	0,29	0,55	0,84	0,66	1,11	1,12
	H <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,96	4,36	3,91	5,89	4,60	3,76	6,57	5,11	3,23
	H+Al(mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,24	4,78	4,58	6,18	5,14	4,60	7,23	6,22	4,35
	S(mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,86	3,47	2,99	5,62	3,96	3,80	4,97	3,49	3,06
	CTC(mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	9,10	8,25	7,56	11,80	9,10	8,41	12,20	9,70	7,41
	V(%)	43,88	43,00	39,64	47,15	43,14	43,32	41,77	35,93	41,57
	m	8,16	11,5	19,14	6,21	13,03	22,34	11,87	26,15	28,73
	PST(%)	1,9	1,7	1,6	0,9	0,8	0,8	1,1	1,0	1,8

### 3.8. Coleta da água subterrânea

Foram realizadas seis coletas para avaliar a qualidade da água proveniente do lençol freático ao longo do tempo. A primeira amostragem foi realizada antes da aplicação da vinhaça (07/01/2011). Após a fertirrigação foram realizadas três coletas com intervalo de 15 dias (12/01/2011, 28/01/2011 e 12/02/2011), buscando identificar quaisquer modificações na composição química da água subterrânea. A quarta coleta foi realizada com intervalo de trinta dias da terceira coleta (11/03/2011), uma vez que já se observava nos resultados preliminares, certa uniformidade nos dados. A quinta e última coleta foi realizada com intervalo de cento e cinquenta dias da quarta coleta (31/08/2011) visando realizar uma amostragem em época chuvosa.

No campo, as amostras de água, foram devidamente identificadas em função da posição dos poços de monitoramento distribuídos na área experimental. A coleta foi realizada com auxílio de uma bomba a vácuo e a água foi dispensada em uma proveta (Figuras 7A, 7B e 7C).

Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em recipientes de 100 mL e armazenadas em caixa térmica com gelo para transporte da usina até o laboratório onde foram realizadas as análises (Figura 7D). Entre a coleta de um poço e outro, a bomba a vácuo e a proveta foram lavadas com água deionizada evitando assim a contaminação das amostras (Figuras 7E e 7F).

Os parâmetros físico-químicos determinados na análise das amostras de água foram à condutividade elétrica (CE) a 25°C, pelo método eletrométrico através do condutivímetro marca ADAMO, potencial hidrogeniônico (pH) determinado por leitura direta com eletrodo combinado calibrado com soluções tampões de pH 4,0 e 7,0, teores de sódio e potássio determinados por fotometria de emissão de chama e teores de cálcio e magnésio, por espectrofotometria de absorção atômica nas amostras diluídas com cloreto de estrôncio. Todos os parâmetros foram determinados segundo o *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995). Estas análises foram realizadas no Laboratório de Aproveitamento de Resíduos e Mecânica dos Solos e no Centro de Apoio a Pesquisa (CENAPESQ) na Universidade Federal Rural de Pernambuco.



**Figura 7.** A - Coleta da água do lençol freático, B e C - Transferência para proveta, D - Acondicionamento em recipientes de 100 mL; E e F - Higienização com água deionizada.

### 3.9. Classificação da qualidade da água subterrânea

Como indicativo para avaliação da qualidade das águas subterrâneas coletadas no experimento, tomou-se como referência a classificação preconizada por Ayers e Westcot (1985) (Tabelas 6 e 7).



**Tabela 6.** Classes de restrição de uso da água para irrigação de acordo com a qualidade

Variáveis	Classes de restrição de uso para irrigação		
	Nenhuma	Moderada	Severa
CE (dS m <sup>-1</sup> )	< 0,7	0,7 a 3,0	> 3,0
Na (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	< 3,0	> 3,0	-
Ca + Mg (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	< 5,0	5 a 15,0	> 15,0

Adaptada de Ayers & Westcot (1985).

**Tabela 7.** Diretrizes para interpretar a qualidade de água para irrigação em termos de risco de redução da infiltração de água no solo, segundo Ayers & Westcot (1985)

RAS (mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>-0,5</sup>	Classes de restrição de uso para irrigação		
	Nenhuma	Moderada	Severa
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )			
0 a 3	>0,7	0,7 - 0,2	<0,2
3 a 6	>1,2	1,2 - 0,3	<0,3
6 a 12	>1,9	1,9 - 0,5	<0,5
12 a 20	>2,9	2,9 - 1,3	<1,3
20 a 40	>5,0	5,0 - 2,9	<2,9

### 3.10. Colheita da cana-de-açúcar na área experimental

A colheita do experimento foi realizada de maneira similar às demais áreas na usina, antecedida pela queima do canavial e cortada por meio de corte manual. Na safra anterior a condução do experimento, a 4ª folha foi cortada no dia 17 de novembro de 2010. O corte da 5ª folha, referente ao período experimental, foi realizado no dia 22 de novembro de 2011.

Para estimar a produtividade da cana-de-açúcar, foram selecionadas seis parcelas amostrais em cada subárea, sendo, três em área submetida à aplicação de vinhaça e três na área de bordadura. Cada parcela foi composta por 10 sulcos com 7 metros de comprimento, com espaçamento entre sulcos de 1 metro, totalizando uma área de 70 m<sup>2</sup>, por parcela amostral.

Em cada parcela amostral foram cortadas cinco linhas, enleirando a cana-de-açúcar na linha central para formar dois molhões. A produtividade dos colmos (TCH) foi obtida com base na massa (kg) de cada parcela pesando-se em campo através de um dinamômetro acoplado a uma carregadeira. Para isso, foram utilizadas duas cordas amarradas ao molhão, através das quais ele foi levantado com auxílio do braço mecânico da carregadora (Figuras 8A e 8B). De posse desse valor, utilizou-se a seguinte equação para se determinar o TCH:

$$TCH = 142,86 \times M \quad (1)$$

onde: TCH é a massa ( $t\ ha^{-1}$ ) de cada parcela experimental; M é a massa (kg) de cada parcela experimental e,  $142,86 =$  é a área da parcela experimental ( $m^2$ ), valor obtido da relação entre  $10.000m^2$  e  $70m^2$ .



**Figura 8.** A - Pesagem do feixe em campo, B - Dinamômetro acoplado ao braço mecânico da carregadora.

Por ocasião da colheita, amostraram-se aleatoriamente 10 colmos em cada parcela experimental. Posteriormente, essas amostras foram identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Tecnologia da Usina Cucaú, para análise da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. Os índices associados ao rendimento industrial determinados neste trabalho foram o teor aparente de sólidos solúveis presentes no caldo da cana por refratometria ( $^{\circ}$ Brix), Pol% de cana (PC) e o açúcar total recuperável (ATR), segundo metodologia vigente no SPCTS (Sistema de Pagamento da Cana-de-açúcar pelo Teor de Sacarose) e metodologia sugerida por Caldas (1998). De posse dos valores da produtividade dos colmos (TCH) e a Pol% da cana (PC) calculou-se a produtividade em açúcar (TPH).

### **3.11. Análise estatística dos dados**

#### **3.11.1. Água Subterrânea**

Nesta análise estatística utilizou-se o programa “SAS” versão 9.0 (2002) onde foram interpretados individualmente os parâmetros CE, pH,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e RAS da água coletada nos poços de monitoramento distribuídos em toda área experimental. Para análise dos dados, foi utilizada a análise multivariada como solução natural para

interpretar os dados coletados de medidas ao longo do tempo, numa mesma unidade experimental. A partir das análises de variância utilizou-se o teste de F.

Por se tratar, neste estudo, da investigação do comportamento do lençol freático sob diferentes lâminas usadas para fertirrigação com vinhaça e ao longo de seis períodos de avaliação, realizou-se o teste comparativo de médias, utilizando-se o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

### **3.11.2. Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar**

Aos parâmetros TCH, ATR, TPH, Brix, POL, Fibra e Pureza foram aplicadas análises de regressão comparando área submetida à aplicação de vinhaça com área sem aplicação.

### **3.11.3. Mapeamento dos índices de potássio ( $K^+$ ) e razão de absorção de sódio (RAS) na água do lençol freático coletada nos poços de monitoramento**

Os dados coletados da água do lençol freático nos poços de monitoramento distribuídos em toda área experimental, nas diferentes subáreas, lâminas e épocas de coleta, para concentração de potássio ( $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ ) e para os valores da RAS ( $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ )<sup>0,5</sup> calculada mediante a razão da concentração dos valores obtidos de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  foram plotados pelo programa Sufer versão 8.1 (2002). A interpolação por krigagem foi realizada para estimar os valores, minimizando os erros e, posteriormente facilitar a observação sob as diferentes lâminas e sua distribuição ao longo do tempo.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 8 os dados foram agrupados de modo a diferenciar apenas as lâminas aplicadas e não o tempo. Assim, tem-se os valores médios das concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , RAS, CE e pH da água subterrânea coletada nos poços dentro da área onde foi aplicada vinhaça e da área chamada de bordadura, onde não houve aplicação de vinhaça ( $L_0$ ).

**Tabela 8.** Valores médios da composição química da água subterrânea em função das lâminas aplicadas

Lâminas	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	RAS	CE	pH
$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$	$\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$				$(\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0.5}$		$\text{dS m}^{-1}$	
$L_0^*$	0,0286 b	1,4201 b	1,4487 b	0,1265 b	0,6757 b	1,2357a	0,20 b	5,76 <sup>a</sup>
$L_{50}$	0,0568ab	5,3708a	5,4276a	0,3959a	1,1022a	1,4881a	0,37a	5,57 <sup>a</sup>
$L_{60}$	0,0776a	2,9766a	3,0542a	0,6678a	0,6178 b	0,8860a	0,28a	5,60 <sup>a</sup>
$L_{65}$	0,0661a	4,4100a	4,4761a	0,5570a	0,6444 b	1,2862a	0,34a	5,38 b

\* Área de bordadura. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p>0,05$ ).

Verificou-se que não houve diferença significativa ( $p<0,05$ ) para as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ , RAS e CE entre as diferentes lâminas aplicadas. Quando se observa os valores oriundos da área onde não houve aplicação de vinhaça tem-se que todos os valores foram inferiores aos da área fertirrigada. Porém quando avaliado a concentração de  $\text{Na}^+$ , a lâmina  $L_{50}$  foi a que apresentou maior média  $1,1022 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ , diferindo estatisticamente das demais lâminas e da bordadura ( $L_0$ ).

Ainda na Tabela 8, a maior concentração média de cálcio + magnésio foi na água subterrânea oriunda da área onde se aplicou a  $L_{50}$  ( $5,4276 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ), que segundo os parâmetros da classificação de água para irrigação, esta seria de restrição moderada, segundo Ayers e Westcot (1985).

Os valores de pH na água subterrânea oriunda da área de bordadura ( $L_0$ ) apresentou maior média 5,76 (Tabela 8) não diferindo estatisticamente das lâminas ( $L_{60}$  e  $L_{50}$ ), porém a lâmina  $L_{65}$  foi a que apresentou menor média 5,38, diferindo estatisticamente das demais lâminas e da bordadura.

Em geral, verificou-se que não houve diferença significativa entre as lâminas aplicadas. Os menores valores foram na bordadura para todos os parâmetros avaliados, condição essa que já era esperada. Foram observados baixos valores de CE e para relação de absorção de sódio, não houve diferença significativa.

A composição química da água subterrânea ao longo do tempo pode ser observada na Tabela 9, por meio dos valores médios de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , RAS, CE e pH, antes e depois da aplicação de vinhaça. De modo geral, na coleta logo após a aplicação da vinhaça, os valores da composição química do lençol freático foram superiores as demais épocas coletadas o que mostra a influência direta da aplicação de vinhaça. Porém, ao longo do tempo, houve uma diminuição dos valores, a ponto de ficarem abaixo da concentração antes da aplicação da vinhaça. Esse resultado indica que a precipitação pluviométrica na área (Figura 1), a movimentação da água, a flutuação do lençol e a recarga do aquífero proporcionaram a diluição dos elementos químicos das águas subterrâneas.

**Tabela 9.** Valores médios dos parâmetros analisados ao longo do tempo, independentes da lâmina de vinhaça aplicada.

Tempo	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	RAS	CE	pH
	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>				(mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	dS m <sup>-1</sup>	
T0*	0,0461 b	2,5620 b	0,1622 bc	0,7162 b	0,6824 bc	0,28 ab	5,56 bc
T1	0,1131 a	5,8315 a	0,7286 a	0,7566 b	2,1267 a	0,32 a	5,62 b
T2	0,0640 b	3,9363 b	0,4409 b	0,8002 b	0,9921 b	0,34 a	5,54 bc
T3	0,0373 b	2,6432 b	0,4252 b	0,9147 a	1,2524 b	0,31 a	5,70 b
T4	0,0252 b	2,1796 bc	0,2835 b	0,5646 c	0,9828 b	0,20 b	5,82 a
T5	0,0150 c	0,9086 c	0,1086 c	0,7202 b	1,3993 b	0,18 c	5,53 c

\* Corresponde à coleta realizada antes da aplicação da vinhaça. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,05).

Para potássio, a coleta T1 foi a que apresentou maior média 0,7286 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>, diferindo estatisticamente das demais épocas de amostragem. Enquanto que, a coleta T5 apresentou menor média 0,1086 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> (Tabela 9).

A dinâmica do potássio no solo vem sendo relatada na literatura, especialmente quanto à sua movimentação no solo. Predominantemente, a movimentação deste elemento no solo ocorre pelo processo de difusão, ou seja, lentamente e a curtas

distâncias, através de filmes de água que circundam as partículas do solo (MALAVOLTA, 1980). Miranda et al. (2005) citam que alta parcela desse nutriente pode movimentar-se no solo por fluxo de massa. Lopes (1998) relata que as condições de seca diminuem o movimento no solo, e os altos níveis de potássio no solo o aceleram. A baixa capacidade de troca e baixo poder de fixação de formas não trocáveis nos solos muito intemperizados como de regiões tropicais, aliadas a chuvas pesadas, tanto em termos de quantidade como de duração podem ajudar a entender a lixiviação do  $K^+$  no solo (MALAVOLTA, 2006). Corroborando o mesmo autor, a alta concentração de potássio na água subterrânea durante a coleta T1, pode ser explicada pela precipitação (Figura 1B), no período de amostragem, que lixiviou o potássio aplicado via vinhaça, do solo para o lençol freático.

Silva (2007) avaliando os níveis de  $K^+$  no solo com o tempo, após a aplicação de vinhaça, observou que a redução dos níveis desse íon não dependeu do tipo de uso do solo. Por outro lado, Cruz (1991) avaliando o efeito da vinhaça sobre o solo e água subterrânea, ao longo do tempo, observou uma grande variação no teor de potássio nas diferentes profundidades do solo (25, 75 e 150 cm) em função do período da safra, atingindo altas concentrações no solo em função das aplicações de vinhaça. Cruz (1991) identificou alguns picos de potássio mesmo em uma área testemunha na época em que se iniciam as chuvas, o que leva a crer que esse nutriente pode ter migrado das áreas fertirrigadas, por lixiviação em função das chuvas e das irrigações. Corrêa et al. (2001) estudando a diferença entre área sob mata e sob cultivo de cana-de-açúcar fertirrigado com vinhaça, observaram que os teores de potássio foram superiores na cultivada, na camada de 40-60 cm devido ao deslocamento do elemento com a precipitação intensa na área experimental. Concordando Cruz (1991), Cambuim & Cordeiro (1986) e Figueredo Filho (2005) afirmaram que depois do período de intensa aplicação de vinhaça os teores de potássio se elevaram quase que proporcionalmente às áreas fertirrigadas, reforçando a hipótese da influência pela aplicação de vinhaça em áreas adjacentes.

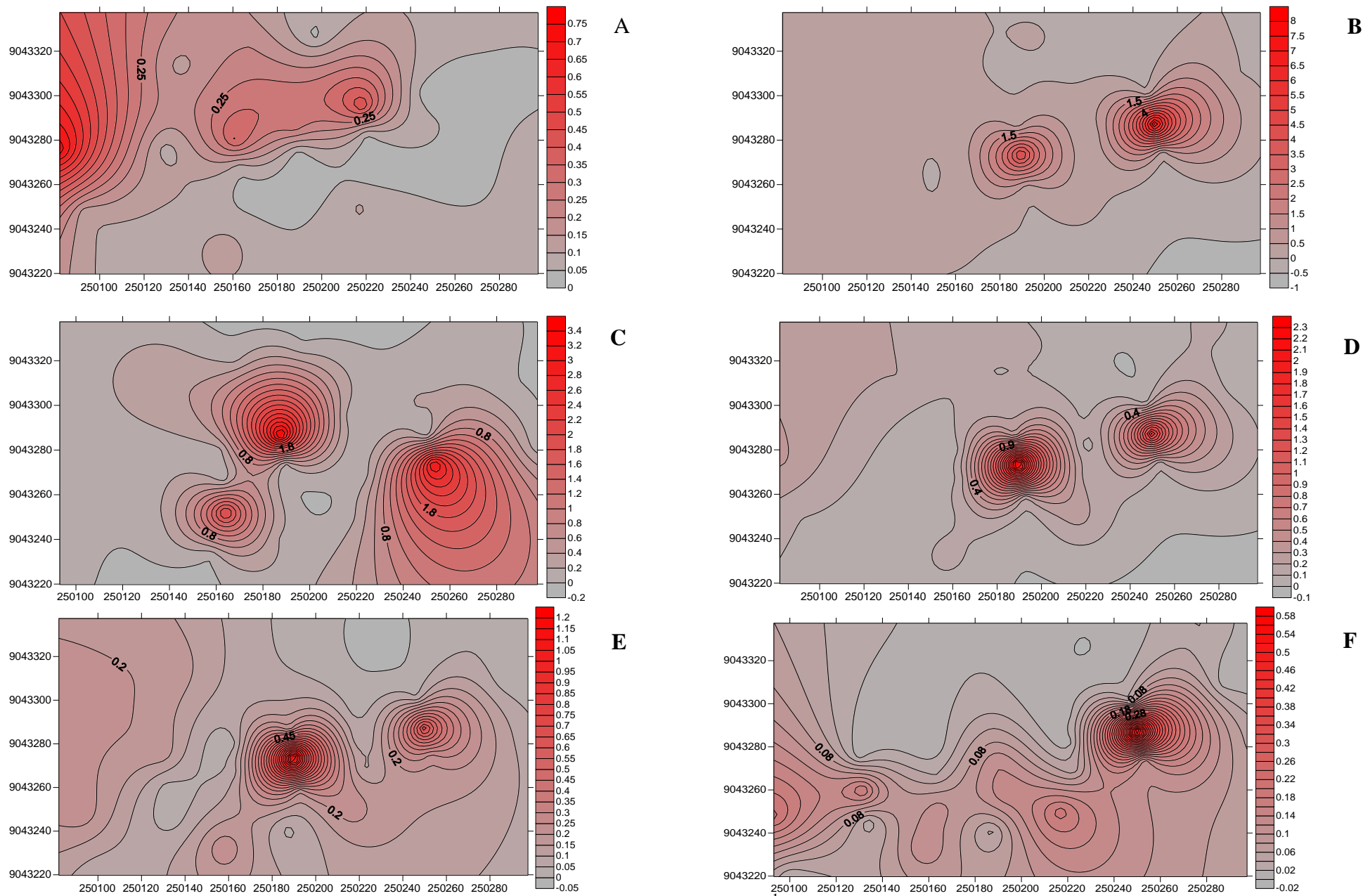
Brouyère et al. (2004) citam que as variações no nível do lençol freático afetam a evolução da contaminação, uma vez que, em períodos de elevação do nível freático, os contaminantes migram em profundidade no perfil do solo, induzindo a um aumento na concentração desses elementos na água subterrânea. Gonzalo et al. (2005) observou excesso de potássio, na camada superficial, onze vezes superior à recomendação de  $K_2O$  por hectare em cana-soca. Esses autores informam que pelo alto poder de lixiviação

desse íon, é importante considerar a dose a ser aplicada a fim de minimizar os impactos ambientais ocasionados pelo uso desse resíduo.

Cunha et al. (1987) avaliando áreas irrigadas com vinhaça, concluíram não haver risco de poluição das águas subterrâneas por potássio, uma vez que foram detectadas pequenas quantidades desse elemento em profundidades superiores a 1,20m. Respostas semelhantes foram encontradas nesse estudo, uma vez que houve uma redução significativa ao longo do tempo na concentração desse elemento conforme citado na Tabela 9. Resultados semelhantes ao encontrado nesse estudo, foram ainda relatados por Gloeden et al (1991). Esses autores citam que mesmo com doses crescentes de vinhaça, a concentração de potássio na água subterrânea foi mantida próxima do natural, nas profundidades de 2,90 a 4,50m. De acordo com Orem et al. (2004) o destino do potássio é determinado, em parte, pela troca de íons e adsorção pelas argilas; assim, o enriquecimento do lençol freático por potássio é esporádico.

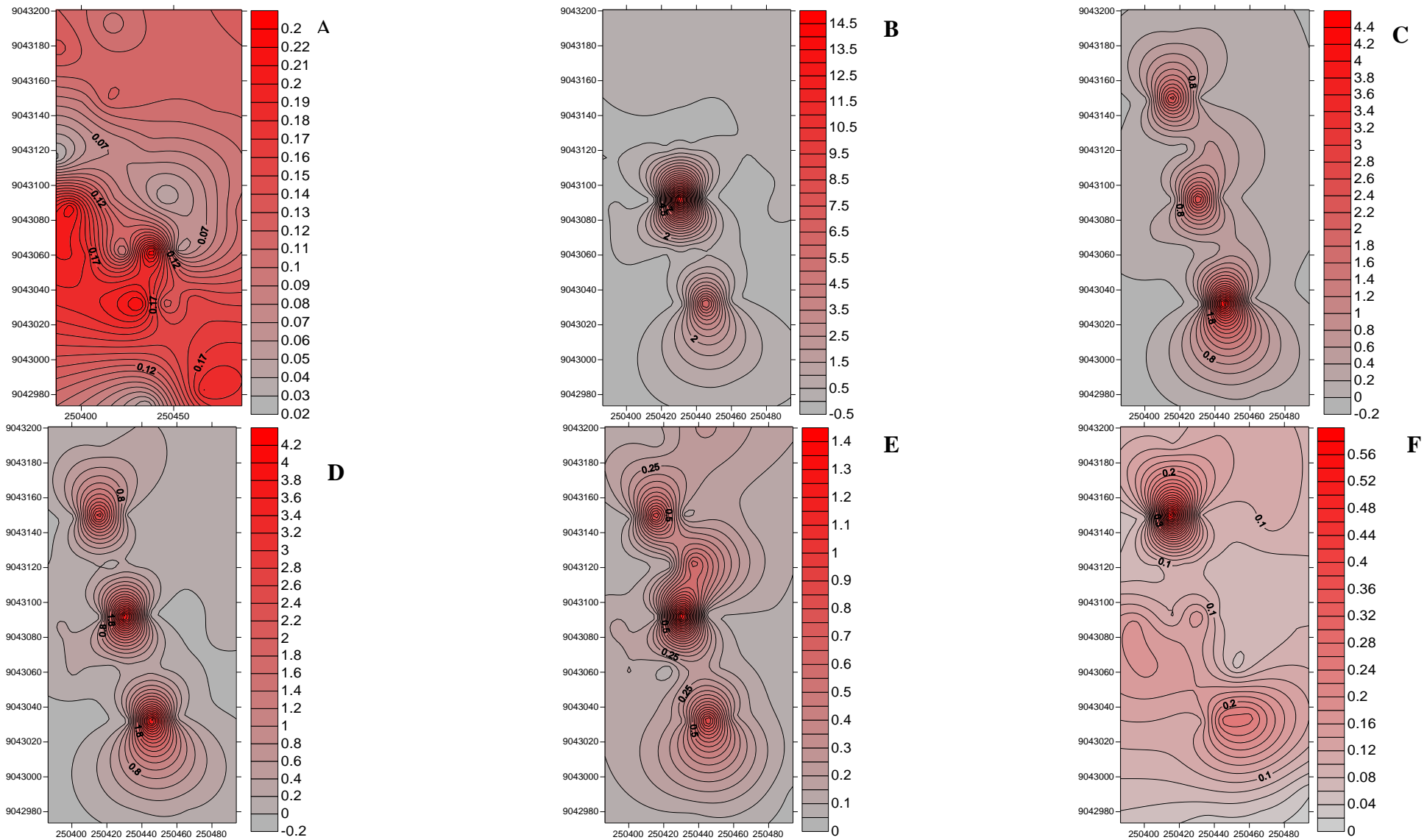
As Figuras 9, 10 e 11, mostram a concentração do potássio ( $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ ) observada mediante a coleta da água do lençol freático nos poços de monitoramento distribuídos em toda área experimental, nas diferentes subáreas, lâminas e épocas de coleta no lençol freático: antes da aplicação (A), 1ª Coleta (B), 2ª Coleta (C), 3ª Coleta (D), 4ª Coleta (E) e 5ª Coleta (F), no período de janeiro a agosto de 2011.

Observa-se que há uma redução nas concentrações ao se confortar as concentrações médias das coletas ao longo do tempo. Isso pode ser explicado pela recarga direta do aquífero dos poços situados na área experimental, diluindo sistematicamente sua concentração a cada período chuvoso, não proporcionando risco de contaminação com esse íon nas águas subterrâneas.

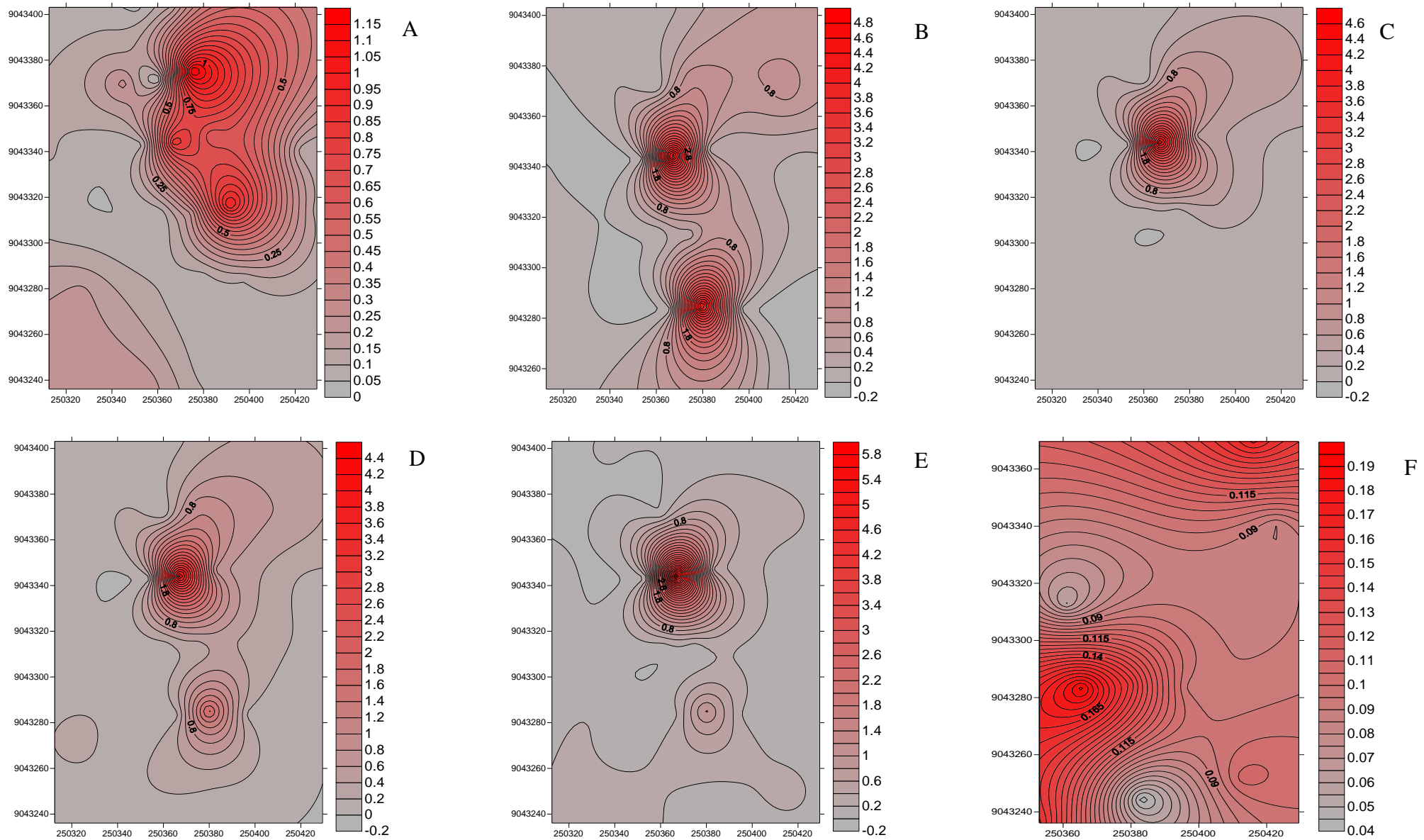


**Figura 9.** Distribuição espacial em diferentes épocas de avaliação para  $K^+$  ( $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ ) em água do lençol freático numa área submetida à lâmina de  $50\text{m}^3\text{ha}^{-1}$  de vinhaça.





**Figura 10.** Distribuição espacial em diferentes épocas de avaliação para  $K^+$  ( $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ ) em água do lençol freático numa área submetida à lâmina de  $60\text{m}^3\text{ha}^{-1}$  de vinhaça.



**Figura 11.** Distribuição espacial em diferentes épocas de avaliação para  $K^+$  ( $mmol_c L^{-1}$ ) em água do lençol freático numa área submetida à lâmina de  $65m^3ha^{-1}$  de vinhaça.

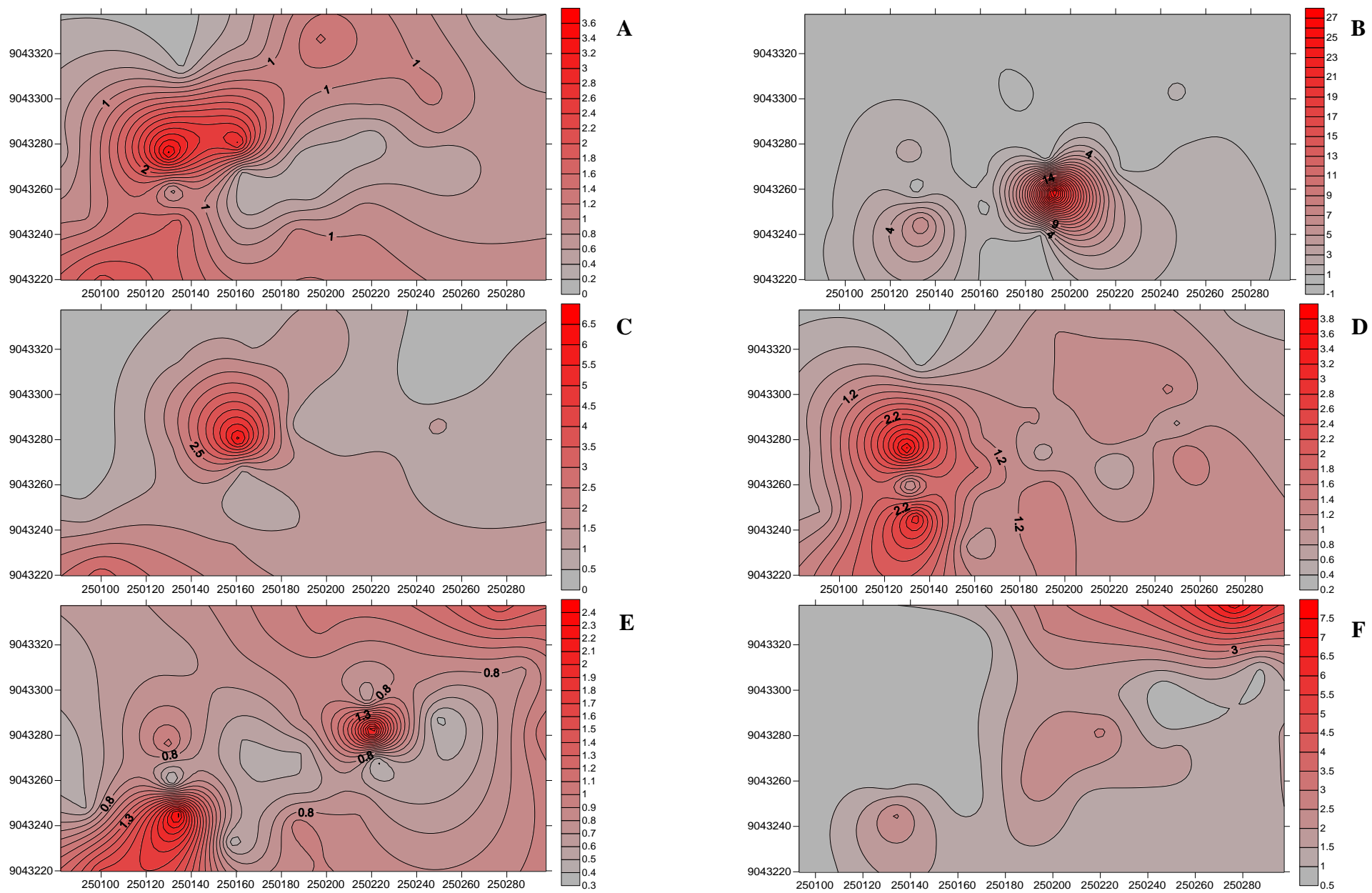
Assim como para potássio, o magnésio também apresentou concentração média maior na coleta T1 (5,8315 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), diferindo estatisticamente das demais épocas analisadas, da mesma forma que na coleta T5 foi observada a menor média (0,9086 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) (Tabela 9).

Nas águas subterrâneas, a concentração de magnésio ocorre com teores entre 0,082 e 3,28 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> (Shuqair, 2000). Observou-se que a concentração de magnésio nas águas subterrâneas imediatamente após a aplicação da vinhaça (T1 e T2) obteve valores superiores aos limites aceitáveis. Isso pode ter sido em decorrência da precipitação pluviométrica nesse período de coleta (Figura 1B) que lixiviaria o íon até o lençol freático. Concordando com resultado obtido Figueiredo Filho (2005), pode-se observar que ao longo do tempo, há uma redução na concentração de magnésio (Coleta T5) apresentando concentração média de 0,9086 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> (Tabela 9), ficando abaixo dos limites permitidos. A alta concentração do magnésio, nas coletas dos tempos T1 e T2, pode ser explicada por este ser um elemento solúvel e com alto poder de lixiviação conforme citado por Bebé et al. (2009).

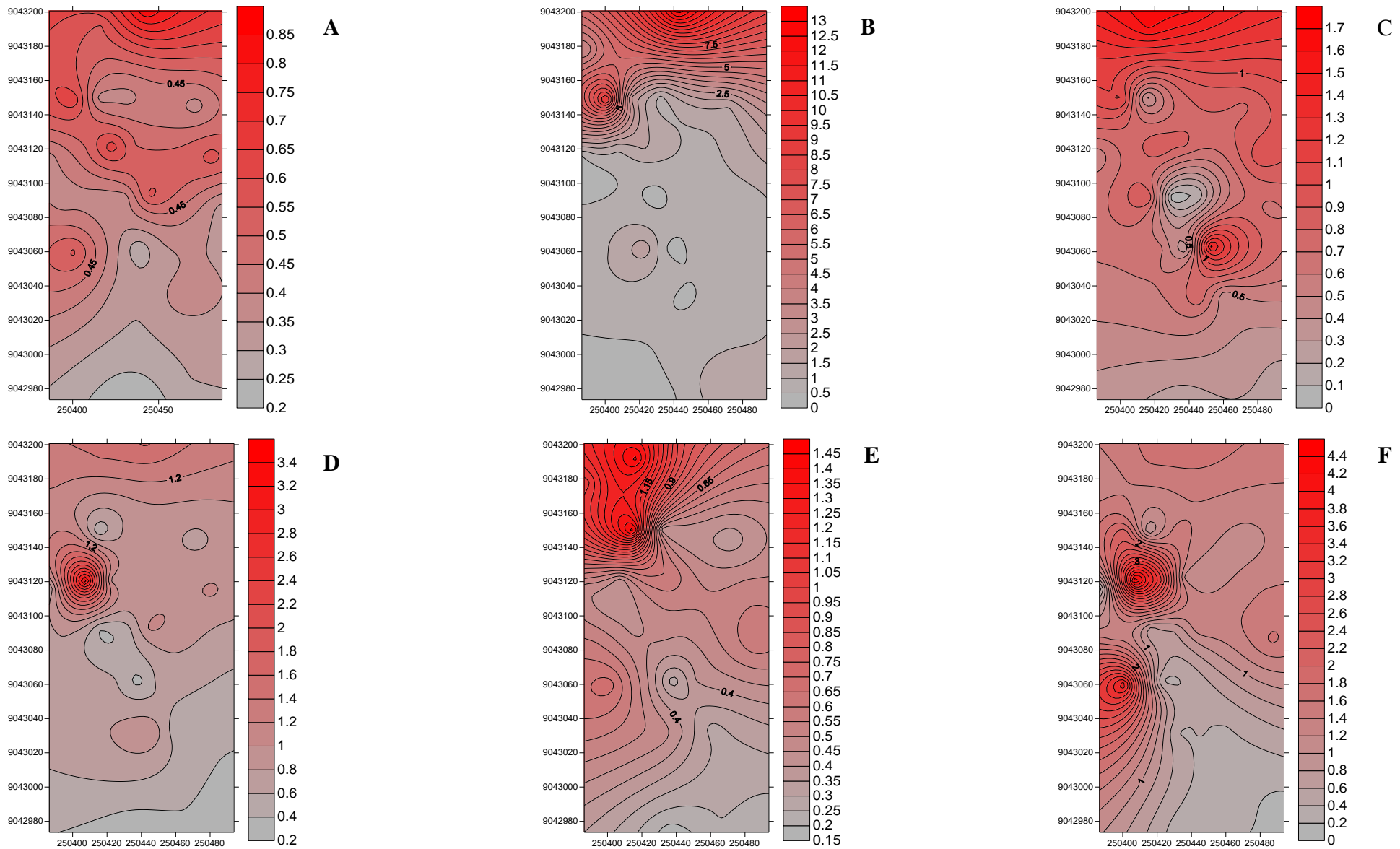
Verifica-se ainda na Tabela 9 que os valores médios de Ca<sup>2+</sup> na coleta T1 foi superior aos demais (0,1131mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), diferindo estatisticamente das demais épocas de amostragem. Da mesma forma que com K<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, a menor média foi observada na última coleta, ou seja, 0,0150 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>. Neste estudo foi observado que as concentrações médias de cálcio + magnésio na coleta T1, apresentaram valores médios de 5,9446 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>, sendo, portanto, classificada como água de restrição moderada para uso em irrigação, segundo Ayers e Westcot (1985). Porém, nas demais épocas de coleta apresentaram valores inferiores, não proporcionando risco para uso em irrigação (Tabela 9).

As Figuras 12, 13 e 14, mostram os valores da RAS (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)<sup>0,5</sup> calculada mediante a razão da concentração dos valores obtidos de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup> na água do lençol freático nos poços de monitoramento distribuídos em toda área experimental, nas diferentes subáreas, lâminas e épocas de coleta no lençol freático: antes da aplicação (A), 1<sup>a</sup> Coleta (B), 2<sup>a</sup> Coleta (C), 3<sup>a</sup> Coleta (D), 4<sup>a</sup> Coleta (E) e 5<sup>a</sup> Coleta (F), no período de janeiro a agosto de 2011.

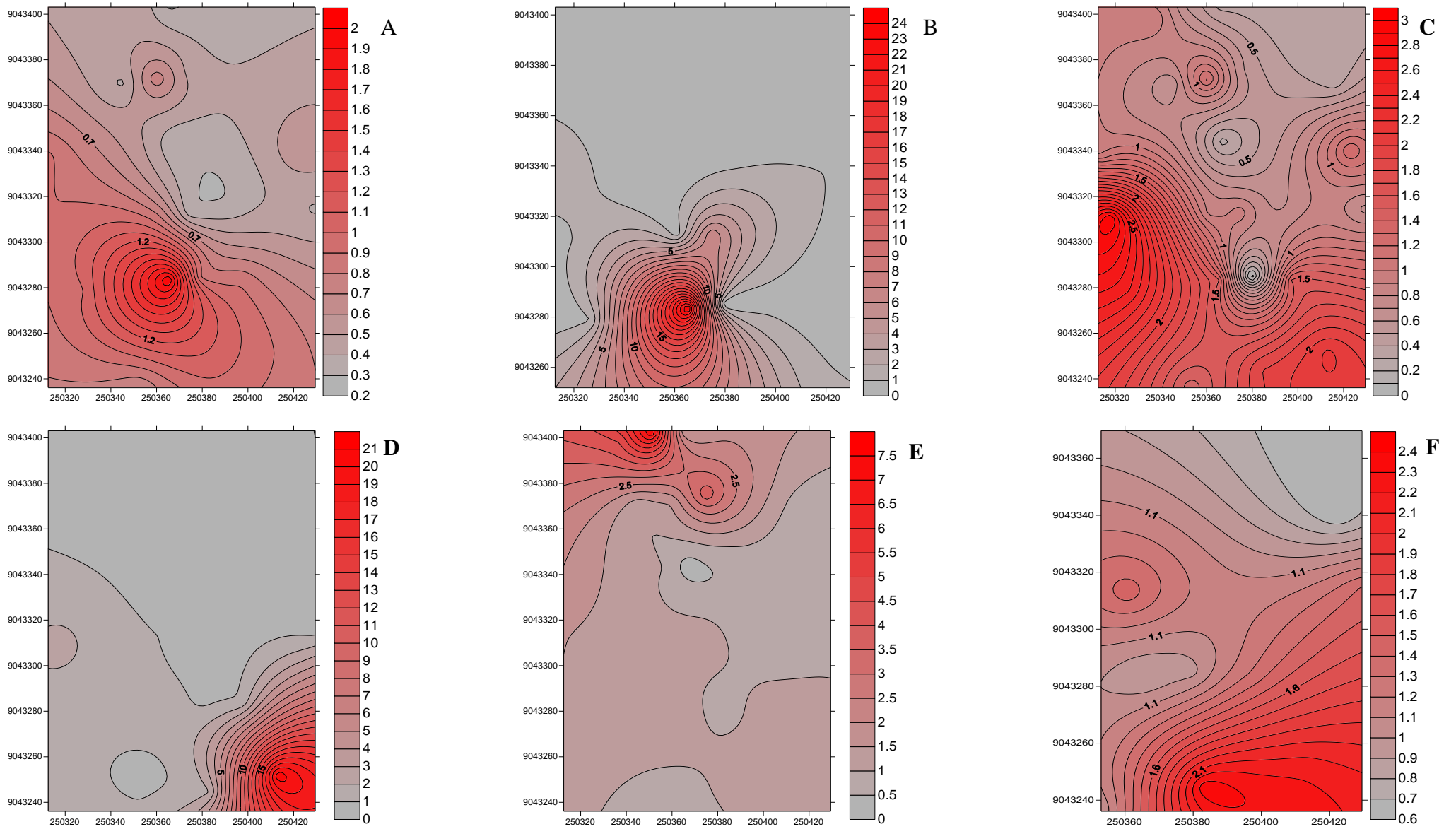
Ao se confortar as concentrações médias da RAS ao longo do tempo (Figuras 12, 13 e 14) observa-se que há uma redução em suas concentrações. Isso pode ser explicado pela recarga direta do aquífero dos poços situados na área experimental, diluindo sistematicamente os sais a cada período chuvoso que acontece na região (Figura 1).



**Figura 12.** Distribuição espacial em diferentes épocas de avaliação para RAS ( $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ )<sup>0,5</sup> em água do lençol freático numa área submetida à lâmina de  $50\text{m}^3\text{ha}^{-1}$  de vinhaça.



**Figura 13.** Distribuição espacial em diferentes épocas de avaliação para RAS ( $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ )<sup>0,5</sup> em água do lençol freático numa área submetida à lâmina de  $60\text{m}^3\text{ha}^{-1}$  de vinhaça.



**Figura 14.** Distribuição espacial em diferentes épocas de avaliação para RAS  $(\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{0.5}$  em água do lençol freático numa área submetida à lâmina de  $65\text{m}^3\text{ha}^{-1}$  de vinhaça.

Na Tabela 9, verificou-se que a coleta no tempo T1, foi a que apresentou maior média da RAS, diferindo estatisticamente das demais épocas de amostragem. Esse resultado pode estar associado à pluviosidade (Figura 1B) ocorrida na época de coleta, uma vez que, existia alta concentração dos elementos presentes no solo após aplicação da vinhaça. Dessa forma, pode-se afirmar que a chuva possivelmente proporcionou a lixiviação do  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e principalmente do  $\text{Na}^+$ , o que gerou tal concentração na água subterrânea. Observa-se que os resultados são inferiores a  $3 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5}$  não apresentando riscos de problemas de infiltração no solo causado por sodicidade da água (Ayers e Westcot, 1999).

Os valores de condutividade elétrica (CE) medidos nas amostras de água subterrânea, nos diferentes tempos de coleta (Tabela 9) apresentaram valores inferiores a  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ . Destes, os maiores valores de CE foram encontrados nos tempos T0, T1, T2 e T3, não diferindo estatisticamente entre si. De acordo com Ayers e Westcot (1985) água com condutividade elétrica menor do que  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$  não oferece nenhuma restrição para uso na irrigação. Resultado semelhante foram encontrados por Silva et al. (2006),  $0,3$  e  $0,45 \text{ dS m}^{-1}$ , quando avaliou a qualidade da água subterrânea nos municípios que compõe a bacia hidrográfica do Rio Gurguéia. Resultados diferentes foram encontrados por Medeiros et al. (2003), quando caracterizou as águas subterrâneas usadas para irrigação em região produtora de melão, encontrando valores que variaram de  $1,17$  a  $2,98 \text{ dS m}^{-1}$ . Concordando com os resultados encontrados por Medeiros et al. (2003), Medeiros (1992), Oliveira & Maia (1998), em águas do aquífero calcário possuem concentrações de sais superiores a  $3 \text{ dS m}^{-1}$ .

Com relação ao potencial hidrogeniônico (pH), o tempo T4 apresentou maior média ( $5,82$ ) diferindo estatisticamente dos demais tempos avaliados. Esse resultado pode estar associado ao regime pluviométrico no período avaliado (Figura 1D), favorecido pela recarga do lençol freático, proporcionando uma maior diluição dos sais presentes. Ayers e Westcot (1985) citam uma faixa normal de pH compreendida entre valores de  $6,5$  e  $8,4$ . Os valores de pH, nesse estudo, variaram de  $5,53$  a  $5,82$  ao longo do tempo. Todavia, Nakayama (1982) cita que não existe restrição para águas com pH inferior a  $7$ , com restrição moderada para águas com pH entre  $7$  e  $8$  e com severa restrição para pH acima de  $8$ .

Segundo Oliveira & Maia (1998) as determinações de pH e CE fornecem subsídios para se avaliar a possibilidade de precipitação de sais e a indução a salinidade em função da prática de irrigação. Os autores informam que, a razão de adsorção de sódio

(RAS) assume papel preponderante, posto à combinação CE e RAS servem para avaliar os perigos que a água oferece, respectivamente, em termos de indicação de salinidade, aumento no teor de sódio na solução do solo e, conseqüentemente, problemas de infiltração de água no solo.

Na Tabela 10 estão apresentados os parâmetros estatísticos para as variáveis de qualidade da água analisada.

**Tabela 10.** Parâmetros estatísticos para as variáveis de qualidade da água analisada.

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
<b>pH</b>	3,80	7,30	5,63	0,55
<b>CE</b> (dS m <sup>-1</sup> )	0,02	1,89	0,27	0,29
<b>K<sup>+</sup></b> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,0032	15,1124	0,3649	1,1321
<b>Na<sup>+</sup></b> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,0588	4,6348	0,7459	0,5532
<b>Ca<sup>2+</sup></b> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,0002	2,8950	0,0508	0,1628
<b>Mg<sup>2+</sup></b> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,0002	77,8361	3,0619	7,5163
<b>RAS</b> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	0,0002	27,3419	1,2256	2,2664

Em termos de classificação da água quanto ao risco de salinidade, segundo Richards (1954) e Ayers & Westcot (1991), pode-se observar que a água subterrânea da área estudada, poderia ser classificada como C<sub>1</sub> (água de baixa salinidade) com condutividade elétrica (CE<sub>a</sub>) de 0,27 dS m<sup>-1</sup>. Quanto ao risco de sodicidade, a RAS da área experimental apresentou média de 1,2256 (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)<sup>0,5</sup> o que a classificaria, segundo Ayres & Westcot (1999), como S<sub>1</sub> não apresentando, portanto, risco de sodicidade. Dessa forma, utilizando a classificação de água de irrigação para qualificar a água subterrânea da área experimental, pode-se classificar como água tipo C<sub>1</sub>S<sub>1</sub> o que é indicativo de água com baixa salinidade e sem problemas de toxicidade.

Os níveis de tolerância à salinidade da água (CE<sub>a</sub>) para cultura da cana-de-açúcar é de 2,3 dS m<sup>-1</sup>, segundo Ayers & Westcot (1999) e Rhodes et al. (1992). De acordo com o resultado apresentando não foi observado risco de salinidade na área experimental no período avaliado.

Na Tabela 11, pode ser observado o resultado da ANOVA da composição química da água subterrânea por meio do teste F das concentrações de cálcio (Ca<sup>+2</sup>),



magnésio ( $Mg^{+2}$ ), potássio ( $K^+$ ), sódio ( $Na^+$ ), razão de absorção de sódio (RAS), condutividade elétrica (CE) e potencial hidrogeniônico (pH) em água do lençol freático sob diferentes lâminas de fertirrigação com vinhaça ao longo do tempo.

**Tabela 11.** Efeito das lâminas (LAM), do tempo (T) e da interação tempo (T) x lâmina (L) na composição química da água do lençol freático.

FV	LAM	T	T x L
Variável	Pr > F		
$K^+$	0,1070 <sup>ns</sup>	0,0020 <sup>**</sup>	0,2713 <sup>ns</sup>
$Mg^{2+}$	0,0249 <sup>*</sup>	<0,0001 <sup>**</sup>	0,0114 <sup>*</sup>
$Ca^{2+}$	0,2195 <sup>ns</sup>	0,0029 <sup>*</sup>	0,2571 <sup>ns</sup>
$Na^+$	0,0040 <sup>**</sup>	0,0005 <sup>**</sup>	0,5450 <sup>ns</sup>
RAS	0,3163 <sup>ns</sup>	<0,0001 <sup>**</sup>	0,6416 <sup>ns</sup>
CE	0,0071 <sup>**</sup>	0,0048 <sup>**</sup>	0,1262 <sup>ns</sup>
pH	0,0049 <sup>**</sup>	0,0003 <sup>**</sup>	<0,0001 <sup>**</sup>
GL	3	5	15
Resíduo	52	260	260

<sup>ns</sup> Não significativo até 5%. \* Significativo a 5% e \*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. LAM: Lâmina; T: Tempo; T x L: Tempo x Lâmina.

O resultado da ANOVA mostrou que não houve efeito da interação entre T x L para concentrações de  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Na^+$ , RAS e CE, enquanto que para  $Mg^{+2}$  e pH a interação foi significativa. O fator isolado LAM promoveu efeito significativo com níveis de probabilidade variando de 5% para  $Mg^{+2}$  e 1% para  $Na^+$ , CE e pH. Para as concentrações de  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  e RAS, o efeito não foi significativo.

O fator isolado Tempo (T) promoveu efeito significativo para todos os parâmetros analisados ao nível de 1% de probabilidade, com exceção do  $Ca^{2+}$  que apresentou efeito significativo a 5% de probabilidade.

Na Tabela 12 estão apresentadas as variáveis relacionadas à produtividade (TCH e TPH) medidas na época de colheita do experimento, as equações de regressão e seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ). Estas equações correlacionam os dados oriundos da área sob aplicação de vinhaça com os dados da área sem vinhaça (bordadura). A melhor equação foi a linear, uma vez que as lâminas aplicadas fossem maiores, proporcionariam um acréscimo na produtividade, sendo mais bem visualizada a função de produção. Nesta tabela é possível observar que para produtividade dos

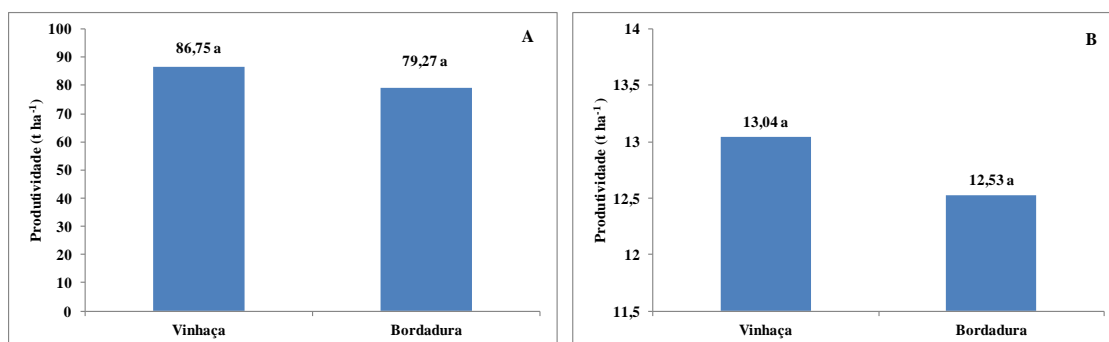
colmos por hectare (TCH) apresentou baixa correlação linear quando comparada a área sob aplicação de vinhaça com a bordadura.

**Tabela 12.** Equações de regressão ajustadas aos dados médios de TCH e TPH, medidas em cana-de-açúcar cultivada com e sem vinhaça.

Parâmetros	Equação de regressão ajustada	R <sup>2</sup>
TCH	0,5144*TCH + 34,645	0,4836
TPH	0,6567*TPH + 3,9673	0,6419

TCH (tonelada de cana por hectare); TPH (tonelada de pol por hectare)

Na Figura 15 A, observa-se que a área submetida à aplicação de vinhaça não apresentou produtividade estatisticamente diferente da bordadura. Este resultado é consequência das baixas lâminas aplicadas nesse trabalho (máxima de 65 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Medina et al. (2002), quando avaliaram a produtividade dos colmos sob aplicação de vinhaça em diferentes lâminas (150, 300, 450 e 600 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) observaram que houve aumento significativo na produtividade até a dose de 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Penatti et al. (1988), avaliando a aplicação da vinhaça em duas variedades SP70-1143 (3º corte) e SP71-1406 (2º corte), verificaram que, a vinhaça proporcionou aumentos significativos de produção.



**Figura 15.** A - Produtividade de colmos de cana-de-açúcar (t ha<sup>-1</sup>); B - Produtividade de açúcar (t ha<sup>-1</sup>).

A produtividade de açúcar (TPH) acompanhou basicamente o rendimento dos colmos (Figura 15 B), em que a área submetida à aplicação de vinhaça não apresentou diferença estatística entre as médias quando comparada com as áreas sem vinhaça. Na

tabela 12, observa-se que o coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,6419$ ) indicou maior associação linear entre as variáveis estudadas. Resultados semelhantes quanto a produtividade de açúcar por hectare (TPH) foram obtidos por Resende et al. (2006), quando estudaram o efeito da queima da palha da cana-de-açúcar, de aplicações de vinhaça e de adubo nitrogenado ao longo de 16 anos. Esses autores afirmam que a aplicação de vinhaça favoreceu a produção de açúcar em 12%, na primeira fase (1983-1992), e na segunda fase (1992 – 1999) acréscimo de 16%, e quando avaliaram o efeito da vinhaça em 12 socas, esse resíduo favoreceu a produção de açúcar em cerca de 13%.

Na Tabela 13 encontram-se as variáveis relacionadas à qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (ATR, Brix, Pol, Pureza (PZA) e Fibra). Para o ATR observou-se que não houve correlação entre a área submetida à aplicação de vinhaça e a bordadura, apresentando baixo coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,0492$ ).

**Tabela 13.** Equações de regressão ajustadas aos dados médios de ATR, Brix, Pol, Pureza (PZA) e Fibra, medidas em cana-de-açúcar cultivada com e sem vinhaça.

Parâmetros	Equação de regressão ajustada	R <sup>2</sup>
ATR	0,1944*ATR + 123,59	0,0492
Brix	0,1551*Brix + 17,316	0,0181
Pol	-0,0246*Pol + 18,568	0,0006
PZA	-0,1495*PZA + 101,89	0,07
Fibra	0,087*Fibra + 12,914	0,0048

ATR (kg) (açúcar total redutor); Brix %; (percentagem em peso de sólidos solúveis aparentes); Pol %; (percentagem da sacarose aparente); Pureza (PZA) %; Fibra %

Para variável ATR, a não associação está relacionada à variedade, uma vez que a RB92579 é uma cultivar de meio de safra, e no período de corte 22/11/2011, a cultivar encontrava-se em seu período de maturação. Rodrigues (1995) relata que altas doses de potássio retardam a maturação da cana-de-açúcar, condição essa que influencia de forma negativa, uma vez que no período de corte a cana-de-açúcar estará com uma menor concentração de sacarose. Esse efeito não foi observado no período experimental, uma vez que a lâmina média aplicada  $65 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  é inferior as lâminas

aplicadas Lyra et al. (2003) e Medina et al. (2002). Ainda verificou-se que para Brix, Pol, PZA e Fibra apresentaram baixa correlação entre a área fertirrigada com vinhaça e a bordadura, com resultados apresentando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,0181; 0,0006; 0,07 e 0,0048, respectivamente.

Na Tabela 14 estão expressos os valores médios dos indicadores tecnológicos da cana-de-açúcar em área submetida a aplicação de vinhaça e sem aplicação (bordadura).

**Tabela 14.** Variáveis tecnológicas da cana-de-açúcar em áreas submetidas à aplicação de vinhaça e sem vinhaça.

<b>Parâmetros</b>	<b>Parâmetros Referência<sup>(*)</sup></b>	<b>Vinhaça</b>	<b>Sem Vinhaça</b>
Brix	20,17	19,96	20,41
Pol	>16,81	17,52	18,14
PZA	>83,55	87,40	88,82
Fibra	16,09	14,21	14,15

Brix %; (percentagem em peso de sólidos solúveis aparentes); Pol %; (percentagem da sacarose aparente); Pureza (PZA)%; Fibra%, <sup>(\*)</sup> Fonte: Associação dos Fornecedores de Cana de Pernambuco, safra 2011/2012.

Os resultados das análises de Brix e Pol do caldo (Tabela 14) serviram de base para o cálculo da pureza. De modo geral, os valores médios de Brix oscilaram entre 19,96 e 20,41%, e os valores médios de Pol situam-se entre 17,52 e 18,14%, respectivamente. Constatou-se que os resultados encontrados para pureza foram superiores aos parâmetros de referência para o Estado de Pernambuco, porém não foram observadas diferenças significativas entre os valores para áreas com e sem vinhaça. Os valores variaram entre 87,40 e 88,82%, indicando que a matéria-prima, no momento do corte, apresentava valor superior ao mínimo de pureza necessário para a sua industrialização, que é de 80% no início e de 85 % no transcorrer da safra (MARQUES et al., 2001) e para Pernambuco o valor mínimo é de 83,55% (AFCP, 2012). Os valores médios de Fibra % foram de 14,21% em área sob aplicação de vinhaça e 14,15% em área que não foi submetida à aplicação desse resíduo, mostrando-se inferiores aos valores de referência para esse parâmetro que são de 16,09%. Franco (2003) e Camilotti et al. (2006) avaliando o teor de fibra em área submetida a aplicação de vinhaça em 4 ciclos diferentes (1º ao 4º corte) encontraram valores que oscilaram entre

9 e 15% Os autores verificaram que os fatores de variação não promoveram alterações nessa variável tecnológica da cana-de-açúcar.

Resultados semelhantes ao encontrado no estudo foram obtidos por Junior et al., (2008), quando avaliaram a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em área submetida a aplicação de vinhaça, lodo de esgoto e a interação entre eles. Os autores concluíram que à aplicação desses resíduos não influenciaram na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, para os parâmetros Pol, Pureza, Fibra e Brix. Resende et al. (2006), quando estudaram a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, em área submetida a aplicação de vinhaça e a manutenção da palhada, concluíram que de forma consistente, os tratamentos não afetaram as características tecnológicas da cana-de-açúcar. Porém os autores observaram a influência desse resíduo na produção de açúcar e no ganho na produtividade de colmos indicando que a vinhaça é essencial para produtividade da cultura e a produção de açúcar, a longo prazo.

## 5. CONCLUSÕES

1. A aplicação de lâminas de vinhaça até  $65 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , em áreas de várzea, para os parâmetros analisados, não proporcionaram riscos às águas subterrâneas;
2. A relação de absorção de sódio mostrou que não existe risco de salinidade e sodicidade da área no período avaliado;
3. A aplicação de vinhaça proporcionou acréscimo de 9% na produtividade dos colmos e de 4% na produtividade de açúcar.
4. O monitoramento dos parâmetros químicos do lençol freático mostrou que, ao longo do tempo, houve uma redução de suas concentrações, em função da precipitação pluviométrica ocorrida no período estudado.
5. A vinhaça pode ser aplicada em áreas de várzea a cada safra em regiões de elevada pluviosidade.

## 6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B.G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**. Piracicaba, SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008. 103p. (Tese de doutorado).

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington, D.C., 1995.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Trad. Gheyli H.R.; Medeiros, J.F.; Damasceno, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 revisado I

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande. UFPB. 1991. 218p. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29. rev.1

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. Water quality for agriculture. Roma: FAO, 1985. 174p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29, Rev. 1).

BEBÉ, F.V.; ROLIM, M.M.; PEDROSA, E.M.R.; SILVA, G.B.; OLIVEIRA, V.S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.6, p.781-787, 2009.

BRITO, F.L.; ROLIM, M.M.; PEDROSA, E.M.R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9 (suplemento), p.52-56, 2005.

BROUYÈRE, S.; DASSARGUES, A.; HALLET, V. Migration of contaminants through the unsaturated zone overlying the Hesbaye chalky aquifer in Belgium: a field investigation. **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v. 72, n. 1-4, p. 135-164, 2004.

CALDAS, C. **Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras.** Maceió: Sindicato da Indústria e do Álcool do Estado de Alagoas, 1998. 424p.

CAMBUIM, F.A.; CORDEIRO, D.A. Ação da vinhaça sobre o pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes, em solos arenosos. **Stab**, São Paulo, p 27 – 33 1986.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M.O.; SILVA, A.R.; TASSO JUNIOR, L.C.; NOBILE, F.O.; NOGUEIRA, G.A.; PRATI, F. Produtividade e qualidade agroindustrial da cana-de-açúcar cultivada com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **STAB**, Piracicaba, v.24, n.3, p.32-5, 2006.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Norma Cetesb P4.231 de dezembro de 2006.** Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/P4\\_231.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/P4_231.pdf). Acesso: 11/11/2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **1º Levantamento Safra 2010/2011 Janeiro 2011.** Disponível em: [www.conab.org.br](http://www.conab.org.br). Acesso em 05/03/2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **3º Levantamento Safra 2011/2012 Dezembro 2011.** Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_12\\_08\\_11\\_00\\_54\\_08.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_08_11_00_54_08.pdf). Acesso em 19/12/2011

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). **Resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001.** Disponível em: [http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14](http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=14). Acesso: 10/11/2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso: 11/11/2010.



CORRÊA, M.C.M.; CONSOLINI, F.; CENTURION, J.F. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico sob cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Maringá, **Acta Scientiarum**, v.23, n.5, p.1159-1163, 2001.

CRUZ, R.L. **Efeito da aplicação de vinhaça sobre o solo e água subterrânea**. São Carlos SP, Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, 1991. 121p. (Tese de doutorado).

CUNHA, R. C. A.; COSTA, A. C. S.; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I - Physical and chemical aspects. **Water Science Technology**, London, v. 19, n. 8, p. 155-165, 1987.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informática; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1979.

FIGUEIREDO FILHO, C.P. **Fertirrigação com vinhaça: alterações químicas do solo e contaminação de águas subterrâneas**. Lavras, MG. Universidade Federal de Lavras, 2005. 58p. (Monografia em Gestão e Manejo Ambiental em Sistemas Agrícolas).

FRANCO, A. **Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto e vinhaça: nitrogênio no sistema solo planta, produtividade e características tecnológicas**. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203 p.

GLOEDEN E. 1994. **Monitoramento da qualidade da água das zonas não saturada e saturada em área de fertirrigação com vinhaça**. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo (USP). 164 p.

GLOEDEN, E.; CUNHA, R. C. A.; FRACCAROLI, M. J. B.; CLEARY, R. W. The behaviour of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatu aquifer recharge area. **Water Science Technology**, London, v. 24, n. 11, p. 147-157, 1991.

GLÓRIA, N.A. Utilização agrícola da vinhaça. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro. V.86, n.5. p. 11-17, 1975.

GLÓRIA, N.A.; MAGRO, J.A. Utilização agrícola de resíduos da usina de açúcar e destilaria na Usina da Pedra. In: Seminário Copersucar da agroindústria açucareira, 4. Águas de Lindóia, 1976. **Anais**. São Paulo, Copersucar, 1977. p. 163-180.

GLÓRIA, N.A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação da vinhaça: um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. **Álcool e Açúcar**, São Paulo, v. 4 n. 15, p. 22 – 31, 1984.

GONZALO, D.D.P.; CASA GRANDE, J.C.; SOARES, M.R. Lixiviação de potássio em solos adubados com vinhaça. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais**. Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

HASSUDA S. 1989. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no Aquífero Bauru**. São Paulo, Tese de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 92 p.

JORNAL CANA. Disponível em: [www.jornalcana.com.br](http://www.jornalcana.com.br). Acesso em 31/08/2010.

LIMA, V. L. A.; CHAVES, L. H. G. **Qualidade da água. Leis Qualidade Recomendações**. Campina Grande: Gráfica Agenda, 2008. 120p.

LOPES, A.S. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1998. 177 p.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 525-532, 2003.

LYRA, M.C.R.R. **Qualidade de águas subterrâneas em solos fertirrigados com vinhaça**. Recife, 2002. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E. **Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. 2. ed. Piracicaba: Instituto Internacional de Pesquisa da Potassa, 1980. 91 p.

MARQUES, M.O.; MARQUES, T.A.; TASSO JÚNIOR, L.C. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166 p.

MEDEIROS, J. F.; LISBOA, R.A.; OLIVEIRA, M.; JÚNIOR, M.J.S.; ALVES, L.P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.469-472, 2003.

MEDEIROS, J.F. de. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados do RN, PB e CE**. Campina Grande: UFPB, 1992. 173p. (Dissertação de mestrado).

MEDINA, C.C.; NEVES, C.S.V.J.; FONSECA, I.C.B.; TORRETI, A.F. Crescimento radicular e produtividade da cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. **Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v.23, n.2, p. 179-184, 2002.

MENDONÇA, E. de S.; MATOS, E. da S. **Matéria orgânica do solo: Métodos de análises**. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107 p.

MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; SELBACH, P. A. Poluentes do solo e do ambiente. In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p. 151-168.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 518/GM de 25 de março de 2004**. Disponível em: <http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>. Acesso: 10/11/2010.

MINISTÉRIO DO INTERIOR. **Portaria nº 323, de 29 de novembro de 1978**. Disponível em: <http://faolex.fao.org/docs/pdf/bra14330.pdf>. Acesso em 20/10/2010

MINISTÉRIO DO INTERIOR. **Portaria nº 124, de 20 de agosto de 1980**. Disponível em: <http://www.ipef.br/legislacao/bdlegislacao/detalhes.asp?Id=271>. Acesso em 25/10/2010

MIRANDA, J.H.; DUARTE, S.N.; LIBARDI, P.L.; FOLEGATTI, M.V. Simulação do deslocamento de potássio em colunas verticais de solo não-saturado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 677-685, 2005.

NAKAYAMA, F. S. Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. In: Pro. **Irrigation Association Conference**, Portland, Oregon. 1982.

OLIVEIRA, O.; MAIA, C.E. Qualidade físico-química da água para a irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.2, n.1, p17-21, 1998.

OREN, O.; YECHIELI, Y.; BOEHLKE, J.K.; DODY, A. Contaminaton of groundwater under cultivated fields in an arid environment, Central Arava Valley, Israel. **Journal of Hydrology**, v. 209, n.3-4, p. 312-328, 2004.

PENATTI, C.P. et. al. Efeitos da aplicação da vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Coopersucar**, São Paulo, v.44, p. 32-38, 1988.

PENHABEL, L.A.; PINTO, S.S. Vinhaça: Bio-fertirrigação e impacto ambiental. **Revista Cognito**, Lins, v.1, n.1. 2010. Disponível: [revista.unilins.edu.br/index.php/cognito/article/view/173/179](http://revista.unilins.edu.br/index.php/cognito/article/view/173/179)

Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA). **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba, 2010. p.83.

RESENDE, A.S.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; XAVIER, R.P.; SANTOS, A.; COELHO, C.H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O.C.; ALVES, B.J.R. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. V. 30, p. 937-941, 2006

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHAL, A.M. The use of saline water for crop production. Rome: FAO, 1992. 133p. FAO – **Irrigation and Drainage Paper**, 48

RICHARDS, L.A. (ed.) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington D.C.; U.S. Salinity Laboratory., 1954, 160p. USDA. Agriculture Handbook, 60.

RIDESA. **Aspectos ambientais da aplicação de vinhaça no solo**. São Paulo: UFSCar, 1994. 67 p.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu, SP. Universidade Estadual Paulista, Campus Botucatú, 1995. 99p.

ROSSETTO, A. J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: PARANHOS, S. B. (Ed.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2, p. 435-504.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SHUQAIR, S. M. S. **Estudo da Contaminação do Solo e Água Subterrânea por Elementos Tóxicos Originados dos Rejeitos das Minas de Carvão de Figueira no Estado do Paraná**. São Paulo, SP. Universidade de São Paulo – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2002. 125 p. (Tese de doutorado).

SILVA, M.A.S. **Impactos da aplicação da vinhaça sobre as propriedades químicas do solo e de seu efluente**. Goiânia, GO, Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2007. 92p. (Tese de doutorado).

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). Disponível em: [www.unica.com.br](http://www.unica.com.br). Acesso: 20/05/2010.

VEIGA, R.D.; SÁFADI, T. **Análise de regressão e séries temporais**. Lavras: UFLA, FAEPE, 1999. 57p.

## **APÊNDICE**

## **DESCRIÇÃO GERAL DO PERFIL DE SOLO**

**DATA DE COLETA** – 22.12.2010

**CLASSIFICAÇÃO** – Gleissolo Háptico Tb Distrófico Sólodico A moderado

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS** – USINA CUCAÚ  
– ENGENHO ALDEIA LOTE 01, MUNICÍPIO DE RIO FORMOSO (PE).  
COORDENADAS 8° 31' 27" S e 35° 17' 02" W

**SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** –  
Trincheira situada em área plana com 0-2,5% de declividade, em área de várzea com  
cultivo de cana-de-açúcar

**ALTITUDE** – 60 metros

**LITOLOGIA E CRONOLOGIA** – Holoceno – Período Quaternário.

**MATERIAL ORIGINÁRIO** - Sedimentos argilosos não consolidados

**PEDREGOSIDADE** – Não pedregoso

**ROCHOSIDADE** – Não rochoso

**RELEVO LOCAL** – Plano de várzea

**EROSÃO** – Não aparente

**DRENAGEM** – Imperfeitamente drenado

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA** – Floresta perenifólia de várzea

**USO ATUAL** – Plantio de cana-de-açúcar

**CLIMA** – Ams' - Köppen



## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap - 0-24 cm; cinzento muito escuro (10 YR 3/1, úmido), cinzento (10 YR 5/1, seco); franco-argilosa; moderada pequena blocos subangulares a angulares; muito dura, firme, plástica, pegajosa; transição clara e plana.

BA - 24-48 cm; bruno avermelhado (10 YR 4/4, úmido); argila; fraca a moderada pequena blocos subangulares a angulares; muito dura, friável, plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

Bi - 48-72 cm; vermelho amarelado (10 YR 5/5, úmido), mosqueado abundante pequeno e distinto bruno amarelado (7,6 YR 4/5, úmido); argila; fraca, pequena blocos subangulares a angulares; firme, ligeiramente plástica a plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

Big - 72-98 cm +; cor variegada composta de bruno muito escuro (2,5 Y 6/2) e cinzento brunado claro (7,5 YR 5/6); argila; fraca a moderada pequena a média blocos subangulares a angulares; firme, ligeiramente plástica a plástico e pegajosa.

**RAÍZES** – Comuns de 1 a 3 cm no topo de Ap e poucas raízes fasciculares na parte inferior; presentes em BA; raras até o topo de Bi.

**ATIVIDADE BIOLÓGICA** - Presente no Ap e BA, produzida por formigas.

**OBSERVAÇÕES** – 1) Penetração de pequenos bolsões do material escuro do horizonte superior – Ap - nos horizontes BA e Bi.

2) Os teores médios a altos de sódio, potássio e cálcio elevados devem ser resultantes de adubação.

**DESCRITO E COLETADO POR** – P. K. T. Jacomine; C. D. G. C. de Almeida; W. P. da Silva; K. P. P. Marques.