

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**PARÂMETROS QUÍMICOS DA SOLUÇÃO DE UM SOLO FERTILIZADO COM
LODO DE ESGOTO EM BANANEIRAS IRRIGADAS.**

JÚLIO CÉSAR THOALDO ROMEIRO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia / Área de Concentração em Irrigação e Drenagem

BOTUCATU-SP
Junho - 2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**PARÂMETROS QUÍMICOS DA SOLUÇÃO DE UM SOLO FERTILIZADO COM
LODO DE ESGOTO EM BANANEIRAS IRRIGADAS.**

JÚLIO CÉSAR THOALDO ROMEIRO

Orientador: Prof. Dr. Hélio Grassi Filho

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia / Área de Concentração em
Irrigação e Drenagem

BOTUCATU-SP
Junho - 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Romeiro, Júlio César Thoaldo, 1982 -
R763p Parâmetros químicos da solução de um solo fertilizado com lodo de esgoto em bananeiras irrigadas / Júlio César Thoaldo Romeiro. - Botucatu : [s.n.], 2007.

xv, 69 p. : il. color., gráfs, tabs.

Disseração (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2007

Orientador: Hélio Grassi Filho

Inclui bibliografia

1. Banana. 2. Lodo de esgoto. 3. Fruticultura. 4. Matéria orgânica. 5. Irrigação. I. Grassi Filho, Hélio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "PARÂMETROS QUÍMICOS DA SOLUÇÃO DE UM SOLO FERTILIZADO
COM LODO DE ESGOTO EM BANANEIRAS IRRIGADAS"

ALUNO: JÚLIO CÉSAR THOALDO ROMEIRO

ORIENTADOR: PROF. DR. HÉLIO GRASSI FILHO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. HÉLIO GRASSI FILHO



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



PROF. DR. JOSÉ EDUARDO CRESTE

Data da Realização: 18 de junho de 2007.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter-me possibilitado a realização desta dissertação, me amparando e consolando nos momentos de fraqueza e me dando discernimento nos momentos de empolgação.

À minha família, pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

Aos meus amigos pela paciência, compreensão e ajuda, em especial ao meu grande amigo Rodrigo Domingues Barbosa, que me acompanhou por todas as etapas deste experimento.

Aos funcionários dos Departamentos de Recursos Naturais – Ciência do Solo, Produção Vegetal – Horticultura e Engenharia Rural, em especial ao funcionário Pedro Alves pelo apoio, ajuda e pelas palavras de incentivo em todas as horas.

Ao Prof. Dr. Hélio Grassi Filho, que me orientou durante esses dois anos e meio, sempre procurando me auxiliar da melhor maneira possível para que conseguíssemos juntos, chegar as resoluções dos problemas.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	XIII
SUMMARY.....	XIV
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
2.1 Lodo de esgoto	04
2.1.1 Matéria Orgânica no solo	04
2.1.2 Lodo de esgoto: aspectos gerais.	05
2.1.3 Composição do lodo de esgoto.....	06
2.1.4 Normas e classificação para utilização de lodo de esgoto na agricultura.....	07
2.1.5 Potencial de uso agrícola do lodo de esgoto.....	08
2.1.6 Influência do lodo de esgoto nos atributos físico-químicos do solo.....	09
2.1.7 Reflexo da aplicação de lodo de esgoto na produtividade das culturas.....	10
2.1.8 Limitações ao uso do lodo.....	10
2.2 Nitrogênio.....	11
2.2.1 Nitrogênio na agricultura.....	11
2.2.2 Dinâmica do nitrogênio	12
2.3 Solução do solo.....	13
2.3.1 Importância do estudo da solução	13
2.3.2 Características da solução do solo.....	14
2.3.3 Extrator de solução	15
2.3.4 Condutividade elétrica da solução do solo	15
2.4 Banana	16
2.4.1 Importância da bananicultura	16
2.4.2 Morfologia da bananeira.....	17
2.4.3 Exigências climáticas da cultura da bananeira	18
2.4.4 Importância da irrigação para a bananeira.....	19
2.4.5 Importância da nutrição para a bananicultura.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21

3.1	Localização da área experimental.....	21
3.2	Clima	21
3.3	Caracterização do solo.....	21
3.4	Descrição dos cultivares	22
3.5	Instalação e condução da cultura no campo	22
3.6	Análise química do solo	23
3.7	Análise química e aplicação do lodo de esgoto ao solo	24
3.8	Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos	25
3.9	Irrigação: sistema e manejo	26
3.10	Extração da solução do solo	27
3.11	Parâmetros a serem avaliados.....	28
3.11.1	pH e condutividade elétrica	28
3.11.2	Nitrogênio.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	pH	30
4.2	Condutividade elétrica (CE)	35
4.3	Nitrogênio (N)	39
4.3.1	Teor de N	39
4.3.2	Relação $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	41
5	CONCLUSÕES	46
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
	ANEXOS	58

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Valores médios de alguns parâmetros químicos de interesse agrônomo, calculados a partir dos resultados de análises químicas de lodo de esgoto utilizados em experimentos no Estado de São Paulo	06
Tabela 2. Concentrações máximas (mg kg^{-1} base seca) permissíveis de metais pesados em lodo de esgoto para uso agroflorestal	07
Tabela 3. Classes de lodo de esgoto ou produtos derivados – agentes patogênicos.....	08
Tabela 4. Análise química do solo da área experimental, na profundidade de 0-20cm.	22
Tabela 5. Análise química do solo da área experimental, na profundidade de 0-20cm.	24
Tabela 6. Análise química do material orgânico (LE) utilizado no experimento.....	24
Tabela 7. Época e porcentagem de composto aplicado nas plantas de bananeira	25
Tabela 8. Valores dos parâmetros utilizados para o cálculo da lâmina e tempo de irrigação para coleta de solução do solo.	27
Tabela 9. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, anterior a 1ª adubação em cobertura	58
Tabela 10. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, anterior a 1ª adubação em cobertura.	58
Tabela 11. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, dois dias após a primeira adubação (4/4/2007).....	58
Tabela 12. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, dois dias após a primeira adubação (4/4/2007).....	59
Tabela 13. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, dez dias após a primeira adubação (12/4/2007).....	59
Tabela 14. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, dez dias após a primeira adubação (12/4/2007).....	59
Tabela 15. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, dezoito dias após a primeira adubação (20/4/2007).....	60
Tabela 16. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, dezoito dias após a primeira adubação (20/4/2007).....	60

Tabela 17. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, vinte e quatro dias após a primeira adubação (26/4/2007)	60
Tabela 18. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, vinte e quatro dias após a primeira adubação (26/4/2007)	61
Tabela 19. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, quatro dias após a segunda adubação (26/5/2007)	61
Tabela 20. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, quatro dias após a segunda adubação (26/5/2007)	61
Tabela 21. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, doze dias após a segunda adubação (16/5/2007)	62
Tabela 22. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, doze dias após a segunda adubação (16/5/2007)	62
Tabela 23. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, vinte dias após a segunda adubação (24/5/2007)	62
Tabela 24. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, vinte dias após a segunda adubação (24/5/2007)	63
Tabela 25. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, vinte e seis dias após a segunda adubação (30/5/2007)	63
Tabela 26. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, vinte e seis dias após a segunda adubação (30/5/2007)	63
Tabela 27. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, anterior a 1ª adubação em cobertura	64
Tabela 28. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, anterior a 1ª adubação em cobertura	64
Tabela 29. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, dois dias após a primeira adubação (4/4/2007)	64
Tabela 30. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, dois dias após a primeira adubação (4/4/2007)	65
Tabela 31. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, dez dias após a primeira adubação (12/4/2007)	65

Tabela 32. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, dez dias após a primeira adubação (12/4/2007)	65
Tabela 33. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, dezoito dias após a primeira adubação (20/4/2007)	66
Tabela 34. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, dezoito dias após a primeira adubação (20/4/2007)	66
Tabela 35. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, vinte e quatro dias após a primeira adubação (26/4/2007)	66
Tabela 36. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, vinte e quatro dias após a primeira adubação (26/4/2007)	67
Tabela 37. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, quatro dias após a segunda adubação (08/5/2007)	67
Tabela 38. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, quatro dias após a segunda adubação (08/5/2007)	67
Tabela 39. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, doze dias após a segunda adubação (16/5/2007)	68
Tabela 40. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, doze dias após a segunda adubação (16/5/2007)	68
Tabela 41. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, vinte dias após a segunda adubação (24/5/2007)	68
Tabela 42. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, vinte dias após a segunda adubação (24/5/2007)	69
Tabela 43. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, vinte seis dias após a segunda adubação (30/5/2007)	69
Tabela 44. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, vinte e seis dias após a segunda adubação (30/5/2007)	69

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Variação do pH da solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por lodo de esgoto, na camada de 0-20cm ao longo do experimento....	30
Figura 2. Variação do pH da solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por lodo de esgoto, na camada de 20-40cm ao longo do experimento..	31
Figura 3. Valores do pH da solução do solo no início do experimento, anterior as adubações em cobertura.	32
Figura 4. Valores médios do pH da solução do solo por tratamento no decorrer do experimento.	32
Figura 5. Variação da condutividade elétrica da solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por LE, na camada de 0-20cm ao longo do experimento.	35
Figura 6. Variação da condutividade elétrica da solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por LE, na camada de 20-40cm ao longo do experimento	36
Figura 7. Valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S m}^{-1}$) da solução do solo no início do experimento, anterior as adubações em cobertura.....	37
Figura 8. Valores médios da condutividade elétrica ($\mu\text{S m}^{-1}$) da solução do solo por tratamento no decorrer do experimento.....	37
Figura 9. Variação do amônio (NH_4^+) na solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por LE, na camada de 0-20cm ao longo do experimento	39
Figura 10. Variação do amônio (NH_4^+) na solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por LE, na camada de 20-40cm ao longo do experimento	39
Figura 11. Variação do nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por LE, na camada de 0-20cm ao longo do experimento	40
Figura 12. Variação do nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por LE, na camada de 20-40cm ao longo do experimento	40
Figura 13. Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) na solução do solo, nas camadas 0-20cm e 20-40cm do tratamento 1 (T1) no decorrer do experimento.....	41
Figura 14. Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) na solução do solo, nas camadas 0-20cm e 20-40cm do tratamento 2 (T2) no decorrer do experimento.....	42

Figura 15. Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) na solução do solo, nas camadas 0-20cm e 20-40cm do tratamento 3 (T3) no decorrer do experimento.....	42
Figura 16. Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) na solução do solo, nas camadas 0-20cm e 20-40cm do tratamento 4 (T4) no decorrer do experimento.....	42
Figura 17. Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) na solução do solo, nas camadas 0-20cm e 20-40cm do tratamento 5 (T5) no decorrer do experimento.....	43
Figura 18. Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) na solução do solo, nas camadas 0-20cm e 20-40cm do tratamento 6 (T6) no decorrer do experimento.....	43
Figura 19. Comparação entre os teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) na solução do solo, de acordo com os tratamentos e com as profundidades de extração de solução	44

RESUMO

O lodo de esgoto (LE) é um resíduo gerado do tratamento de águas servidas, sejam domésticas, industriais ou agroindustriais, contendo níveis elevados de matéria orgânica, macro e micronutrientes fundamentais para a fertilidade do solo. O presente trabalho tem por objetivo avaliar os parâmetros químicos da solução do solo (pH, condutividade elétrica e concentração de N-NO_3^- e N-NH_4^+) obtidos pelo uso de extratores de cápsulas porosas, em função da substituição da adubação nitrogenada química por lodo de esgoto, por ocasião das adubações em cobertura no terceiro ciclo de cultivo de bananeiras cv IAC2001 em regime irrigado. O trabalho desenvolveu-se nas dependências da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP/Botucatu-SP, em solo do tipo NITOSSOLO VERMELHO, no ano de 2007. O lodo de esgoto utilizado no experimento, proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da cidade de Jundiaí, apresentava 3,15% de nitrogênio e 60% de umidade em sua constituição, cujos dados foram utilizados para o cálculo das doses de composto aplicadas ao solo, de acordo com seus respectivos tratamentos. O delineamento experimental adotado em blocos ao acaso consistiu em 3 blocos, 6 tratamentos e 6 repetições, variando os tratamentos de 1 a 6, substituindo em 0, 25, 50, 75, 100 e 125% a adubação nitrogenada química por lodo de esgoto, respectivamente, de acordo com o teor deste elemento presente no resíduo, perfazendo um total de 108 plantas. As adubações foram parceladas em duas épocas, onde 4 coletas de solução do solo foram retiradas aos 2, 10, 18 e 24 dias após a primeira adubação; e 4 coletas retiradas aos 4, 12, 20 e 26 dias após a segunda adubação em cobertura, com o auxílio de uma bomba de vácuo manual, capaz de fornecer tensões de até -70KPa. Após coletados e tabulados, os dados foram submetidos a análise de variância (ANAVA) e comparados pelo teste de Tukey a um nível de 5% de significância. Os resultados obtidos indicam que para o pH da solução do solo, não houve influencia da substituição da adubação nitrogenada química por lodo de esgoto, mantendo-se dentro da faixa considerada ideal para a cultura da banana. Para a condutividade elétrica, os tratamentos T1 e T2 apresentaram resultados médios superiores aos demais tratamentos, e para as concentrações de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , os mesmos tratamentos apresentaram quantidades elevadas destes íons na solução do solo, indicando potencial de lixiviação principalmente de NO_3^- para as águas subsuperficiais.

EVALUATE CHEMICAL PARAMETERS OF GROUND SOLUTION IN THE THIRD CYCLE OF BANANA PLANTS CULTURE cv. IAC2001 DUE TO THE REPLACEMENT OF NITROGEN FERTILIZATION FOR SEWAGE SLUDGE IN IRRIGATED REGIMEN. Botucatu, 2007. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: JÚLIO CÉSAR THOALDO ROMEIRO

Adviser: HÉLIO GRASSI FILHO

Summary

Sewage Sludge (LE) is a residue generated from served water treatment, domestic, industrial or agro-industrial, containing high levels of organic substance, macro and micronutrients essential for soil fertility. The present work aims to evaluate chemical parameters of ground solution (pH, concentration of N-NH₄⁺ and NOR 3 – and electrical conductivity) obtained by the use of porous capsules extractors, due to the replacement of nitrogen fertilization for sewage sludge, by means of the fertilization in covering in the third cycle of banana trees culture cv IAC2001 in irrigated conditions. This work was developed at the School of Agriculture - UNESP/Botucatu-SP, in 2007 in a RED NITOSSOIL. The sewage sludge used in this experiment, originated from the Sewage Treatment Plant located in Jundiáí, and presented in its constitution 3.15% of nitrogen and 60% of humidity, data used to calculate the applied compost doses to the ground, according to its respective treatments. Experimental delineation arranged in randomized blocks consisting of 3 blocks, 6 treatments and 6 replications, in a total of 108 plants, with treatments varying from 1 to 6, substituting in 0, 25, 50, 75, 100 and 125% chemical nitrogen fertilization for sewage sludge, respectively, in accordance with the quantity of this element in the residue. The fertilization were divided in two periods, when 4 samples of soil solution were collected in 2, 10, 18 and 24 days after the first fertilization; and 4 samples were collected in 4, 12, 20 and 26 days after the second fertilization in covering, utilizing a manual vacuum pump, capable of supplying tensions of up to -70Kpa. After collected and tabulated, data were submitted by analysis of variance (ANAVA) and compared by the Tukey test at 5% significance level. The gotten results indicate inside that for pH of the solution of the ground, it did not have influences of the substitution of the chemical nitrogen fertilization for sewage sludge, remaining themselves of

the band considered ideal for the culture of the banana. For the electrical conductivity, the treatments T1 and T2 had presented resulted average superiors to the too much treatments, and for the concentrations of N-NO_3^- and N-NH_4^+ , the same treatments they had presented high amounts of these mainly ions in the solution of the leaching ground, indicating potential of NO_3^- for subsurface waters.

Keywords: banana, organic fertilization, irrigation, sewage sludge.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial demanda quantidades de água de boa qualidade a uma taxa superior a de renovação do ciclo biológico; em contrapartida, a produção de resíduos gerados pelos setores domésticos e industriais acompanha este aumento, sem ter-se criado um destino viável a estes resíduos, resultando em preocupação entre os órgãos competentes de todo país.

Assim, a eficiência do uso de água em todos os setores, principalmente na agricultura, já que este setor é responsável pelo consumo de 69% do total utilizado, se torna fundamental no manejo dos recursos hídricos, cada vez mais escassos no mundo. Apesar deste cenário preocupante, a eficiência média dos sistemas de irrigação é de apenas 37%, o que acarreta em grandes perdas tanto do ponto de vista econômico, como do ponto de vista ambiental. A necessidade de se utilizar uma maior quantidade possível de solos agricultáveis vem impulsionando o uso da irrigação não só para complementar as necessidades hídricas das regiões úmidas, como para tornar produtivas as regiões áridas e semi-áridas do globo, que consistem cerca de 55% das áreas continentais.

A irrigação é uma prática agrícola de fornecimento de água as culturas, onde e quando as dotações pluviométricas, ou qualquer outra forma natural de abastecimento não são suficientes para suprir as necessidades hídricas das plantas.

A bananeira em sendo uma planta originária das regiões tropicais do sudeste asiático, é exigente em temperatura e consumidora de apreciável quantidade de água. Assim, em locais onde não se observa regularidade de precipitações pluviométricas, o uso da irrigação

para obtenção de produções viáveis economicamente é fundamental, garantindo uma fruta de qualidade capaz de competir no mercado internacional em igualdade com países tradicionais no cultivo de banana, como o Equador.

A utilização da água nos mais variados setores de produção gera um resíduo conhecido por esgoto, devendo ser tratado de maneira adequada a fim de retornar esta substância ao processo produtivo. É neste contexto que está inserido a reutilização do lodo de esgoto, resíduo que contém altos níveis de matéria orgânica, macro e micronutrientes, proveniente do tratamento de águas servidas aos setores doméstico, industrial ou agrícola, sendo interessante sua disposição ao solo como fonte fornecedora de nutrientes e condicionador de algumas características físicas e biológicas do solo.

Além da disponibilidade hídrica, a bananeira requer uma grande quantidade de nutrientes no solo, visto que a extração destes por parte da cultura é bastante elevada. Em especial, K e N são os elementos extraídos em maior quantidade, respectivamente, sendo necessário uma atenção especial a estes elementos para que a planta consiga expressar todo seu potencial produtivo.

A matéria orgânica, presente em pequenas quantidades na maioria dos solos brasileiros, atua de maneira bastante favorável ao sistema de cultivo, já que além de fornecer nutrientes de maneira contínua ao longo do ano, melhora as condições físicas do solo como porosidade, aeração, estruturação, permeabilidade e capacidade de retenção de água, favorecendo o crescimento do sistema radicular, bem como o armazenamento de água no solo, diminuindo assim os riscos de estresse hídrico da planta.

É neste contexto que a utilização de lodo de esgoto na agricultura ganha importância, já que ainda não se criou uma destinação técnico-ambiental a este material e é causa de grandes preocupações dos órgãos competentes do mundo. O lodo de esgoto é um resíduo proveniente do tratamento dos esgotos sanitários, que apresenta uma alta quantidade de matéria orgânica, presença de quantidades razoáveis da maioria dos nutrientes essenciais às plantas, exceção feita ao K, mas que apresenta alguns problemas, como a presença de metais pesados e organismos patogênicos. Porém, desde que obedecidos os critérios estabelecidos pelas entidades oficiais, estes problemas podem ser seguramente superados.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos do pH, condutividade elétrica (CE) e teor de N (NH_4^+ e NO_3^-) da solução de um solo sob cultivo de bananeiras cv. IAC2001

em regime irrigado, em função da substituição da adubação nitrogenada química por lodo de esgoto (LE).

2 REVISAO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Lodo de esgoto (LE)

2.1.1 Matéria orgânica no solo

A matéria orgânica (MO) desempenha um importante e complexo papel na dinâmica dos solos, afetando as características químicas, físicas e biológicas. Os compostos orgânicos, de maneira geral, apresentam quantidades variadas de nutrientes, em função de sua procedência e composição, além disso, a mineralização dos nutrientes ocorre de maneira ainda não muito bem entendida, sendo um ponto chave para a recomendação da quantidade correta a ser aplicada ao solo (BUDELMAN, 1988).

Do ponto de vista químico, segundo Glória (1992), a aplicação de resíduos orgânicos pode provocar alterações no pH (que depende do tipo de material orgânico) e aumento das cargas negativas do solo (e conseqüentemente, da CTC). O autor afirma que a utilização de resíduos permite a reciclagem de nutrientes e contribui para o solo em termos de MO, que está presente em elevada concentração nesses materiais. Os adubos orgânicos apresentam em sua constituição uma baixa concentração em nutrientes, devendo ser empregados em doses elevadas, assim, tornam-se excelentes fornecedores de nutrientes necessários às plantas, principalmente em N, P e micronutrientes. A grande vantagem destes resíduos é a liberação dos nutrientes de forma lenta, garantindo o suprimento mais uniforme e prolongado às plantas (KIEHL, 1985).

Do ponto de vista físico, a MO adicionada ao solo exerce grande influência, visto que este material, via de regra, possui alta carga orgânica, elevada capacidade de retenção de água, atua na melhoria da estrutura e porosidade do solo (consequentemente na densidade e aeração), refletindo assim em um balanço mais adequado entre macro e microporos do solo, culminando no favorecimento do desenvolvimento radicular das plantas (MELO & MARQUES, 2000). Em solos arenosos sua importância é ainda mais fundamental, pois como naturalmente a quantidade de MO presente nesses solos é baixa, os benefícios gerados pela aplicação tornam-se ainda mais acentuados. Moreira (1987) observou que na ausência de adição de material orgânico ao solo, as raízes das bananeiras ficam curtas, finas, desprovidas de radículas e a coifa, que normalmente é branca, fica com aspecto enegrecido, dando a impressão de ter sido queimada.

Do ponto de vista biológico, a MO atua como fonte de carbono, energia e nutrientes para os organismos que participam de seu ciclo biológico, mantendo o solo em estado de constante dinamismo. Os efeitos da MO sobre os microrganismos do solo podem ser avaliados a partir da biomassa e atividade microbiana, parâmetros que representam uma integração de efeitos sobre as condições biológicas do solo (CATTELAN & VIDOR, 1990).

2.1.2 Lodo de esgoto: aspectos gerais

O gerenciamento dos resíduos urbanos é considerado como um dos mais importantes desafios ambientais mundiais a serem enfrentados pela humanidade. De acordo com Leon Suematsu & Moscoso Cavallini (1999), na América Latina e no Caribe apenas 49% da população tem disponibilidade de redes de coleta de esgotos, enquanto apenas 3% deste esgoto produzido são tratados. No Brasil, estima-se que 47,8% dos municípios não apresentam serviço de saneamento básico e menos de 10% da população têm esgoto tratado. Para o ano de 2015, cerca de 286 mil toneladas anuais de lodo em base seca (785 Mg por dia) serão produzidos apenas no Estado de São Paulo (TSUTYA, 2000).

Grande parte do lodo atualmente gerado nos sistemas de tratamento do país tem como destino final os aterros sanitários, sistema oneroso e que limita a reciclagem e reaproveitamento do resíduo. De acordo com o Centro Nacional de Referência em Gestão Ambiental Urbana (1998), a disposição do LE gerado em aterros sanitários pode representar até 60% do custo de operação das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE).

Uma vez que o processo de obtenção do lodo de esgoto apresenta particularidades quanto à região e o sistema utilizado em cada ETE, o lodo resultante é um material heterogêneo contendo quantidades variáveis de água, nutrientes, MO, microorganismos e metais pesados. Portanto, a quantidade e qualidade do lodo produzido por uma ETE dependem da vazão de esgoto tratado, das características do lodo, do tipo de tratamento e da operação da unidade (FERREIRA et al., 1999).

Os valores citados acima expressam a importância de um planejamento estratégico para o manejo e a disposição adequados do esgoto e de seus subprodutos, que visem a sanidade ambiental e da comunidade.

2.1.3 Composição do lodo de esgoto

O esgoto coletado e levado às ETE apresenta em média, uma mistura de água (99,9%) e sólidos (0,1%), sendo que do total de sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras, etc.) e 30% inorgânicos (areia, sais, metais, etc.) (ANDREOLI, 1999). Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios de alguns parâmetros químicos calculados a partir de lodos de esgoto obtidos no Estado de São Paulo.

Tabela 1. Valores médios de alguns parâmetros químicos de interesse agrônomo, calculados a partir dos resultados de análises químicas de lodos de esgoto utilizados em experimentos no Estado de São Paulo (base seca).

Parâmetro	Unidade	Média ±Desvio Padrão
pH	-----	9,1±2,3
C-Orgânico	g kg ⁻¹	189±70
N-total	g kg ⁻¹	21,5±7,0
C/N	-----	9±3
P-total	g kg ⁻¹	10,8±6,1
K-total	g kg ⁻¹	1,4±0,5
Ca-total	g kg ⁻¹	102,8±75,5
Mg-total	g kg ⁻¹	4,0±2,3
S-total	g kg ⁻¹	10,1±4,4

Fonte: Barreto (1995), Silva (1995), Bertoncini (1997), Andrade (1999), Oliveira (2000), Santos et al. (2002).

Analisando a Tabela 1 pode-se verificar que, em média, o C é o elemento presente em maior concentração nos lodos de esgoto, e de acordo com Boyd et al. (1980), este material pode apresentar teor de MO entre 18 e 50%, evidenciando a participação expressiva do

componente orgânico. Outro elemento de importância na constituição do LE, o N se apresenta em quantidades elevadas, sendo um dos parâmetros utilizados para cálculo da quantidade máxima de lodo a ser aplicada ao solo, em virtude de alguns problemas de ordem ambiental (lixiviação de nitrato). Já o K é encontrado em quantidades muito reduzidas neste material, sendo em geral, necessário sua complementação com fontes químicas para atender a demanda das culturas referente a este elemento.

2.1.4 Normas e classificação para utilização do lodo de esgoto na agricultura

Para minimizar os riscos causados pela aplicação do LE ao solo, é necessária a existência de uma legislação específica que limite o uso do lodo na agricultura, como ocorre na Europa e nos Estados Unidos (SILVA et al, 2000), devido à possibilidade de ocorrência de efeitos adversos quando manejado incorretamente. Em 29 de agosto de 2006, entrou em vigor a mais recente legislação brasileira que regulamenta a utilização de LE na agricultura, a Resolução nº 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006), limitando as quantidades máximas de substâncias inorgânicas e orgânicas presentes no lodo de esgoto. A Tabela 2 apresenta os valores máximos de substâncias inorgânicas adotados pelo Brasil, União Européia (U.E.) e Canadá.

Tabela 2. Concentrações máximas (mg kg^{-1} base seca) permissíveis de metais em lodo de esgoto para uso agroflorestal

Área	As	Cd	Ba	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
SP	41	39	1300	1000	1500	17	50	420	300	100	2800
Canadá	75	20	-	-	-	5	20	180	500	14	1850
U.E.	-	40	-	-	1000-1750	16-25	-	300-400	750-1200	-	2500-4000

Fonte: CONAMA (2006)

Os principais aspectos relacionados ao ambiente e abordados na resolução são: a declividade da área a ser tratada, distância mínima de nascentes de água e leitos de rios, teores totais de alguns metais pesados no solo e espécie vegetal de interesse. Quanto ao LE, aspectos relacionados à degradação da fração orgânica do resíduo, taxa de mineralização do nitrogênio, teores totais de metais pesados e conteúdo de organismos patogênicos estão presentes nos textos normativos.

Essa mesma resolução classifica o lodo de acordo com a concentração de patógenos presente no material, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Classes de lodo de esgoto ou produtos derivados – agentes patogênicos

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes termotolerantes $<10^3$ NMP g ST ⁻¹ Ovos viáveis de helmintos $<0,25$ ovo g ST ⁻¹ Salmonella ausência em 10g ST ⁻¹ Vírus $< 0,25$ UFP ou UFF g ST ⁻¹
B	Coliformes termotolerantes $<10^6$ NMP g ST ⁻¹ Ovos viáveis de helmintos <10 ovos g ST ⁻¹

Fonte: CONAMA (2006)

ST: sólidos totais

NMP: número mais provável

UFF: Unidade formadora de foco

UFP: Unidade formadora de placa

2.1.5 Potencial de uso agrícola do lodo de esgoto

O modelo de desenvolvimento econômico, voltado à produção de riquezas em detrimento dos recursos naturais adotado pela maioria dos países causa como consequência reflexos catastróficos para a população local e o meio ambiente. Nesse sentido, a geração e descarte de resíduos têm sido estudados por diversos segmentos das sociedades atuais, com o objetivo de reduzir a emissão e reutilização destes materiais, que atualmente se configuram em grave problema ambiental.

Berton (1996) fazendo uma estimativa da quantidade de LE produzida pelo Estado de São Paulo naquele ano, assumiu que metade da quantidade do lixo que é processado em usinas de reciclagem é transformada em composto orgânico, o que representa uma redução considerável. Adotou-se uma população de 29 milhões pessoas e uma produção de lixo *per capita* de 0,5 kg dia⁻¹, produzindo uma oferta potencial de composto de lixo de 2,6 milhões Mg ano⁻¹. Considerando uma aplicação média de composto de 30 Mg ha⁻¹, essa quantidade potencial a ser produzida satisfaria apenas cerca de 1% da área explorada com culturas comerciais no Estado, o que permitiu ao autor concluir que há demanda suficiente para suprir a oferta.

No Brasil, esta forma de disposição ainda é pouco explorada pelos produtores, ficando restrito, em grande parte, em caráter experimental. Tavares (2003) cita que a utilização do LE em solos agrícolas reduziu em cerca de 25% o custo relacionado ao destino final desse material, quando comparado à disposição em aterros sanitários. E esta redução só não é maior,

segundo o autor, porque financeiramente nada se cobra do produtor, ou seja, todo custo do transporte e assistência técnica é responsabilidade da empresa geradora do resíduo.

Fica claro que além de representar benefício econômico, o uso agrícola de LE representa benefício ecológico, retornando à zona rural parte da MO exportada para os centros urbanos (POGGIANI et al., 2000), e benefício social pela possibilidade de aumento da produtividade das culturas e menor impacto negativo sobre o meio ambiente.

2.1.6 Influência do lodo de esgoto nos atributos físico-químicos do solo

O LE apresenta, em sua composição, nutrientes e elementos necessários ao desenvolvimento e produção das plantas, os quais se encontram em sua grande parte na forma orgânica. Assim, são liberados gradativamente no solo por processos oxidativos, fornecendo nutrientes ao longo do ano às plantas e reduzindo os riscos de poluição ambiental (MELO & MARQUES, 2000).

Segundo os mesmos autores, em solos de regiões tropicais e subtropicais, devido ao intenso processo de intemperização sofrido pelos solos, a MO desempenha papel fundamental na melhoria da CTC e no fornecimento de nutrientes, diante disto, o manejo da MO torna-se prática muito importante para o sucesso das atividades agropecuárias nestes solos (MELO & MARQUES, 2000).

Dentre os nutrientes essenciais às plantas e encontrados no LE, o K se apresenta em quantidades muito pequenas no material, sendo geralmente necessário sua complementação pelo uso de fertilizantes químicos. Vários autores têm recomendado a complementação do K quando utilizado o LE como fonte de nutrientes, de modo a evitar reflexos negativos na produtividade (SILVA et al., 1998; ANDREOLI, 1999). Este fato torna-se ainda mais importante quando a cultura em questão é a banana, visto que o K é o elemento extraído em maior quantidade por essa espécie.

Relacionado às características físicas, a MO presente no LE melhora o estado de agregação das partículas do solo, diminui sua densidade e aumenta a aeração (MELO & MARQUES, 2000). Diversos trabalhos encontrados na literatura nacional e internacional confirmam a grande aptidão do LE para recondicionar as propriedades físicas do solo, diminuindo sua densidade, aumentando a porosidade e a capacidade de retenção de água

(SANTOS, 1979; BERTON et al., 1989; MELO et al., 1994; OLIVEIRA et al., 1995; SILVA et al., 1998; ANDREOLI, 1999; SIMONETE, 2001; ROCHA, 2002; TRIGUEIRO, 2002). Aliado às mudanças na porosidade, a taxa de infiltração da água no solo aumenta com o aumento das doses do material orgânico aplicado ao solo (MELO & MARQUES, 2000; JORGE et al., 1991).

2.1.7 Reflexo da aplicação de lodo de esgoto na produtividade das culturas

Como resultado das melhorias nas propriedades físico-químicas do solo, a aplicação de lodo tem conduzido a um aumento na absorção de nutrientes pelas culturas, com reflexos na produtividade. Devido a este aumento na disponibilidade de nutrientes, e de todas as restantes melhorias nas propriedades físico-químicas do solo, como já descrito, a aplicação de lodo pode levar a um melhor desenvolvimento vegetativo da planta e, desde que o teor dos nutrientes disponíveis no solo esteja equilibrado em função das necessidades da planta, implicará em aumento de produtividade (MOSTAGHINI et al., 1988; RAPPAPORT et al., 1988; ADAMU et al., 1989 citados por MELO et al., 2001).

Algumas pesquisas demonstram que a incorporação do lodo de esgoto aumentou em 20 a 50% a produtividade de diferentes culturas (BISCAIA & MIRANDA, 1996; PEREIRA et al., 1997; BARBOSA et al., 2002b). Melo & Ligo (2006), aplicando doses de 9, 18 e 36 Mg ha⁻¹(base seca) ao solo em comparação à adubação mineral na cultura da banana cultivar Grande Naine, não encontraram diferenças significativas entre os tratamentos, evidenciando o potencial do uso deste material na fertilização da cultura.

Rocha (1998) acredita que o LE não é um material eficiente na substituição completa da adubação mineral, e deve ser visto como um complemento desta adubação, no sentido de reduzir a utilização de fertilizantes químicos e, com isto, reduzir o custo da adubação.

2.1.8 Limitações ao uso do lodo

Segundo Feigin et al. (1991), as principais limitações quanto ao uso do LE na agricultura estão relacionadas com os seguintes fatores:

- a) Efeitos adversos nas propriedades físico-químicas do solo ao longo do tempo;
- b) Aceite público de produtos obtidos de culturas que receberam aplicação de LE;
- c) Risco de saúde pública, com transmissão de vírus e bactérias patogênicas para o homem e animais, contaminação do lençol freático por elementos tóxicos e propagação de insetos vetores de doenças;
- d) Escassez de disponibilidade de terras;
- e) Viabilidade Econômica

A análise detalhada da composição dos esgotos sanitários revela, simultaneamente, os potenciais e limitações para sua utilização na agricultura. É característica do tratamento de esgoto a decantação de organismos patogênicos, compostos orgânicos complexos e moléculas ligadas a metais pesados. Estes poluentes podem ser transferidos ao solo, às plantas e às águas superficiais e subterrâneas, através de processos de escoamento superficial e lixiviação (FERNANDES et al., 1993). Em se tratando de águas residuárias domésticas e lodo de esgoto, os metais pesados não devem constituir problema maior, e provavelmente estarão presentes em concentrações abaixo dos teores tóxicos e acima da demanda nutricional da maioria das culturas (BASTOS, 1999).

Assim, desde que bem fundamentado e manejado o projeto de disposição de LE ao solo, bem como o entendimento do sistema solo-planta-ambiente, as críticas e os desafios seguramente serão superados (CAMERON et al., 1997).

2.2 Nitrogênio (N)

2.2.1 Nitrogênio na agricultura

Para maioria dos vegetais, o nitrogênio (N) é o elemento mais exigido e que demanda os maiores cuidados nos cálculos das recomendações de adubação. Em especial na cultura da banana, o potássio (K) é o elemento mais exigido, porém o N não deixa de merecer atenção especial nas adubações, visto que este elemento participa de inúmeros processos fisiológicos e é fundamental na fase inicial do desenvolvimento vegetativo. Geralmente, os solos brasileiros não apresentam quantidades suficientes para o adequado suprimento da maioria das plantas cultivadas.

O maior reservatório de N encontra-se na atmosfera (78% de N), de onde provem a maior parte do N utilizado na agricultura e fixado através de processos industriais ou biológicos (EPSTEIN, 1975; MOREIRA, 2002). Nos solos o N pode estar presente nas formas inorgânicas (NH_4^+ ou NO_3^-) ou orgânicas, sendo que aproximadamente 98% do conteúdo total de N apresentam-se na forma orgânica (RAIJ, 1991).

A MO pode ser considerada como fonte importantíssima de N e outros nutrientes e a sua decomposição libera os elementos associados ao C nos compostos orgânicos de forma lenta e contínua, disponibilizando ao longo do ano quantidades pequenas destes elementos (MELO, 1978). Neste sentido a utilização de resíduos orgânicos para fornecer N e outros nutrientes às plantas é uma prática que pode incrementar a fertilidade dos solos e utilizá-los como um filtro, retendo a carga orgânica potencialmente poluente, e é neste contexto que se insere a aplicação de LE em solos agrícolas.

2.2.2 Dinâmica do nitrogênio

O N presente no solo na forma orgânica sofrerá reações de aminização, amonificação e nitrificação, sendo mineralizado e convertido principalmente na forma de nitrato. Uma vez mineralizado, é facilmente lixiviado devido a sua mobilidade, contaminando águas superficiais e subterrâneas (GERKE et al., 1999).

A dinâmica do N proveniente da aplicação de lodo de esgoto é dependente da combinação de diversos fatores, como qualidade do lodo (relação C/N), da sua mineralização (dependente de pH, temperatura e umidade) e ainda, das características da cobertura vegetal (idade da cultura, espécie cultivada e manejo cultural) (MITCHELL et al., 2000; TERRY et al., 1981).

No Brasil, Andrade & Mattiazzo (2000), em um plantio de *E. grandis* com uso de diferentes doses de lodos aplicados em superfície, não observaram alterações no teor de N total e N-NO_3^- no solo até os 90cm em um ano de estudo. Boeira (2000), em experimento conduzido em cultivo de milho em solo argiloso, verificou que quantidades semelhantes de nitrato movimentaram-se no perfil do solo quando utilizado LE, adubação mineral convencional ou mesmo no tratamento testemunha, onde não houve aplicação de adubos.

Cox (1995) estudando o fornecimento de N procedente de fontes orgânicas e químicas (fertilizante inorgânico de liberação controlada, fertilizante inorgânico altamente solúvel, LE proveniente de tratamento primário e LE de tratamento secundário) para distintas culturas, observou que os LE forneceram adequadas quantidades de N para plantas de crescimento lento e baixa taxa de absorção de N, entretanto, para plantas de elevadas taxas de absorção de N, estes materiais deveriam ser combinados com fertilizantes inorgânicos nitrogenados solúveis tendo em vista que, em curto prazo, os LE testados não se mostraram como fontes eficientes de N.

A aplicação de LE aos solos visando o fornecimento de N é, portanto, uma prática que altera a dinâmica das formas nitrogenadas e pode contribuir tanto para o aumento da produção agrícola e nutrição das plantas como também causar sérios problemas ambientais.

2.3 Solução do solo

2.3.1 Importância do estudo da solução do solo

Para controle e monitoramento do equilíbrio do sistema solo-água-plantas para fins de fertilidade, o conhecimento das propriedades químicas do solo são parâmetros necessários em estudos agronômicos. O conhecimento da fração líquida do solo, onde se encontra a solução do solo, é de extrema importância para o entendimento dos processos de absorção dos nutrientes pelos vegetais, porém raramente é considerado, apesar de sua importância ter sido enfatizada desde o início do século XX.

Smethurst (2000) mostra que a composição da solução do solo reflete diretamente o equilíbrio entre minerais e vegetais, constituindo o meio móvel onde ocorrem processos de absorção radicular, reações químicas do solo e redistribuição espacial dos solutos, sendo um indicador eficaz da disponibilidade de nutrientes.

Na literatura, poucos são os resultados estudados relativos à solução do solo, sendo o enfoque principal destes estudos a absorção de cátions pelas plantas (HANSEN, 1972; NIELSEN & HANSEN, 1984) ou o estudo da dinâmica do C e/ou N (RING, 2004) sem, no entanto, abordar a composição da solução do solo.

Ring (2004) estudando a solução do solo em área cultivada com pinus chegou à conclusão de que o estudo desta fase tem a vantagem de informar simultaneamente sobre a

disponibilidade de nutrientes e o potencial de poluição por lixiviação. Outra grande vantagem desse tipo de estudo é a possibilidade de monitorar essas mudanças periodicamente, sem alteração do meio, ao contrário do monitoramento do solo. Yanai et al. (1996) mostraram que as concentrações de cátions e ânions na solução do solo estão correlacionadas e que a dinâmica das espécies químicas é influenciada principalmente pela variação da concentração de NO_3^- .

2.3.2 Características da solução do solo

As dificuldades encontradas desde a sua extração até a variação temporal e espacial das concentrações dos nutrientes dissolvidos na solução do solo talvez sejam as explicações mais aceitáveis pela existência de pouquíssimos experimentos envolvendo esta operação. Porém, as reações químicas que envolvem os nutrientes necessários ao desenvolvimento dos vegetais ocorrem predominantemente na solução do solo, local que abriga as frações químicas dos elementos imediatamente disponíveis no ambiente (WOLT, 1994). Sendo assim, o conhecimento da composição química da solução é de grande importância, tanto para estudos de manejo ambiental, como da fertilidade do solo e da nutrição das plantas (CIOTTA et al., 2004).

Em regiões tropicais, devido à intensa intemperização dos minerais do solo, a solução apresenta baixa concentração de nutrientes (STARK & JORDAN, 1978), confirmando a necessidade de introdução via adubações e aplicações de corretivos para a manutenção dos níveis de fertilidade adequados.

Na solução do solo há um grande número de interação entre nutrientes, elementos fitotóxicos e ânions inorgânicos e orgânicos. Estes últimos assumem papel de maior importância em sistemas que se utilizam fontes de material orgânico dispostos ao solo, sejam em cobertura ou incorporados, afetando a disponibilidade e mobilidade, principalmente de elementos catiônicos na solução do solo (SPOSITO, 1981).

Apesar das grandes dificuldades de trabalho com a solução do solo, variabilidade de métodos de obtenção, dependência das condições edafoclimáticas, o estudo desta fase é de grande valia para se tentar avaliar a dinâmica dos nutrientes adicionados via adubações químicas ou orgânicas.

2.3.3 Extrator de solução

Diversas são as técnicas para retirar a solução do solo: a) vácuo no extrato saturado e soluções aquosas (RICHARDS, 1954), b) centrifugação baixa (GILLMAN, 1976) e alta pressão (ELKHATIB et al., 1987), c) métodos de adsorção molecular (BARKER, 1973; NORVEL & LIDSAY, 1982), d) deslocamento da solução em coluna pela adição ou retirada de gases ou adição de líquidos (PARKER, 1921; WOLT et al., 1989), e) câmara de pressão (RICHARDS, 1941), e f) extratores providos de cápsulas porosas (REEVE & DOERING, 1965). A escolha do método de extração da solução do solo a ser utilizado é muito importante, devido principalmente, às possíveis diferenças causadas pelos métodos na composição da solução (DAHLGREN, 1993).

O princípio de funcionamento do sistema de extração da solução do solo pelo uso de cápsulas porosas foi descrito em 1904 por Briggs & McCall. Silva et al. (1999) citam que algumas vantagens da extração da solução do solo por intermédio de cápsulas porosas, em umidades próximas a capacidade máxima de retenção de água podem ser encontradas, tais como: a solução corresponde à umidade equivalente ao momento em que a solução do solo é absorvida pela planta, e assim os solutos dissolvidos são os mesmos que a planta estaria absorvendo; a amostragem é sistemática, verdadeiramente pontual e não destrutiva; a aferição da condutividade elétrica e pH é praticamente instantânea.

ARENAS et al. (1996), constataram que o monitoramento da concentração dos íons NO_3^- , K, Ca, Mg, Na e Cl na solução do solo pode ser realizado a partir da extração dessa solução por intermédio de cápsulas de cerâmica, porém a análise de fósforo por esta metodologia não é aceitável.

2.3.4 Condutividade elétrica da solução do solo

A condutividade elétrica (CE) de uma solução representa a facilidade que esta tem em transportar corrente elétrica, ou seja, mede a resistência à passagem dos elétrons, que é função da quantidade de solutos iônicos presentes na solução. Geralmente, a concentração de sais dissolvidos na solução do solo expressa em termos da CE a cerca de 25°C, envolve um processo bastante simples, rápido e com precisão em torno de 90% para estimar o teor de sais na solução do solo (DONEEN, 1975).

Diversos fatores podem afetar a CE da solução do solo, entre eles, os principais são: a temperatura e a capacidade diferente dos íons em conduzir a eletricidade. A temperatura padrão para medição da CE é de 25°C, e quando medições forem feitas em outras temperaturas, precisam ser ajustadas para o padrão, ainda que muitos métodos de medição automática de CE do solo façam este ajustamento (SANTOS, 2000). A CE está intimamente relacionada com a soma de ânions e cátions que se determina quimicamente e com os sólidos totais dissolvidos (PEÑA, 1986).

A determinação da CE na solução do solo em sua umidade natural, na mesma condição explorada pelas plantas, pode ser obtida por meio de extratores de cápsulas porosas, visto que, a diluição de sais nessa solução seria aproximadamente a absorvida pelas raízes (BURGENO, 1996).

Moura (1994), pesquisando a CE da água de irrigação sob diferentes doses de adubos utilizados em fertirrigação, concluiu que para cada g L⁻¹ dos adubos nitrato de potássio, nitrato de amônio, cloreto de potássio, sulfato de potássio e nitrato de cálcio, a CE era acrescida em 1,30; 1,48; 1,57; 1,27 e 0,97 dS m⁻¹, respectivamente. Um grama de sulfato de amônio em um litro de água, incrementava em 2,1 dS m⁻¹ a CE da solução formada.

2.4 Banana

2.4.1 Importância da bananicultura

O Brasil é o 2º maior produtor mundial de bananas segundo as estatísticas do IBGE (2007), com uma produção próxima aos 7 milhões de toneladas em uma área cultivada em torno de 505 mil hectares, representando aproximadamente 10% do total produzido no mundo. Devido ao seu alto valor nutritivo, aliado aos aspectos sócio-econômicos, a banana se torna uma das mais importantes culturas para o Brasil, já que mobiliza uma grande quantidade de mão-de-obra, permite um retorno rápido ao produtor e movimenta uma expressiva rede de insumos. Além disso, a bananeira se adapta bem a áreas declivosas e úmidas (AFONSO NETO, 1986).

Embora o Brasil seja um grande produtor de banana, apresenta pouca participação no mercado internacional, sendo uma das principais razões a baixa qualidade dos frutos produzidos, e o destino principal das exportações Argentina e Uruguai. De modo geral, no Brasil é possível caracterizá-la como uma cultura de baixa produtividade, baixo nível

tecnológico, o que acaba por dificultar a penetração do produto no mercado internacional, voltando toda sua produção para o mercado interno, estando o consumo *per capita* nacional estimado em torno de 20 kg hab⁻¹ ano⁻¹ (CORDEIRO, 2000).

O Estado de São Paulo, considerando a safra 2004-05, participa com pouco mais de 18% da produção total do país, numa área de 50 mil hectares, e produtividade média de 14 Mg ha⁻¹, pouco acima da média nacional que é de 11,4 Mg ha⁻¹ (IBGE, 2007).

2.4.2 Morfologia da bananeira

Segundo Silva et al. (1999), a bananeira é considerada um vegetal herbáceo completo, apresentando sistema radicular, caule ou rizoma, pseudocaule, folhas, flores e, em alguns casos, sementes. A água entra em sua constituição em altas porcentagens, ou seja, mais de 90% na parte vegetativa e cerca de 75% nos frutos. O sistema radicular é originado na parte central do rizoma, distribuindo-se em sua maior parte nas camadas superficiais do solo, atingindo principalmente os 30 cm superficiais, embora em condições favoráveis, algumas raízes possam atingir 4m ou mais de profundidade. O rizoma ou caule subterrâneo da bananeira é a parte onde todas as demais estruturas da planta se apoiam, composto por duas partes, a primeira denominada córtex que é a mais externa; e o cilindro central, bastante fibroso e envolvido pelo córtex, que é mais carnosa (MOREIRA, 1987).

Implantado no cilindro central do rizoma, está situado um conjunto de células meristemáticas denominado gema apical de crescimento. A gema é responsável por todo o desenvolvimento aéreo da bananeira, sendo sua primeira função a formação de todas as folhas que a planta vai emitir durante a vida (PADOVANI, 1986). A folha é basicamente composta por bainha, pecíolo, limbo foliar, nervuras e pavio; as bainhas embricadas formam o pseudocaule. Próximo ao lançamento da inflorescência, a bananeira emite de três a quatro folhas menores, as quais correspondem as últimas a serem lançadas. Após a emissão da inflorescência a cultura cessa o seu crescimento (MOREIRA, 1987).

Dentre as características de desenvolvimento vegetativo, o diâmetro do pseudocaule é, provavelmente, o que mais pode se correlacionar positivamente com as características de produção (PEREZ, 1972; SIQUEIRA, 1984).

2.4.3 Exigências climáticas da cultura da bananeira

As condições climáticas exercem influência marcante na bananeira e se constituem em fatores que, em alguns casos, não serão controlados, tornando-se limitantes à cultura. Segundo Silva et al. (1999), os principais fatores climáticos que afetam o crescimento e a produção da bananeira são: temperatura, precipitação pluviométrica, umidade relativa, luminosidade, ventos e altitude.

Como a bananeira é uma planta originária das regiões tropicais da Ásia, requer temperaturas elevadas durante todo o ano, onde a temperatura ótima está em torno de 26°C. A bananeira é altamente susceptível as geadas, sendo as áreas sujeitas regularmente a este fenômeno desaconselháveis ao seu cultivo. A deficiência de água é muito prejudicial à bananeira, em particular, se ocorrer no período de formação de inflorescência ou no início da frutificação.

Precipitações pluviométricas em torno de 100mm mensais, bem distribuídas durante o ano, são satisfatórias desde que os solos não sejam excessivamente porosos, fato dificilmente obtido na maioria dos Estados brasileiros.

A umidade do ar exerce influência sobre o desenvolvimento da bananeira, quanto maior a umidade relativa, mais rapidamente ocorre emissão de folhas, maior será sua duração, haverá facilidade no lançamento da inflorescência e maior uniformidade na coloração do fruto. Por outro lado, umidade superior a 80% favorece a ocorrência do Mal-de-Sigatoka, doença chave no processo produtivo da fruta.

A cultura requer uma quantidade elevada de insolação, já que este fator afeta o ciclo da bananeira, o tamanho do cacho e a qualidade e conservação do fruto.

Os ventos podem causar fendilhamento das folhas, torção da copa, rompimento do sistema radicular e tombamento de plantas. Ventos de 64 km h⁻¹ causam danos consideráveis ao bananal e com os de 100 km h⁻¹ a destruição é total.

A altitude atua de maneira indireta principalmente sobre temperatura e vento, de maneira geral, quanto maior a altitude, menores são as temperaturas e mais fortes são os ventos.

2.4.4 Importância da irrigação para a bananeira

A bananeira é uma planta tipicamente tropical, exigente em altas temperaturas e consumidora de apreciável quantidade de água. Estima-se que o consumo anual de água pela planta é de 1200 a 2200 mm ano⁻¹. Estudos mostram que as maiores produções de banana estão associadas a uma precipitação anual de 1.900 mm sendo considerado suficiente uma precipitação de 100 a 180 mm por mês, para obtenção de colheitas economicamente rentáveis (DOORENBOS & KASSAN, 1994).

Como o regime sazonal das precipitações pluviométricas na maior parte do Brasil, geralmente, caracteriza-se pela distribuição em duas estações: uma chuvosa, sujeito a veranicos acima de dez dias, com 70 a 80% da precipitação anual distribuída em quatro ou cinco meses, e outra seca, o uso da irrigação se torna praticamente obrigatório para se garantir uma fruta de qualidade e produtividade capaz de competir no mercado.

Pesquisas têm mostrado que nos perímetros irrigados por superfície, a bananeira cultivar Nanicão chegou a produzir 100 Mg ha⁻¹ (BARRETO et al., 1983). Segundo Moreira (1987), a umidade do solo desempenha importante papel na produção do bananal, especialmente com relação ao lançamento e enchimento do cacho. Estudos avaliando os efeitos da irrigação em vários países produtores, levando-se em conta a evapotranspiração e a umidade do solo, mostram que a utilização da irrigação na cultura da banana sempre proporcionou aumento de produção, em muitos casos, chegando a ganhos de 100% (MOREIRA, 1987).

2.4.5 Importância da nutrição para a bananicultura

Dos nutrientes absorvidos pela bananeira, o K e o N são os elementos extraídos em maiores quantidades, respectivamente. Por isso uma adubação bem realizada é um dos fatores que mais influencia a produção, bem como sua qualidade e resistência a doenças (CARVALHO et al., 1986). Em condições brasileiras, Hiroce et al. (1977) determinaram a extração de macronutrientes em gramas por tonelada (g Mg⁻¹) de frutos frescos de bananeira 'Nanicão' para uma produção média de 68 Mg ha⁻¹, observando a seguinte ordem de grandeza: 8899, 2060, 309, 288, 282 e 53 g Mg⁻¹, respectivamente para K, N, S, Ca P e Mg.

Lahav & Turner (1983) observaram que a aplicação de até $80 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de resíduos de estábulo favoreceu o crescimento e antecipou o florescimento e a colheita de bananeiras. Borges & Silva (2002), em um experimento com banana Terra conduzido no litoral Sul da Bahia, observaram que a aplicação de $267 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N, fornecido pelo esterco de curral aumentou o número de frutos por cacho e o comprimento médio dos frutos.

Neste contexto, a avaliação da disponibilidade de nutrientes pelos fertilizantes minerais e orgânicos é de fundamental importância para a recomendação de um sistema mais sustentável que o praticado atualmente, visto que a inserção de MO no sistema produtivo da banana otimiza em longo prazo as produções subsequentes, devido aos reflexos nas propriedades físicas e químicas do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

O presente trabalho, instalado no Departamento de Produção Vegetal - Horticultura, da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP/ Campus Botucatu, situada no Estado de São Paulo, encontra-se a aproximadamente 786m de altitude, apresentando as coordenadas geográficas: 22°52'55'' de latitude Sul e 48°26'22'' a oeste de Greenwich.

3.2 Clima

O município de Botucatu-SP apresenta clima temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno (Cwa - Koppen), e a temperatura média mais quente superior a 22°C (Cunha et al., 1999).

3.3 Caracterização do solo

O solo da área experimental foi classificado como Terra Roxa estruturada – unidade lageado, álica, textura argilosa e latossólica, segundo classificação realizada por Carvalho et al (1983), atualmente denominado de NITOSSOLO VERMELHO (EMBRAPA, 1999).

As principais características químicas do solo foram analisadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo, pertencente a

UNESP/Botucatu, segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001) e encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Análise química do solo da área experimental, nas profundidades de 0-20 e 20-40cm.

Prof.	pH	MO	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³					
20	5,4	26	15	1,5	35	16	52	81	64
40	5,2	23	8	1,3	30	15	47	81	59

Fonte: Laboratório de Fertilidade do solo. DCS-FCA.

3.4 Descrição dos cultivares

A bananeira ‘IAC2001’ é conhecida também como ‘Banana d’Água’, ‘Caturra’, ‘Casca Verde’, ‘Baé’ e ‘Inglesa’. Cultivar instável geneticamente (grupo genômico AAA) e por isso, muito sensíveis às mutações, originaram-se de uma única variedade denominada Lucatan (TRINDADE, 1997). Apresenta tolerância ao Mal-de-Sigatoka e por isso é uma variedade bastante promissora, visto que esta doença está presente em praticamente todas as áreas onde se cultiva banana e acarreta em grandes custos para os bananicultores no seu controle. As plantas são normalmente vigorosas, pseudocaule verde claro com manchas escuras, pecíolos de base aberta, frutos delgados, longos, de cor amarela esverdeada ao amadurecer. A polpa apresenta cor branca cremosa a amarela pálida e é muito doce quando madura. Os frutos são consumidos como fruta fresca, ou utilizados na produção de bananadas, purê, banana passa, pó de banana para exportação, flocos, etc (TRINDADE, 1997).

3.5 Instalação e condução da cultura no campo

O solo onde se instalou o experimento foi preparado 45 dias antes do plantio das bananeiras, recebendo as operações de aração, gradagem, aração e, de acordo com os dados apresentados pela análise do solo (Tabela 4), não se verificou necessidade de realizar calagem para elevar a saturação de bases a 60%, bem como elevar o teor de magnésio acima de 9 mmol_c dm⁻³, de acordo com recomendação para a cultura (Raij et al., 1997)

As covas foram abertas com auxílio de broca acoplada ao trator, nas dimensões de 60 cm de diâmetro x 60 cm de profundidade, as quais foram preparadas com 20 litros de lodo

de esgoto e 66g de superfosfato simples (18% de P_2O_5). As mudas de bananeiras cv. IAC2001 foram obtidas através do processo de micropropagação, compradas de uma empresa particular situada na cidade de Artur Nogueira especializada em propagação *in vitro* e colocadas em estufa do Departamento de Produção Vegetal – Horticultura, da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP/ Campus Botucatu, para adaptação às condições climáticas locais, antes de ir ao campo.

O plantio foi realizado no dia 10 de março de 2005, adotando-se o espaçamento de 3,0m entre linhas e 2,5m entre plantas, visando mecanizar os tratos culturais, principalmente o controle de plantas invasoras, o que proporcionou uma área de $7,5 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ e representaria $1333 \text{ plantas ha}^{-1}$. Durante os anos de 2005 e 2006, todos os tratos culturais foram realizados à medida que se faziam necessários, como controle de ervas invasoras, desbrota, desfolha, adubação, controle de pragas e doenças, irrigação, escoramento, eliminação do coração, colheita e corte do pseudocaule, de acordo com as recomendações para a cultura.

No ano de 2007, momento do terceiro ciclo da cultura teve início o presente experimento, com a retirada de amostras de solo para análise química, aplicação das adubações de produção (parceladas em duas vezes), coleta das amostras de solução do solo e análise destas.

3.6 Análise Química do solo

O experimento teve início no dia 28/01/2007 com a retirada das amostras de solo para realização de análise química, realizada na faixa adubada em anos anteriores, já que a cultura estava implantada no local há aproximadamente 2 anos. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, sendo determinados os teores de macro e micronutrientes disponíveis (potássio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, zinco, manganês e ferro), além de características químicas como pH, teor de matéria orgânica (M.O.), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%). As amostras foram secas em estufa e analisadas conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001). Os dados da análise do solo no início do experimento encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5. Análise química do solo da área experimental, na profundidade de 0-20 cm.

Prof	pH	MO	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol, dm ⁻³						mg dm ⁻³				
20	4,1	28	37	1,7	26	3,5	31	114	27	0,5	7	101	39	48
40	4,2	26	30	1,4	23	4	28	105	28	0,4	7	82	25	28

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo. DCS-FCA.

De posse dos resultados e de acordo com a recomendação de adubação para a cultura da bananeira (Raij et al., 1997), foram calculadas as doses de N, P e K necessários para uma produção esperada de 50-60 Mg ha⁻¹. Assim, as quantidades requeridas pela cultura de N, P e K foram de 430, 110 e 450 kg ha⁻¹, respectivamente, parceladas em 2 aplicações e de acordo com os respectivos tratamentos, realizadas nos dias 02/04/2007 e 04/05/2007. Para todos os tratamentos, as quantidades de P₂O₅ e K₂O (superfosfato triplo e cloreto de potássio) adicionadas foram iguais, visto que as doses de LE aplicadas foram calculadas apenas considerando-se a quantidade de N presente no composto.

3.7 Análise química e aplicação do lodo de esgoto ao solo

O lodo de esgoto utilizado no experimento tem origem na ETE da cidade de Jundiá, e apresenta composição química conforme dispõe a Tabela 6

Tabela 6. Análise química do material orgânico (LE) utilizado no experimento.

pH	C/N	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MO	C	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		Porcentagem na matéria seca								mg kg ⁻¹ matéria seca				
4,7	8/1	3,15	2,2	0,18	46	25,56	1,18	0,21	1,72	1080	378	31300	520	1070

Fonte: Laboratório de análises de fertilizantes e corretivos. DCS - FCA

A análise química destes materiais segue metodologia de LANARV (1998). A taxa de mineralização do N presente no LE adotada foi de 30%, de acordo com as normas estabelecidas pelo CONAMA (2006) para disposição deste resíduo no solo e, a dose de lodo aplicado foi calculada considerando o teor de N presente no material e seus respectivos tratamentos. A umidade (Um) do material foi determinada pelo método padrão da estufa, onde se coletam amostras da pilha do composto, pesa-se o material úmido (PU), leva-o a estufa até peso constante e a seguir obtém-se o peso seco (PS). A partir da equação abaixo, define-se a umidade do material.

$$Um (\%) = \frac{(PU-PS)}{PS} \times 100$$

A umidade calculada do lodo utilizado no experimento foi de 60%, utilizada para o cálculo da quantidade de material a ser aplicado ao solo. O LE foi aplicado ao redor das plantas, após a aplicação dos fertilizantes químicos nos tratamentos que os utilizavam, para diminuir as perdas, principalmente pela volatilização do N presente na uréia.

Para o cálculo da adubação tomou-se como referência a produtividade esperada de 50-60 Mg ha⁻¹ (RAIJ et al., 1997) e a análise de solo da área (Tabela 5), sendo determinada a aplicação das quantidades apresentadas no item 3.8. A época e porcentagem de aplicação foram realizadas conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7. Época e porcentagem de composto aplicado nas plantas de bananeira.

Época de aplicação	% aplicada
Abril / 2007	50%
Maior / 2007	50%

3.8 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos

O experimento segue delineamento estatístico em blocos casualizados com 6 repetições, em esquema fatorial 3x6x6, sendo 3 blocos, 6 tratamentos e 6 repetições, perfazendo um total de 108 plantas. Os tratamentos variam de 1 a 6, substituindo em 0, 25, 50, 75, 100 e 125% a dose de Nitrogênio químico recomendado para a cultura pelo equivalente deste elemento presente no lodo de esgoto, respectivamente.

Os tratamentos são:

T1- 100% do N recomendado fornecido por uréia (T1= 980 kg uréia ha⁻¹)

T2- 75% do N recomendado fornecido por uréia e 25% por LE (T2= 735 kg uréia ha⁻¹ + 10,75 Mg lodo ha⁻¹)

T3- 50% do N recomendado fornecido por uréia e 50% por LE (T3= 490 kg uréia ha⁻¹ + 21,5 Mg lodo ha⁻¹)

T4- 25% do N recomendado fornecido por uréia e 75% por LE (T4= 245 kg uréia ha⁻¹ + 32,25 Mg lodo ha⁻¹)

T5- 100% do N recomendado fornecido por LE (T5= 43 Mg lodo ha⁻¹)

T6- 125% do N recomendado fornecido por LE (T6= 53,75 Mg lodo ha⁻¹)

3.9 Irrigação: Sistema e Manejo

O sistema de irrigação por microaspersão autocompensante utilizado no experimento apresenta vazão de 28 L h⁻¹, cobrindo um raio de molhamento de 1,25m. Assim, considerando-se o espaçamento de 2,5m entre plantas, utilizou-se 1 microaspersor por planta para satisfazer as necessidades hídricas da cultura, apresentando coeficiente de uniformidade de distribuição de água de 95%, segundo metodologia proposta por Keller e Karmelli (1975) para o seu cálculo.

O suprimento de água para o projeto foi obtido de uma fonte natural, situada dentro do campus da Unesp, onde o seu bombeamento até um reservatório com capacidade de 150 m³, situada em cota superior ao experimento, permite o funcionamento do sistema por gravidade.

Durante o experimento, a irrigação se processava de maneira a repor a quantidade de água utilizada pelas plantas devido a evapotranspiração da cultura, obtida através do método do Tanque Classe A. Assim, mediu-se a quantidade de água evapotranspirada pela cultura entre os momentos das coletas de solução (geralmente 8 dias), calculando a lâmina a ser aplicada de acordo com a seguinte equação:

$$L_{ap} = \frac{E \times K_p \times K_c}{E_f}$$

L_{ap}: lâmina a ser aplicada

E: evaporação obtida pelo Tanque Classe A

K_p: coeficiente do tanque

K_c: coeficiente da cultura

E_f: eficiência do sistema

Os tempos de irrigação foram obtidos pela razão entre a lâmina a ser aplicada e a intensidade de aplicação do microaspersor. Como a vazão do emissor é de 28 L h⁻¹ e a área de molhamento igual a 4,91 m², a intensidade de aplicação fornecida é de 5,7mm h⁻¹.

Tabela 8. Valores dos parâmetros utilizados para o cálculo da lâmina e tempo de irrigação para coleta de solução do solo.

Data	sonda	ET (mm)	P(mm)	LA(mm)	TI (h)
30/03/2007	9695	30,3	0	33,6	5,9
04/03/2007	8371	28,25	0	31,4	5,5
12/04/2007	10089	27,9	22	5,9	1,0
20/04/2007	9724	32,6	0	36,2	6,3
26/04/2007	9915	28,6	0	31,8	5,6
08/05/2007	9885	27,7	0	30,1	5,3
16/05/2007	9837	26,3	0	29,2	5,1
24/05/2007	10587	20,2	30,4	0	0
30/05/2007	9935	25,8	0	28,6	5

O monitoramento da umidade do solo foi obtida com o auxílio de uma sonda de nêutrons, e por meio da curva de calibração para o solo do presente experimento, obtinha-se a umidade do solo no momento do vácuo para extração da solução e a umidade no dia seguinte (momento da coleta da solução), verificando se o mesmo havia retornado próximo a capacidade de campo (CC). Os dados de leitura da sonda, evapotranspiração (ET), precipitação (P), lamina aplicada (LA) e tempo de irrigação (TI) podem ser observados na Tabela 8.

3.10 Extração da solução do solo

Em cada tratamento dentro de cada bloco, instalou-se 2 extratores de solução de cápsulas porosas na faixa adubada, nas profundidades de 20 e 40cm, perfazendo um total de 36 extratores instalados no experimento. O vácuo foi realizado com auxílio de uma bomba manual, capaz de fornecer tensões de até -70 KPa, e seringas de 20ml, onde após aproximadamente 24 horas, fazia-se a coleta da solução e transferia-se o volume coletado para recipientes previamente marcados para posterior análise da solução do solo.

Coletaram-se as 36 amostras no dia 30/03/2007, data anterior a primeira adubação de cobertura, fornecendo a condição inicial do solo. Nos dias 4, 12, 20 e 26 de abril (2, 10, 18 e 24 dias após a primeira adubação) e dias 08, 16, 24 e 30 de maio (4, 12, 20 e 26 dias após a segunda adubação), foram coletadas as demais amostras.

A solução era mantida congelada para conservação das amostras, principalmente o nitrogênio, visto que este elemento se perde por volatilização em temperaturas ambientes. Os parâmetros avaliados na solução foram pH, condutividade elétrica (CE) e quantidade total de nitrogênio mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$)

3.11 Parâmetros avaliados

3.11.1 pH e condutividade elétrica na solução do solo

No momento das análises, as amostras foram retiradas do congelador para elevar a temperatura à ambiente, embora os aparelhos utilizados façam a conversão automática para 25°C, temperatura padrão em análises deste tipo. Posterior a este processo, as amostras foram levadas ao Laboratório de Pesquisa do Departamento de Recursos Naturais, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Botucatu, para avaliação do pH e da CE. Ambas as avaliações foram realizadas de maneira direta na solução do solo, coletada nas diferentes épocas de amostragem, com auxílio de um phmetro modelo Digimed DM2 e de um condutivímetro modelo Digimed DM3.

3.11.2 Nitrogênio

Após a medição do pH e da CE, as amostras foram submetidas a análise de N para determinação das frações nítrica e amoniacal (NO_3^- e NH_4^+) presentes na solução do solo, em função dos tratamentos adotados. O método destilação a vapor descrito por Tedesco et al. (1995) utilizado no experimento é uma alternativa para avaliação do N em amostras de água e solução do solo.

O princípio preconizado por este método é a conversão do N nas formas amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) em amônia (NH_3), através da adição de óxido de magnésio (MgO) e Liga de Devarda, respectivamente, onde a amônia é coletada em recipiente contendo uma solução indicadora (ácido bórico + verde de bromocresol + vermelho de metila) e titulada com ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 0,02N. A concentração de N presente na solução do solo é encontrada através da equação:

$$N(\text{mg L}^{-1}) = \frac{(V_{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ amostra}} - V_{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ branco}}) \times 14 \times f_{\text{ácido}} \times 10000}{V_{\text{amostra}} \times 1000}$$

Onde: N é a concentração de N presente na solução do solo (mg L^{-1})

$V_{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ amostra}}$ é o volume de ácido gasto na titulação da amostra (mL)

$V_{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ branco}}$ é o volume de ácido gasto na titulação da solução padrão (mL)

14 é o peso molecular do N

$f_{\text{ácido}}$ é a concentração do H_2SO_4 utilizado na titulação (N)

V_{amostra} é o volume da amostra utilizado na titulação (mL)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 pH

Os dados obtidos pela leitura direta de pH e condutividade elétrica na solução do solo, em função da substituição em 0, 25, 50, 75, 100 e 125% da adubação nitrogenada química por LE (tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T6, respectivamente), nas profundidades de 20cm e 40cm, estão apresentados nas Tabelas de 9 a 26 (Anexo I) e Figuras 1 a 8.

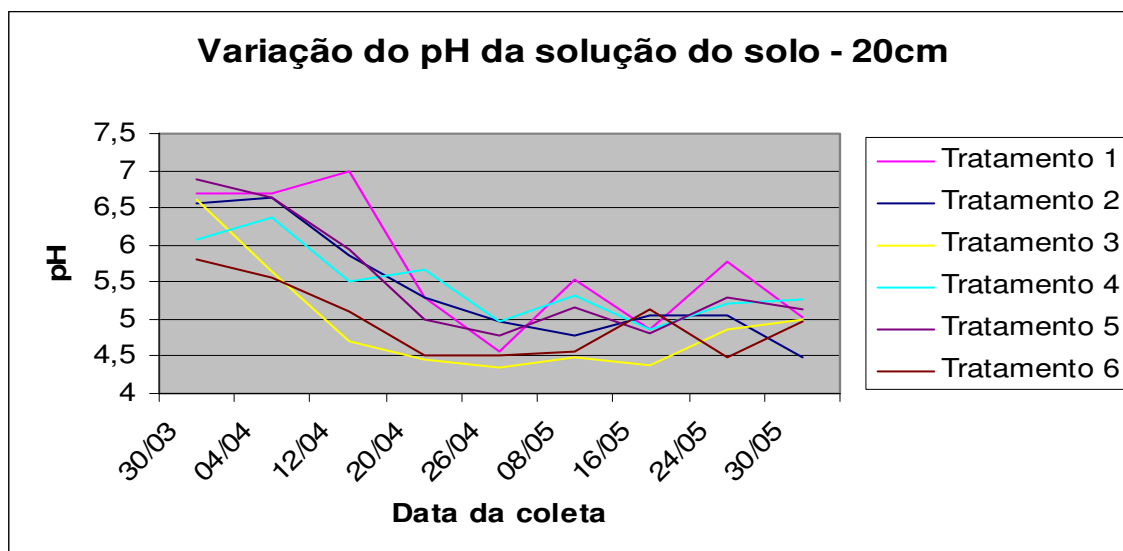


Figura 1. Variação do pH da solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por lodo de esgoto, na profundidade de 20cm ao longo do experimento.

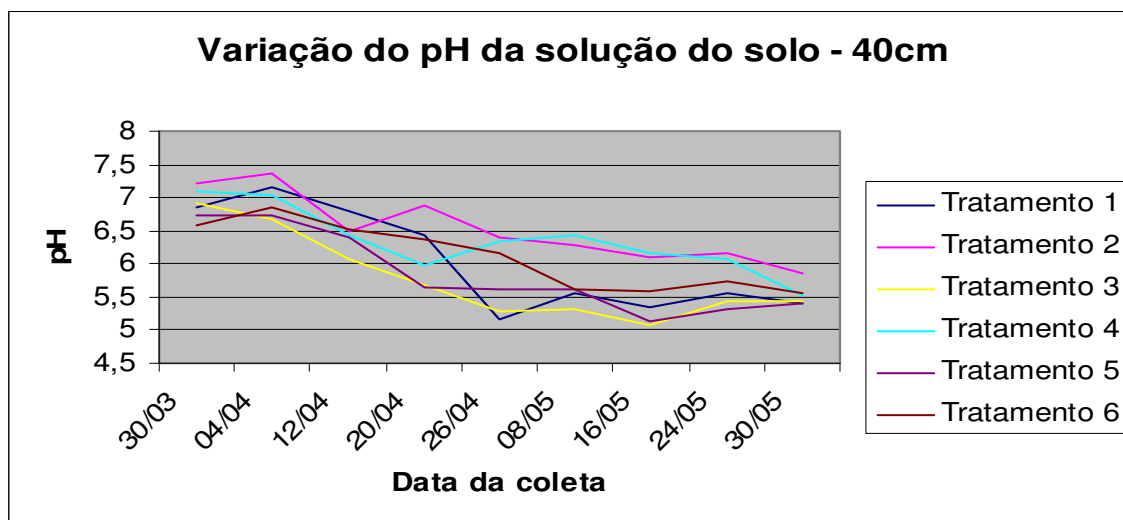


Figura 2. Variação do pH da solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por lodo de esgoto, na profundidade de 40cm ao longo do experimento.

De acordo com os dados apresentados nas Figuras 1 e 2, bem como nas Tabelas de 9 a 26, observa-se diferença significativa entre tratamentos refletindo no pH da solução do solo apenas na coleta 2 (12/04/2007) para a profundidade de 20cm, onde verificou-se pH mais elevado no T1 em comparação aos demais tratamentos, com média de 6,78; em contrapartida, o T3 apresentou o menor valor para este parâmetro, com média de 4,71. Pelo fato desta diferença não ter continuidade no decorrer do experimento, acredita-se que a mesma não reflete a influência do tratamento no parâmetro em questão, ficando restrito a uma situação pontual.

A mesma tendência foi observada na profundidade de 40cm, onde em nenhuma época de coleta os resultados apresentados diferiram estatisticamente segundo os tratamentos aplicados, o que permite a conclusão de não haver poder de acidificação ou neutralização diferentes para as fontes estudadas na solução do solo. Entretanto, para todos os tratamentos avaliados, notou-se queda do pH inicial, promovendo uma acidificação do solo pelo uso da fertilização nitrogenada tanto química como mineral.

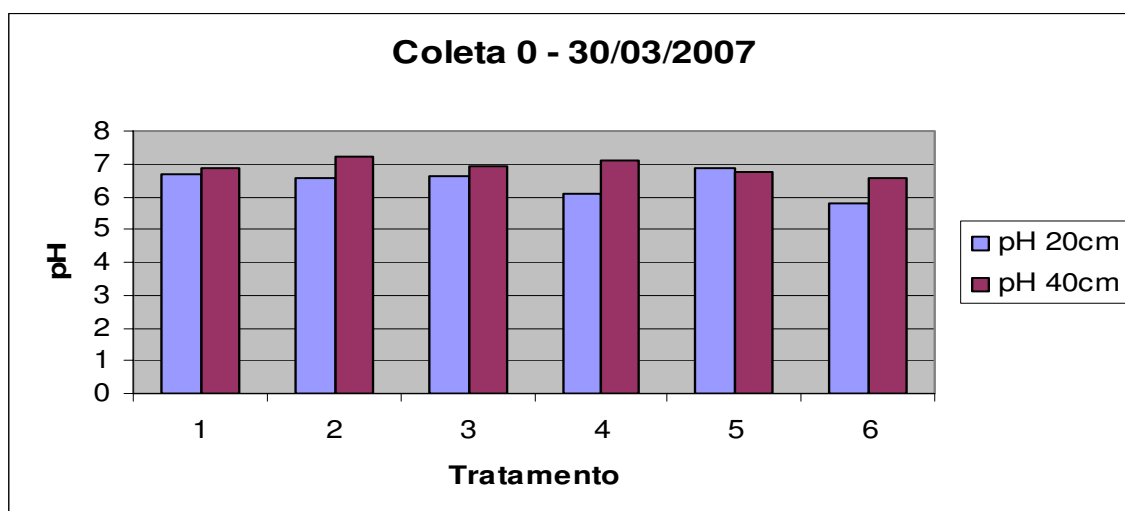


Figura 3. Valores do pH da solução do solo no início do experimento (30/03/2007), anterior as adubações em cobertura.

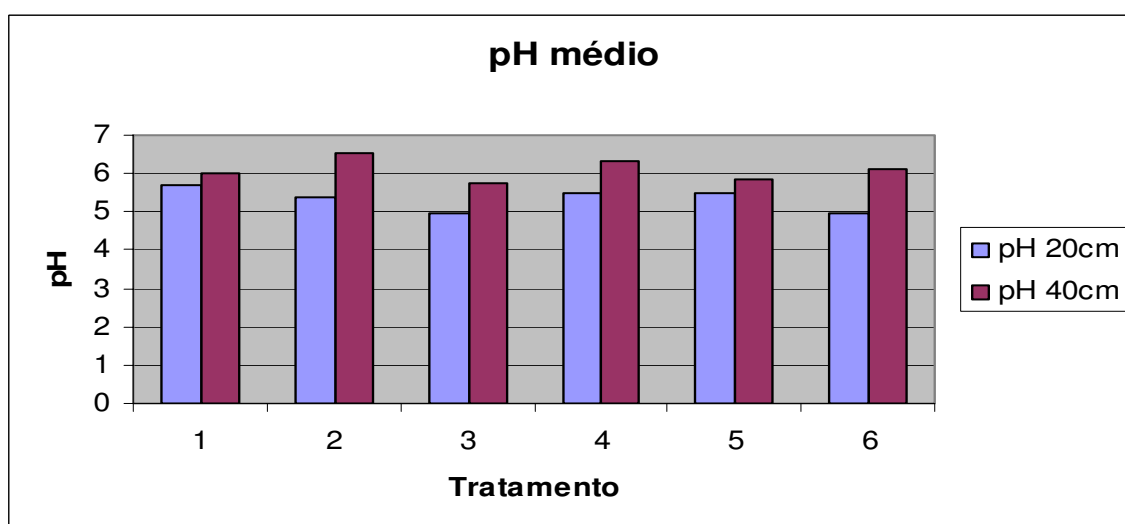


Figura 4. Valores médios do pH da solução do solo por tratamento no decorrer do experimento.

Quando estudado a relação entre o pH da solução do solo e profundidade de coleta da solução de acordo com os tratamentos, nota-se que o pH na profundidade de 20cm apresenta redução mais acentuada que na profundidade de 40cm. No início do experimento (Figura 3) verifica-se que os tratamentos que apresentavam apenas adubo químico (T1) ou adubo orgânico (T5, T6) como fontes fornecedoras de N, encontravam-se com pH mais reduzido quando comparado aos demais tratamentos. Visto que o presente experimento encontra-se instalado há dois anos submetido aos tratamentos em questão, esta condição

inicial sugere maior potencial de redução do pH da solução do solo quando utilizados os respectivos tratamentos citados.

Segundo Kiehl (1979), a faixa adequada de pH para a grande maioria das plantas situa-se entre 6,0 a 7,0; e abaixo do pH 4,0 ou acima de 9,0 as plantas encontram muitas dificuldades de sobreviver. O pH do LE pode variar de acordo com o tipo de tratamento a que foi submetido, sendo alcalino ou próximo à neutralidade na presença ou ausência de cal. Segundo Epstein et al. (1976) a aplicação do lodo no solo provoca uma diminuição inicial de pH, especialmente em curto prazo, devido a formação de ácidos orgânicos, e posteriormente, ocorre aumento por causa da estabilização do material com elementos do solo.

Esta afirmação encontra suporte no presente trabalho, já que, levando-se em consideração a influência dos tratamentos e das profundidades estudadas no pH da solução (Figura 4), observou-se pequena redução do pH da solução do solo estudado nos tratamentos que utilizavam LE. Ao final do experimento, foram retiradas as médias dos valores de pH dos tratamentos no decorrer do ensaio, e observou-se que, de maneira geral, o pH manteve-se entre 5,0 - 6,0 e 5,5 - 6,5 para as profundidades 20 e 40 cm (Figura 4), respectivamente, durante o período em que foi conduzido o experimento, faixa considerada ideal para a cultura da banana de acordo com recomendação de Rajj et al. (1997).

Segundo Melo et al. (1994) a adição de LE até a dose máxima de 50 Mg ha⁻¹ reduziu o pH do solo estudado de forma quadrática. A acidificação pode estar associada às reações de nitrificação do N amoniacal, à provável oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo por microrganismos. Logan et al. (1997) observaram decréscimo no pH no primeiro ano de aplicação de lodo de esgoto não tratado com cal (7,5 e 15 Mg ha⁻¹), imediatamente após a aplicação.

Simonete et al. (2003) estudando doses crescentes de lodo de esgoto (0, 10, 20, 30, 40 e 50 Mg ha⁻¹) no crescimento e nutrição do milho em vasos encontraram redução acentuada no pH do solo com o aumento das doses. Os mesmos resultados foram encontrados por Silva et al. (2001) em ensaio com doses crescentes de lodo combinado ou não com fertilização química na cultura da cana-de-açúcar, onde os autores observaram aumento inicial no pH do solo, desaparecendo seu efeito na correção da acidez após 484 dias após o plantio (DAP), assim como observado por Melo et al. (1994, 1997).

Apesar de muitos trabalhos indicarem o potencial de acidificação do solo pela aplicação de LE, existem muitas controvérsias com relação ao seu efeito sobre o pH do solo. LE condicionados com cal possuem grande poder de neutralização, devido à sua alcalinidade intrínseca (pH acima de 10) (RAIJ, 1991). Entretanto, LE com excesso de N orgânico podem acidificar o solo, visto que a mineralização deste elemento libera no solo íons H^+ , reduzindo o pH e ainda podendo lixiviar alguns cátions (HARRISON et al., 1996).

Boeira (2002) em ensaio experimental com utilização de LE neutros, verificou que inicialmente ocorre um aumento do pH do solo, ocasionado pelo poder de neutralização das reações envolvidas na degradação da carga orgânica do resíduo. No entanto, este efeito pode ser de curta duração e seguido por processos acidificantes.

O aumento do pH do solo foi verificado por vários autores (ANDREOLI, 1999; SILVA et al., 1998; BERTON et al., 1989), os quais constataram que o lodo adicionado ao solo agiu como corretivo de acidez, reduziu o teor de alumínio trocável e melhorou as condições de absorção e nutrientes pelas plantas.

Damatto Jr. et al. (2006), em experimento com bananeiras cv. Prata-Anã fertilizadas com composto orgânico, observaram aumentos lineares de pH com doses crescentes de composto, atingindo valores máximos nos tratamentos com as maiores doses de composto adicionado ao solo. Isso evidencia que o aumento de matéria orgânica no solo por meio da adição de composto tendeu a elevar o pH do solo, conforme Hunter et al. (1995), Wong et al. (1995) e Hoyt & Turner (1975), uma vez que a matéria orgânica no solo indisponibiliza o alumínio, fazendo com que o pH do solo se eleve.

Mobrıcı (2006) em estudo de três fontes de fornecimento de N à cultura do café (adubação mineral, lodo de esgoto e esterco de curral), observou um acréscimo no pH com as crescentes doses aplicadas, tanto de esterco quanto de lodo, principalmente nos tratamentos em que foram utilizados estes materiais no plantio e em cobertura. Com o maior volume de material orgânico, os valores de pH desses tratamentos foram os que mais se elevaram ao longo do período analisado, pois um dos efeitos observados pela adição de matéria orgânica nos solos é diminuição da toxicidade do Al^{3+} .

Oliveira et al. (2002) em experimento com cana-de-açúcar, verificou aumento do pH nos dois anos estudados, em função das doses de lodo aplicadas ao solo. As adubações com fertilizantes químicos minerais realizadas no tratamento convencional, ao contrário, causaram

acidificação no solo e, conseqüentemente, aumentaram a solubilidade do Al^{3+} . Este resultado foi também obtido por Pavan (1993), e pode ser explicado pela liberação dos íons H^+ na solução do solo durante a nitrificação do fertilizante nitrogenado, liberação que acontece de maneira mais rápida para os fertilizantes minerais.

O mesmo autor encontrou acréscimo do pH do solo estudado nos tratamentos que receberam esterco de curral curtido, com conseqüente diminuição dos teores tóxicos de Al^{3+} . Provavelmente, os íons H^+ na solução do solo foram adsorvidos na superfície do material orgânico, ou associaram-se com ânions orgânicos ou, ainda, ocorreram reações de troca entre os ânions orgânicos e hidróxidos terminais dos óxidos de Fe e Al (MIYAZAWA et al. 1987).

A boa relação entre fontes fornecedoras de nutrientes e o pH do solo é fundamental quando se almejam boas produções, visto que o pH do solo é um importante fator de disponibilização dos nutrientes às plantas, devendo ser monitorado com o máximo de atenção para evitar perdas na prática da adubação.

4.2 Condutividade elétrica

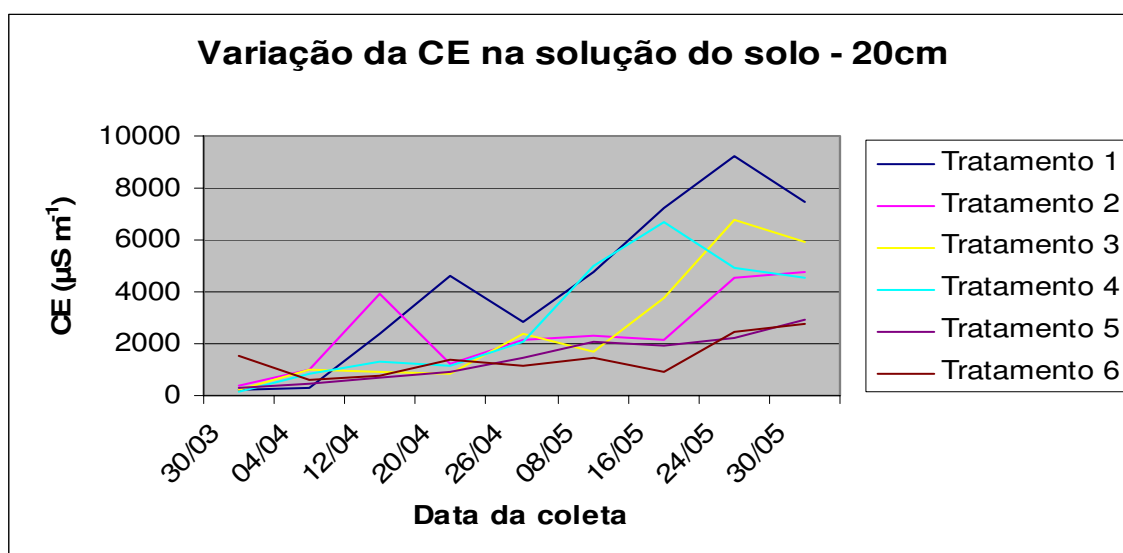


Figura 5. Variação da CE da solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por LE, na profundidade de 20cm ao longo do experimento.

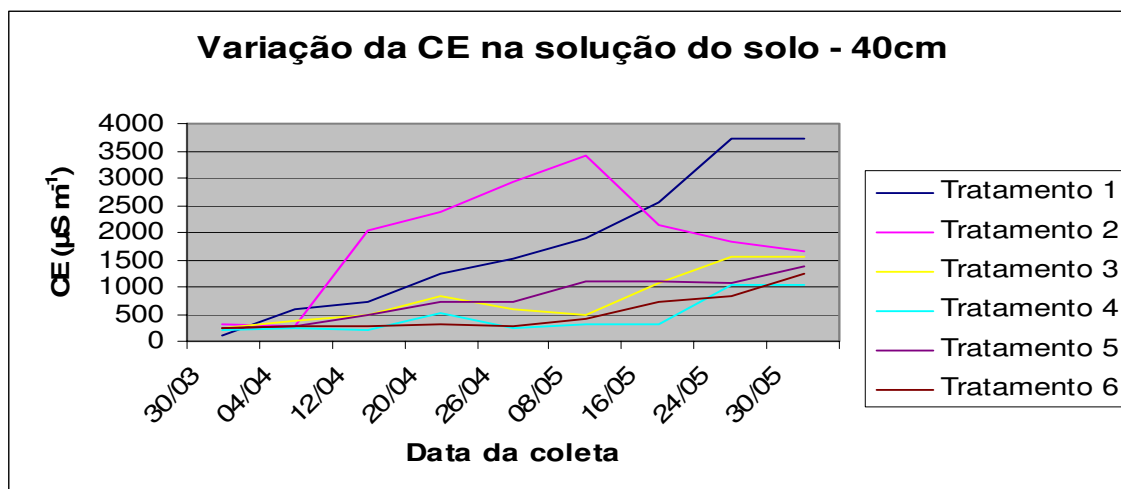


Figura 6. Variação da CE da solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por LE, na profundidade de 40cm ao longo do experimento.

Analisando as Tabelas 9 e 10, em que as amostras de solução foram coletadas em momento anterior a primeira adubação de cobertura observa-se que, quanto maior a quantidade de LE adicionado ao solo, maiores são os valores de CE obtidos em ambas as profundidades, indicando um maior efeito residual destes tratamentos, visto que a última adubação na área, anterior a esta coleta, havia sido realizada há aproximadamente 6 meses.

As Figuras 5 e 6 mostram diferenças bastante pronunciadas quanto a CE da solução do solo de acordo com os tratamentos utilizados, visto que o tratamentos T1 e T2 apresentaram valores superiores aos demais tratamentos. Apesar desse fato, quando submetidos os dados a análise estatística (Tabelas 9 a 26), apenas nas coletas 3 e 6 (20/04/2007 e 16/05/2006) houveram diferenças estatísticas de acordo com os níveis de significância utilizados para análise, onde o tratamento T1 apresentou maiores valores para CE da solução do solo, com médias de 4630 e 7255 $\mu\text{S m}^{-1}$ nas coletas 3 e 6, respectivamente.

Considerando que para todos os tratamentos as fontes de nutrientes utilizadas foram as mesmas, exceção feita ao N, os valores elevados de CE para os tratamentos que se utilizavam de maior quantidade de adubo químico (uréia) deve-se ao fato das formas minerais possuírem uma rápida mineralização e caminhamento para solução do solo, elevando os níveis de CE. Este fato evidencia um grave problema quando se utilizavam apenas fontes minerais para suplementação de N às culturas, já que devido a alta mobilidade deste íon no solo, perdas

acentuadas por lixiviação de nitrato podem ser encontradas (LISBOA, 2004), refletindo em maiores custos de produção ao agricultor.

Aliado a este fato, a lixiviação de nitrato para as camadas subsuperficiais podem representar um risco muito grande ao meio ambiente, pois contaminam o lençol freático e contribuem com a eutrofização dos cursos d'água (SOARES, 2003). Embora os adubos orgânicos, entre eles o LE, apresentem em sua composição não apenas N, mas uma série de outros macro e micronutrientes, a decomposição lenta deste material não refletiu os efeitos destes outros elementos na elevação da CE, como observado nas Figuras 5 e 6, haja vista o curto tempo de observação do experimento (cerca de 2 meses).

Um maior período de observação da solução do solo indicaria com maior precisão os efeitos desta fonte de nutrientes na CE.

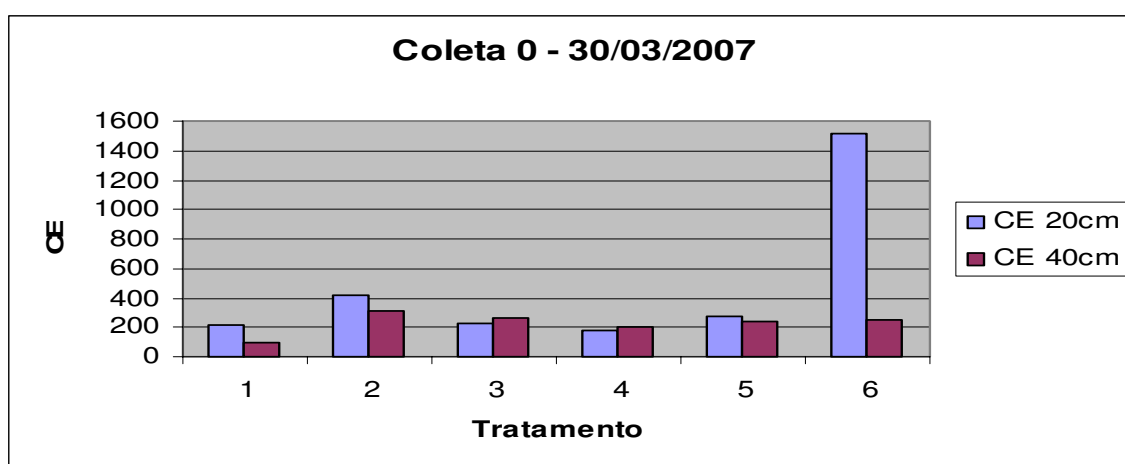


Figura 7. Valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S m}^{-1}$) da solução do solo no início do experimento (30/03/2007), anterior as adubações em cobertura.

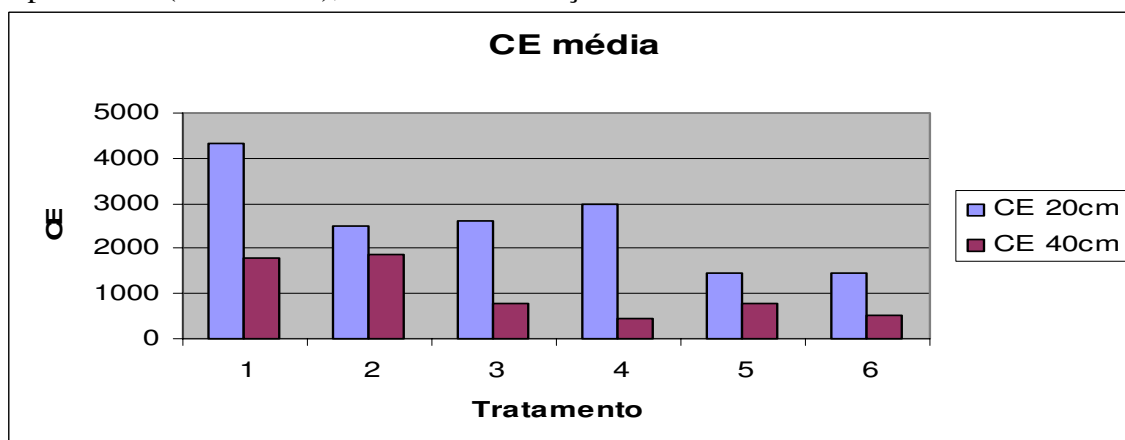


Figura 8. Valores médios da condutividade elétrica ($\mu\text{S m}^{-1}$) da solução do solo por tratamento no decorrer do experimento.

Com o objetivo de avaliar a CE média da solução do solo do presente experimento, em função da aplicação de LE na fertilização de bananeiras por ocasião das adubações em cobertura, foram coletadas as soluções do solo de acordo com seus respectivos tratamentos em 9 épocas diferentes, nas profundidades de 20 e 40cm, sendo analisadas de maneira separada e, segundo os dados obtidos, retiradas as médias dos tratamentos conforme observados na Figura 8. Nota-se que os tratamentos que se utilizavam de maior proporção de N químico (T1 e T2) apresentaram os maiores valores observados para o parâmetro CE, evidenciando a rápida disponibilização de N proveniente destas fontes.

No início do experimento (Figura 7), observa-se que a CE no T1 encontrava-se bastante reduzida quando comparada aos demais tratamentos, fato rapidamente alterado quando se processou a primeira adubação em cobertura, onde após a coleta 3 (20/04/2007) este tratamento apresentou os maiores valores observados para este parâmetro. Assim como quando avaliado o pH da solução, profundidade de 20cm foi mais afetada pelos tratamentos quando comparado à profundidade de 40cm, indicando que a lâmina de irrigação calculada não permitiu lixiviação dos íons para as camadas mais profundas do solo, permanecendo na zona efetiva de absorção de nutrientes pelas raízes.

Para todos os tratamentos avaliados, houve aumento acentuado da CE nos 20cm iniciais do solo analisados de acordo com as épocas de coleta, em função dos tratamentos utilizados, exceção ao T6 que apresentou redução deste parâmetro. Já na profundidade de 40cm, observou-se elevação da CE de maneira moderada, porém com a mesma tendência observada nos primeiros 20cm de solo, onde os tratamentos que se utilizavam de maior quantidade de adubo mineral apresentaram maiores valores referentes a CE na solução do solo estudado.

Poucos são os trabalhos na literatura relacionados com fontes orgânicas de fertilizantes e suas relações com a CE. Tavares (2005), avaliando a influência das adubações nitrogenadas e potássicas no CE de um solo cultivado com pimentão, verificou maior influência do N no aumento da CE da solução do solo, quando comparado ao K.

De acordo com os dados obtidos no presente experimento, Moura (1994) pesquisando a condutividade elétrica da água de irrigação sob diferentes doses de adubos químicos utilizados na fertirrigação, conclui que para cada $g L^{-1}$ dos adubos nitrato de potássio, nitrato de amônio, cloreto de potássio, sulfato de potássio e nitrato de cálcio, a

salinidade da água era acrescida, 1,30; 1,48; 1,57; 1,27 e 0,97 dS m⁻¹, respectivamente, evidenciando grande impacto destas fontes na CE da solução.

4.3 Nitrogênio

4.3.1 Teor de N

Os dados obtidos pela destilação a vapor do nitrogênio nas formas nítrica e amoniacal estão dispostos nas Tabelas de 27 a 44 (Anexo II) e Figuras 9 a 12.

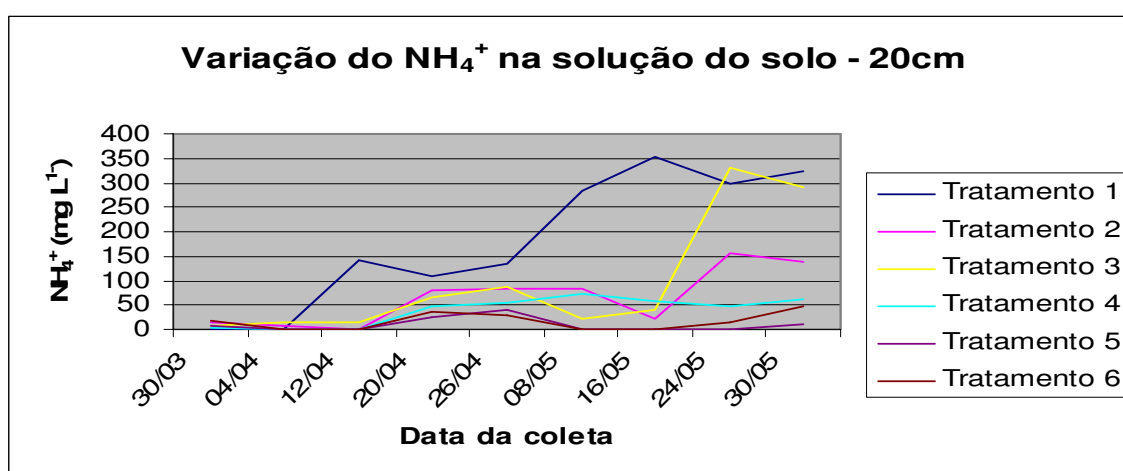


Figura 9. Variação do amônio (NH₄⁺) na solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por LE, na profundidade de 20cm ao longo do experimento.

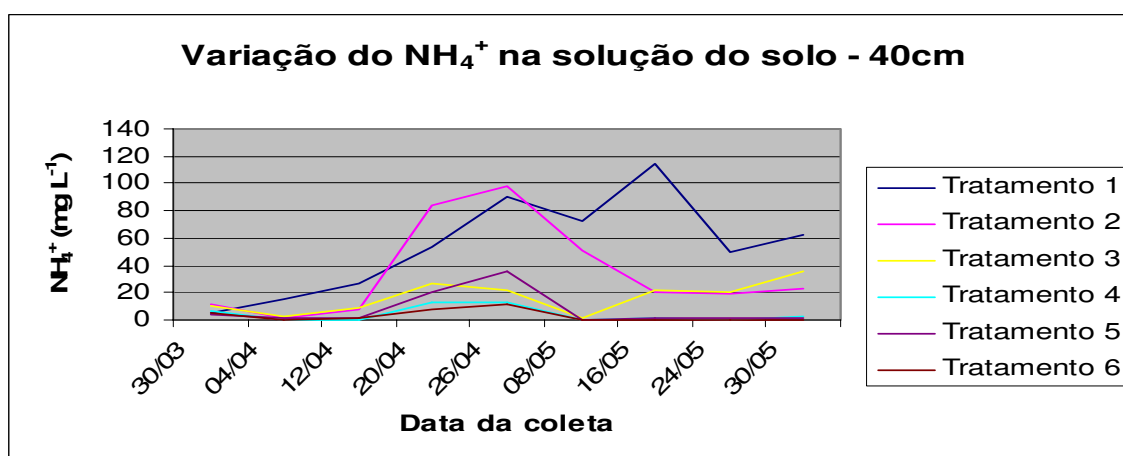


Figura 10. Variação do amônio (NH₄⁺) na solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por LE, na profundidade de 40cm ao longo do experimento.

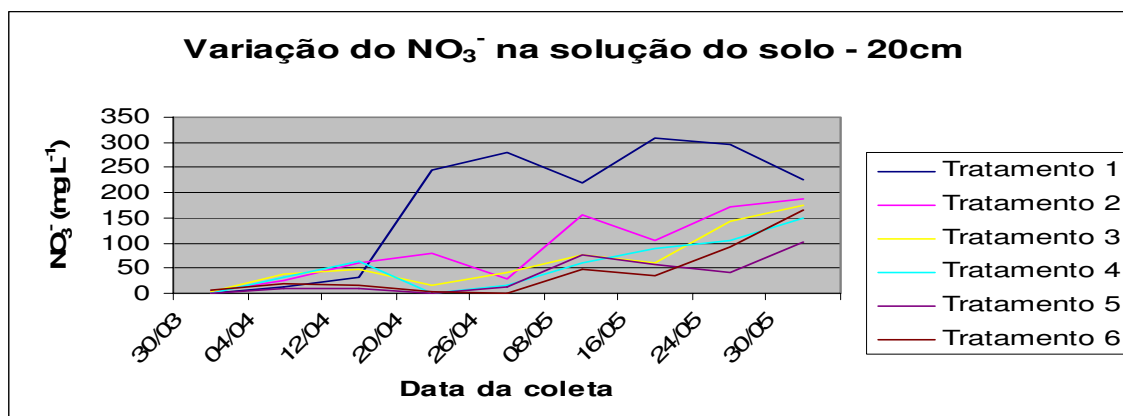


Figura 11. Variação do nitrato (NO₃⁻) na solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por LE, na profundidade de 20cm ao longo do experimento.

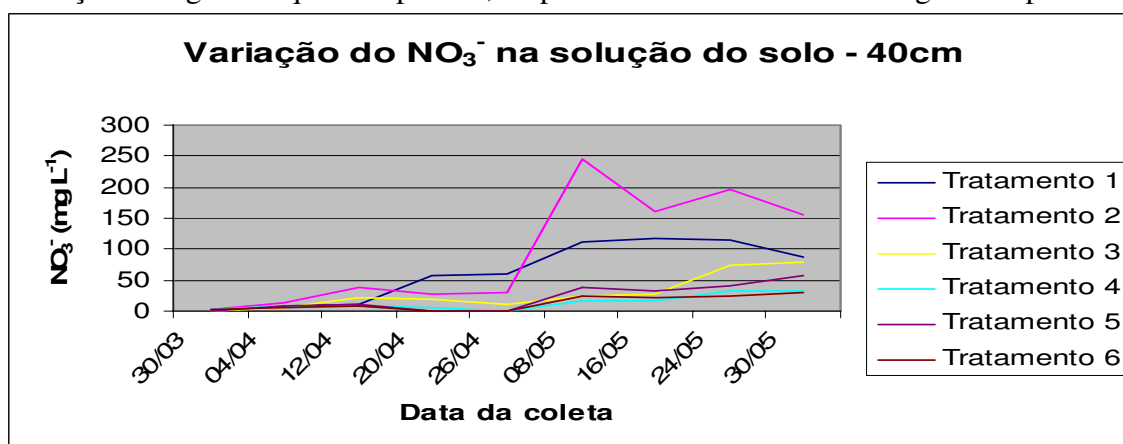


Figura 12. Variação do nitrato (NO₃⁻) na solução do solo em função da substituição da adubação nitrogenada química por LE, na profundidade de 40cm ao longo do experimento.

As Tabelas 27 a 44 e Figuras 9 a 12 apresentam as concentrações (mg L⁻¹) dos íons NH₄⁺ e NO₃⁻ na solução do solo estudado sob cultivo de bananeiras, em função dos tratamentos adotados quanto a aplicação de LE em substituição a adubação nitrogenada química. De acordo com os dados obtidos, verifica-se que os tratamentos T1 e T3 apresentam as maiores concentrações de NH₄⁺ na solução do solo na profundidade de 20cm, obtendo picos de 352,72 e 329,5 mg L⁻¹, respectivamente. Na profundidade de 40cm, nos tratamentos T1 e T2 foram observados maiores quantidades de NH₄⁺, fato repetido quando analisado o íon NO₃⁻, visto que os mesmos tratamentos apresentaram maiores concentrações de NO₃⁻ em ambas as profundidades. Para os primeiros 20cm, foram encontrados picos de 307,08 e 189,25 mg L⁻¹ de NO₃⁻ para os tratamentos T1 e T2, e nos 20-40 cm, concentrações de 116,10 e 246,21 mg L⁻¹ de NO₃⁻ para os tratamentos T1 e T2, respectivamente.

Verifica-se também que nos tratamentos T1 e T2, os teores de NH_4^+ e NO_3^- começam a diminuir após o dia 16/05/2007 (12 dias após aplicação da segunda adubação), indicando o efeito residual pequeno das fontes químicas. De acordo com estes dados, Oliveira et al. (2001) avaliando a concentração de NO_3^- e NH_4^+ na solução de um solo cultivado com cana-de-açúcar submetido a diferentes fontes de nitrogênio (testemunha, adubação mineral e três doses de lodo), observaram que nos tratamentos testemunha e adubação mineral as concentrações caíram para praticamente zero a partir dos 175 dias após a incorporação do lodo (DAIL), enquanto no tratamento que utilizavam lodo na menor (33 Mg ha^{-1}) e maior dose (99 Mg ha^{-1}), houve diminuição aos 209 DAIL e 396 DAIL, respectivamente, indicando a mineralização lenta deste material. Segundo Melo et al. (1994) a mineralização do nitrogênio presente no lodo se dá de maneira lenta e contínua ao longo do ano, assim como encontrado por Oliveira et al. (2001).

Em contrapartida, Lisboa (2004) avaliando a disponibilização de N em função da aplicação de composto orgânico (CO), esterco bovino (EB), resíduo da fábrica de gelatina (GE), húmus de minhoca (HU), esterco de aves (EA) e uréia (U), em comparação com a testemunha (T), na dose de 120 kg ha^{-1} de N em Latossolo Vermelho distroférrico cultivado com milho em sistema irrigado, observou concentrações de nitrato e amônio no lixiviado do solo nos tratamentos orgânicos semelhantes ao tratamento que utilizava uréia, evidenciando a rápida disponibilização do N nestes compostos orgânicos quando submetidos ao fornecimento contínuo de água.

4.3.2 Relação $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$

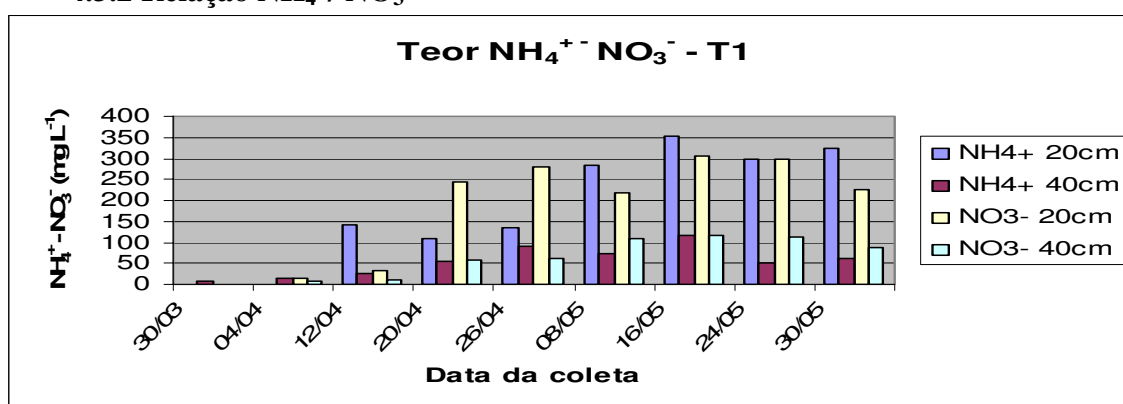


Figura 13. Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) na solução do solo, nas profundidades de 20 e 40cm do tratamento 1 (100% N mineral) no decorrer do experimento.

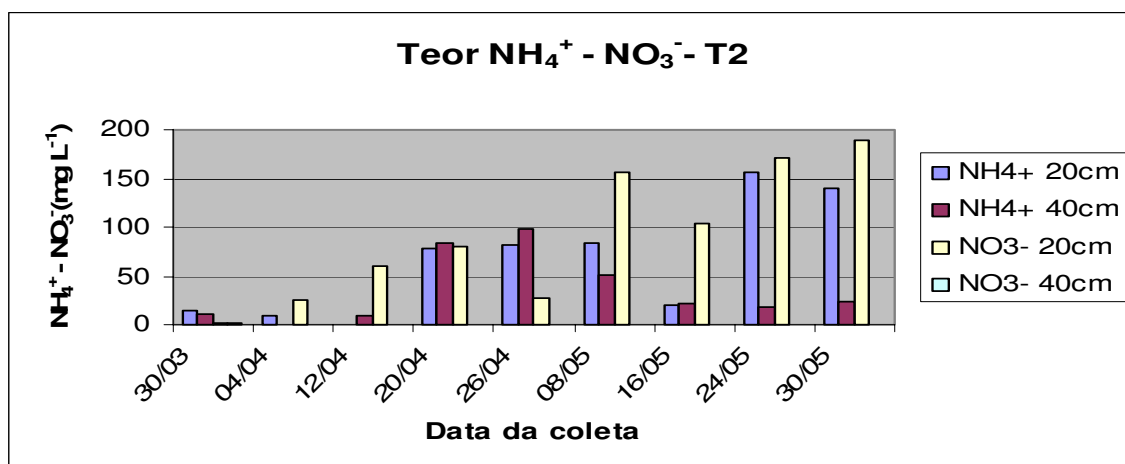


Figura 14. Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) na solução do solo, nas profundidades de 20 e 40cm do tratamento 2 (75% Nmineral - 25%Norgânico) no decorrer do experimento.

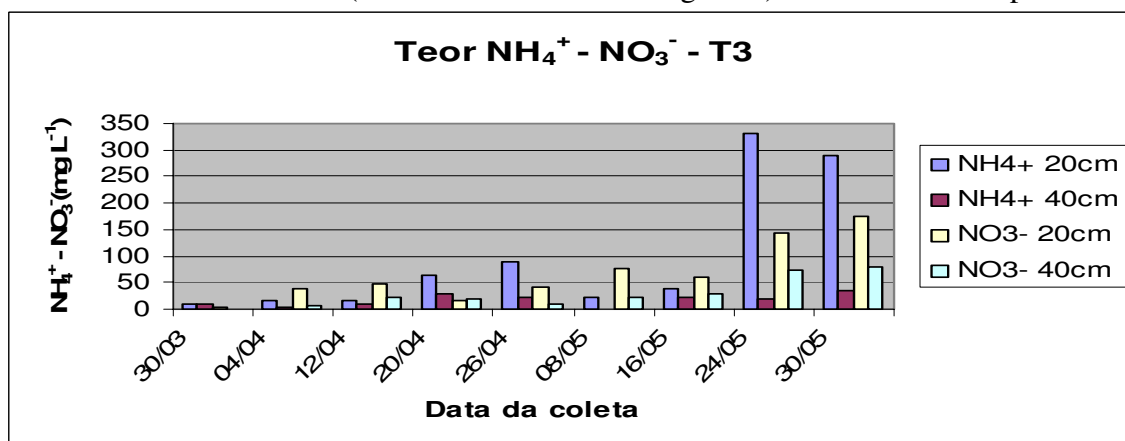


Figura 15. Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) na solução do solo, nas profundidades de 20 e 40cm do tratamento 3 (50% Nmineral - 50% Norgânico) no decorrer do experimento.

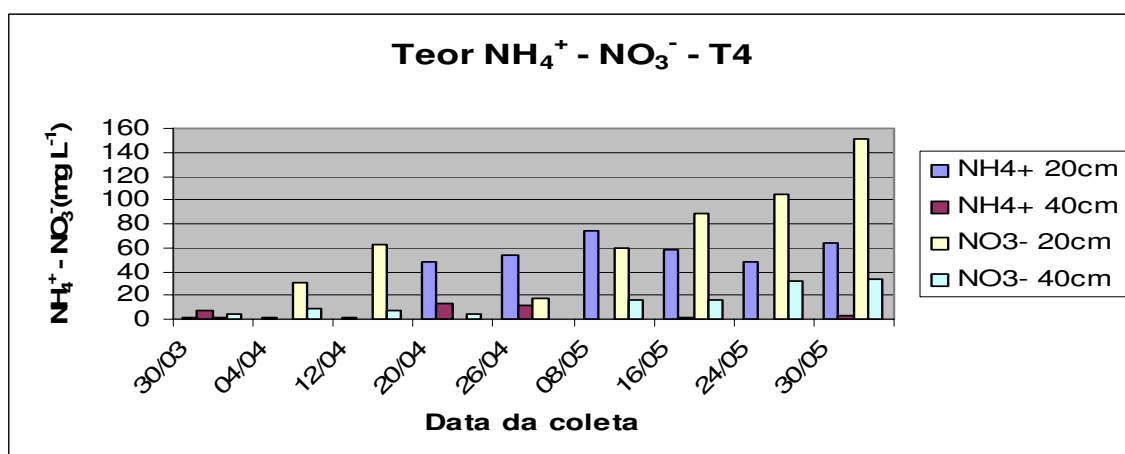


Figura 16. Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) na solução do solo, nas profundidades de 20 e 40cm do tratamento 4 (25% Nmineral - 75% Norgânico) no decorrer do experimento.

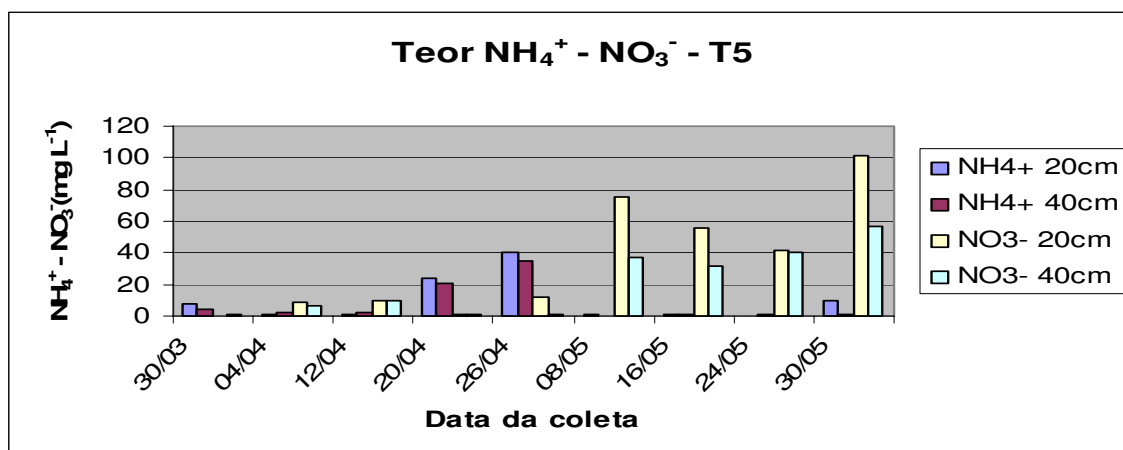


Figura 17. Teores de amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) na solução do solo, nas profundidades de 20 e 40cm do tratamento 5 (100% Norgânico) no decorrer do experimento.

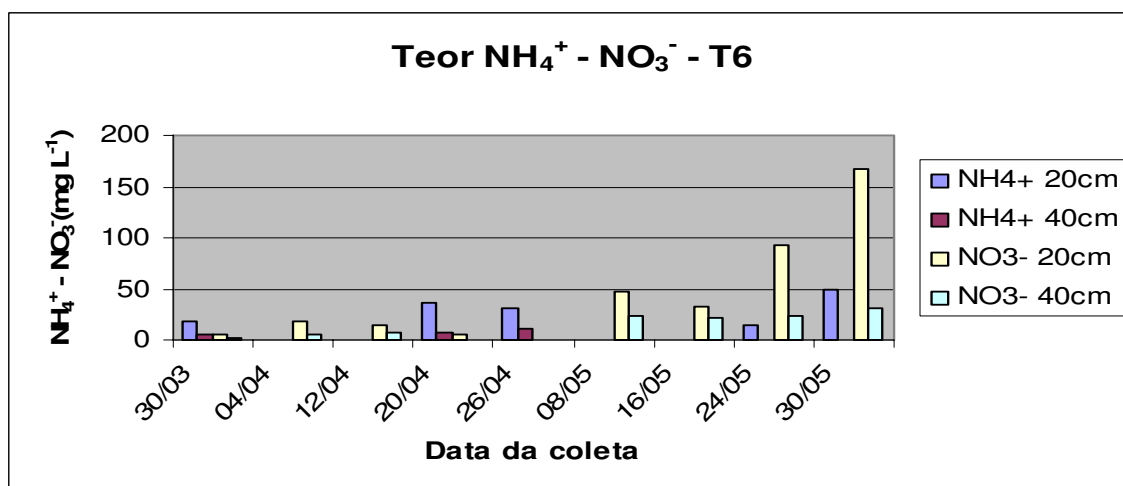


Figura 18. Teores de amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) na solução do solo, nas profundidades de 20 e 40cm do tratamento 6 (125% Norgânico) no decorrer do experimento.

As Figuras 13 a 17 mostram as diferenças entre as fontes estudadas quanto a composição da solução do solo com relação à forma do elemento N. Verifica-se que o T1, constituído apenas por uréia, apresenta teores de NH₄⁺ superiores ao de NO₃⁻, fato não observado nos demais tratamentos. À medida em que foram utilizadas maiores quantidades de material orgânico (LE), os teores de NH₄⁺ diminuíram quando comparados aos teores de NO₃⁻ presentes no LE, onde ao final do experimento, nos tratamentos T5 e T6 que utilizavam apenas LE como fonte de N, observou-se quantidades muito pequenas do primeiro íon com relação ao segundo, mostrando que o NO₃⁻ é a forma predominante de N no resíduo. Este fato pode ser evidenciado na Figura 18, que apresenta os valores médios de NH₄⁺ e NO₃⁻ ao final

do experimento, nas profundidades de 20cm e 40cm, de acordo com os respectivos tratamentos.

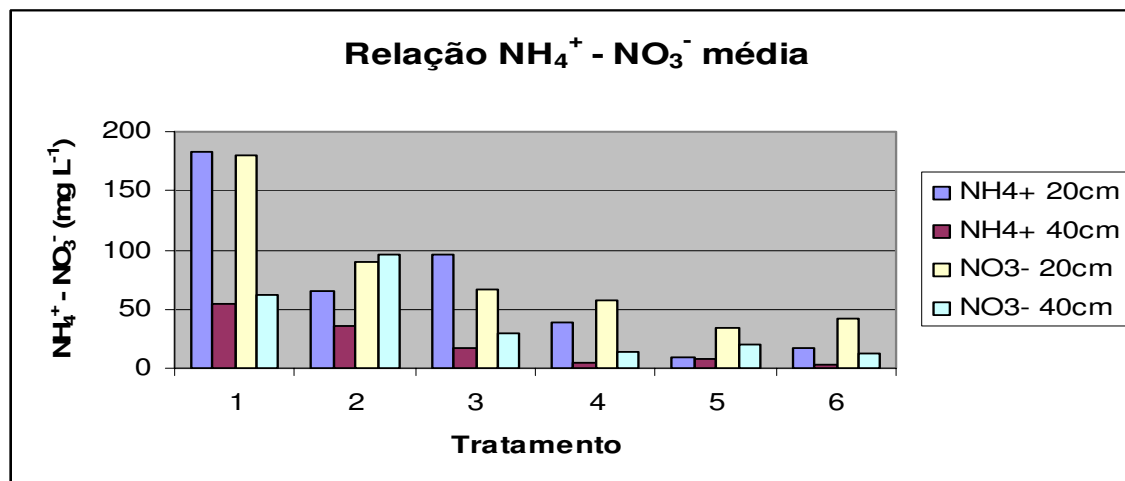


Figura 19. Comparação entre os teores de amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) na solução do solo, de acordo com os tratamentos e com as profundidades de extração da solução.

De acordo com Lisboa (2004), maiores valores de NO₃⁻ comparados ao NH₄⁺ se devem a boas condições de umidade, aeração e temperatura, favorecendo a conversão rápida de NH₄⁺ em NO₃⁻ dos materiais orgânicos. O NO₃⁻ é um íon que apresenta intensa movimentação no solo através da solução, tornando-se problema para o ambiente pela possibilidade de contaminação da água subsuperficial.

Apesar do presente experimento não objetivar avaliar o potencial de lixiviação do NO₃⁻ no solo, a comparação entre fontes de N e determinação deste elemento em diferentes profundidades de extração de solução evidencia os riscos de contaminação deste íon nas águas subsuperficiais, possibilitando através deste parâmetro auxiliar no manejo da irrigação, ajustando a lâmina de água a ser aplicada na agricultura a fim de se evitar riscos ao ambiente. Segundo Shepherd (1996), o potencial de perda de N- NO₃⁻ por lixiviação não depende apenas do clima, do tipo de solo e cobertura vegetal, mas também de características do lodo, principalmente aquelas determinadas pelo processo de geração do resíduo.

Vieira & Cardoso (2003), em ensaio com doses de lodo de esgoto aplicadas em milho, 10 a 15 meses após a aplicação do resíduo, verificaram que as amostras de solução do solo coletadas na camada de 1,2 a 1,5 m apresentaram picos de concentração de N-NO₃⁻, que variaram de 78 a 93 e 136 a 225 mg L⁻¹ acima dos valores observados na testemunha, respectivamente para a menor e a maior dose aplicada.

Inman et al. (1982), após aplicação de 4080 kg ha⁻¹ de N-total através de um composto a base de lodo de esgoto, também encontraram concentrações elevadas de N- NO₃⁻, variando de 70 a 80 mg L⁻¹ em amostras de solução do solo coletadas a 1 m de profundidade em um Ultissol. O mesmo autor evidencia que doses de até 200 kg ha⁻¹ de N-total, aplicadas via lodo de esgoto aeróbio, não ofereceram riscos de contaminação de águas subterrâneas. Em condições de clima e cobertura vegetal semelhantes aos de Aschmann et al. (1992), Medalie et al. (1994) verificaram ser possível a aplicação de até 740 kg ha⁻¹ de N-total via lodo de esgoto anaeróbio num Inceptissol.

Oliveira et al. (2001) avaliando a concentração de NO₃⁻ e NH₄⁺ na solução de um solo cultivado com cana-de-açúcar submetido a diferentes fontes de nitrogênio (testemunha, adubação mineral e três doses de lodo), verificou a movimentação de NO₃⁻ para as camadas subsuperficiais do solo em função das altas intensidades de chuvas, diferindo em 25% na média da testemunha.

5 CONCLUSÕES

O pH da solução do solo não foi influenciado pela substituição da adubação nitrogenada química por lodo de esgoto nas profundidades de 0-20 e 20-40cm, mantendo-se dentro da faixa considerada ideal para a cultura da banana.

Os tratamentos T1 e T2 que utilizavam maiores quantidades de N químico (uréia) apresentaram índices de condutividade elétrica (CE) superiores aos tratamentos que utilizavam maiores quantidades de LE (T3, T4, T5 e T6), devido ao rápido processo de disponibilização destas formas minerais.

Foram encontrados elevados teores de NH_4^+ e NO_3^- na solução do solo estudado para os tratamentos T1 e T2, evidenciando os riscos de contaminação dos lençóis freáticos pela lixiviação principalmente do NO_3^- quando se utilizam fontes minerais de N.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO NETO, M.J. A cultura da bananeira. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, n.133, p.1, 1986.

ANDRADE, C.A.; MATTIAZZO, M.E. Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n.58, p.59-72, 2000.

ANDRADE, C.A. Nitratos e metais pesados em solos e plantas de *Eucalyptus grandis* após aplicação de biossólidos da ETE Barueri. Piracicaba, 1999. 65 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.

ANDREOLI, C.V. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema. 1999. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ANJOS, A.R.M. Lixiviação de espécies químicas em Latossolos sucessivamente tratados com biossólido e disponibilidade de metais pesados para plantas de milho. Piracicaba, 1999. 191p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

ARENAS, M.T.L.; MEJIAS, R.J.; TORRES, F.M. et al. Estimation of the evolution in time of the salts of the soil solution by means of suction cups (compact disc). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATER QUANTITY AND QUALITY ON GREENHOUSE HORTICULTURE, Almeria, 1996. **Proceedings**. Almeria: ICIA, ISHS, SECH, 1996.

ASCHMANN, S.G.; MCINTOSH, M.S.; ANGLE, J.S.; HILL, R.L. Nitrogen movement under a hardwood forest with liquid waste-water sludge. **Agricultura, Ecosystems & Environment**, v.38, n.4, p.249-263, 1992.

BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I.C.B. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho eutroférico após aplicação por dois anos consecutivos de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, n.5, p.1501-1505, 2002b.

BARKER, D. **Planejamento e análise estatística de experimentos agrônômicos**. 1. ed. Piracicaba, ESALQ; FEALQ, 1994. 135p.

BARRETO, A.N.; GOES, E.S.; SILVA, J.F.; ALMEIDA, A.M. **Uso do tanque classe “A” na determinação da lâmina de irrigação para a cultura da bananeira**. In: EMBRAPA (Brasília, DF). Síntese de tecnologias geradas pelo Sistema Embrapa. Brasília, 1983. p.694.

BARRETO, M.C.V. Degradação da fração orgânica de diferentes resíduos e efeitos em algumas propriedades químicas e físicas de dois solos. Piracicaba, 1995. 106p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BASTOS, R.K.X. Fertirrigação com águas residuárias. In: WORKSHOP DE FERTIRRIGAÇÃO, 1, **Anais**. Piracicaba, p.279-291, 1999.

BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.187-192, 1989.

BERTONCINI, E.I. Mobilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. Piracicaba, 1997. 90p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BISCAIA, R.C.M.; MIRANDA, G.M. **Uso do lodo de esgoto calado na produção do milho** – SANAPE, v.5, p.86-89, 1996.

BOEIRA, R.C. (s. d.) **Reutilização de lodo de esgoto como adubo nitrogenado: risco ou benefício ao meio ambiente?**, 2000. www.boletimpecuario.com.br (17/02/2006).

BRIGGS, L.J., McCALL, A.G. An artificial root for inducing capillary movement of soil moisture. **Science**, v.20, p.566-569, 1904.

BORGES, A.L.; SILVA, T.O. da. Adubação nitrogenada para bananeira terra (*Musa sp.* AAB, subgrupo Terra). **Revista brasileira de fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.189-193, 2002.

BOYD, S.A.; SOMMERS, L.E.; NELSON, D.W. Changes in the humic acid fraction of soil resulting from sludge application. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p. 1179-1186, 1980.

BUDELMAN, A. The decomposition of the leaf mulches of *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* and *Flemingia macrophylla* under humid tropical conditions. **Agroforest Systems**, v.7, p.33-45, 1988.

BURGEÑO, H. **La fertirrigacion em cultivos hortícolas com acolchado plástico**. Culiacan: BURSAR, 1996. v.1, 45p.

CAMERON, K.C.; DI, H.J.; McLAREM, R.G. Is soil na appropriate dumping ground for our wastes? **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.995-1035, 1997.

CARVALHO, J.G. de; PAULA, M.B. de; NOGUEIRA, F.D. Nutrição e adubação da bananeira. **A cultura da bananeira**. Informe agropecuário, Belo Horizonte, n.133, p.20-32, 1986.

CARVALHO, W.A.; ESPÍNDOLA, C.R.; PACCOLA, A.A. **Levantamento de solos da Fazenda Lageado** – Estação Experimental “Presidente Médici”. Boletim Científico – Faculdade de Ciências Agronômicas, v.1, p.1-95, 1983.

CATTELAN, A.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função da variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.125-132, 1990.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA E GESTÃO AMBIENTAL E URBANA. **Utilização agrícola do lodo de esgoto como fertilizante**. 2001. www.bis.com.br/inilivre/centro/experiência/015 (17/02/2007)

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.317-326, 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 375 sobre a disposição de lodo de esgoto ao solo. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em 20 de abril de 2007.

CORDEIRO, Z.J.M. Introdução. In: Banana. Produção: aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p.9. (**Frutas do Brasil; 1**).

COX, D.A. Pelletized sewage sludge as fertilizer for containerizer plants: plant growth and nitrogen leaching losses. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, n.12, p.2783-2795, 1995.

CUNHA, A.R.; KLOSOWSKI, E.S.; GALVANI, E.; SCOBEDO, J.F.; MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu-SP, segundo Koppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., 1999, Botucatu. Anais... Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999. p.487-491.

DAHLGREN, R.A. Comparison of soil solution extraction producers: effect on solute chemistry. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.24, p.1783-1794, 1993.

DAMATO JUNIOR, E.R.; VILLAS BÔAS, R.L.; LEONEL, S.; FERNANDES, D.M. Avaliação nutricional em folhas de bananeiras 'Prata-Anã' adubadas com composto orgânico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, n.1, p.109-112, 2006.

DONEEN, L.D. Salinization of soil by salts in the irrigation water. **Transactions of the American Geophysics Union**, v.35, p.943-950, 1975.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. Efeitos da água no rendimento das culturas. Roma: **FAO**, 1994. 212p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

ELKHATIB, E.A.; HERN, J.L.; STANLEY, T.E. A rapid centrifugation method for obtaining soil solution. **Soil Science Society of America Journal**, v.51, p.578-583, 1987.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SOLOS, 1999. 412p.

EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas. São Paulo: EDUSP; Rio de Janeiro: **Livros Técnicos e Científicos**, 1975. 341p.

EPSTEIN, E; TAYLOR, J.M.; CHANEY, R.L. Effects of sewage sludge compost applied to soil on some physical and chemical properties. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.5, p.422-426, 1976.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin, Springer-Verlag. 224p, 1991.

FERNANDES, F. **Levantamento das produções e plano básico para a gestão do lodo de esgoto gerado pela Sanepar**. Curitiba: SANEPAR, 1998. (Relatório Técnico).

FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; JÜRGENSEN, D. **Produção e características dos biossólidos**. In: Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999.

GERKE, H.H.; ARNING, M.; STOPPLER-ZIMMER, H. Modeling long-term compost determination of nitrate and nitrite by flow-injection analysis. **Plant and Soil**, v.213, n.1-2, p.75-92, 1999.

GILLMAN, G.P. **A centrifuge method for obtaining soil solution**. Melbourne: CSIRO, Division Soil Report, 1976. 16p.

GLÓRIA, N.A. **Resíduos industriais como fonte de matéria orgânica**. In: ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: PROBLEMAS E SOLUÇÕES, Botucatu, 1992. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1992. p.129-148.

HANSEN, E.M. Studies of the chemical composition of isolated soil solution and the cation absorption by plants. I. Relationship between form and amount of added nitrogen and absorption of N, K, Ca and Mg by barley. **Plant and Soil**, v.37, p.589-607, 1972.

HARRISON, R.B.; REIS, M.G.F.; REIS, G.F.; GONÇALVES, J.L.M.; HENRY, C.L.; COLE, D.W.; KING, R.; LEONARD, P.; COMPTON, J.; XUEL, D. Closing the loop: the rule of harvesting and transportation in maintaining productivity and returning organic waste to the forest. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 9., Curitiba, 1996. **Anais**. Curitiba: UFPR, 1996. p.101-118.

HIROCE, R.; CARVALHO, A.M. de; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; FURLANI, A.M.C.; SANTOS, R.R. dos & GALLO, J.R. Composição mineral de frutos tropicais na colheita. **Bragantia**, v.36, n.14, p.155-164, 1977.

HOYT, P.B.; TURNER, R.C. Effect of organic materials added to very acid soils on pH, aluminum, exchangeable NH₄ and crop yields. **Soil Science**, v.119, p.227-37, 1975.

HUNTER, D.J.; YAPA, L.G.G.; HUE, N.V.; EAQUB, M. Comparative effects of green manure and lime on the growth of sweet corn and chemical properties of an acid oxisol in Western Samoa. **Commun. Sci. Plant anal**, v.26, p.375-88, 1995.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: www.ibge.com.br. Acesso em: 22 de maio de 2007.

INMAN, J.C.; McINTOSH, M.S.; FOSS, J.E.; WOLF, D.C. Nitrogen and phosphorus movement in compost-amended soils. **Journal of Environmental Quality**, v.11, p.529-532, 1982.

JORGE, J.A.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.15, p.237-240, 1991.

KELLER, J., KARMELI, D. **Trickle irrigation design. S.1:** Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133p.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres. 1985. 492p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia:** relações solo planta. São Paulo: Ceres, 1979. 264p.

LAHAV, E.; TURNER, D.W. **Banana nutrition**, Bern: International Potash Institute, 1983, 62p. (IPI. Bulletin, 7).

LANARV – LABORATÓRIO NACIONAL DE REFERENCIA VEGETAL – **Análise de Corretivos Fertilizantes e Inoculantes:** Métodos Oficiais. Ministério da Agricultura – Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária: 1988, 104p.

LÉON SUEMATSU, G.; MOSCOSO CAVALLINI, J. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Campina Grande: UFPA, 1999. 109p.

LISBOA, C.C. Nitrogênio e adubação orgânica: lixiviação, efeito homeopático, mineralização e métodos de determinação de nitrato. Lavras, 2004. 142p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Lavras, 2004.

LOGAN, T.J.; HARRISON, B.J.; McAVOY, D.C.; GREFF, J.A. Effects of olestra in sewage sludge on soil physical properties. **Journal of Environmental Quality**, v.25, p.153-161, 1997.

MEDALIE, L.; BOWDEN, W.B.; SMITH, C.T. Nutrient leaching following land application of aerobically digested municipal sewage sludge in Northern Hardwood Forest. **Journal of Environmental Quality**, v.23, n.1, p.130-138, 1994.

MELO, L.A.S.; LIGO, M.A. V. Uso de lodo de esgoto em bananicultura: efeitos de doses no primeiro ano de aplicação. **Revista Científica Rural**, v.11, n.2, p.33-38, 2006.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. Cap. 11.: In: **Biossólidos na agricultura**, 2001. 486p.

MELO, W.J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.) **Impacto Ambiental do uso agrícola de lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap. 5, p.109-142.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.S. Efeitos de doses crescentes de lodo de esgoto sobre as frações de matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.449-455, 1994.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais (**compact disc**). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. Rio de Janeiro, 1997.

MITCHELL, D.S.; EDWARDS, A.C.; FERRIER, R.C. Changes in fluxes of N and P in water draining a stand of Scots pine treated with sewage sludge. **Forest Ecology and Management**, v.139, n.1/3, p.203-213, 2000.

MIYAZAWA, M.. PAVAN, M.A.; SANTOS, J.C.F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, Belo Horizonte, 1987. **Resumos**. Belo Horizonte, SBCS; EMBRAPA-CPAC, 1987, p.8.

MOBRICCI, C.A. de NADAI. Adubação mineral, esterco de curral e lodo de esgoto no desenvolvimento inicial do cafeeiro, Botucatu, 2006. 64p. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2006.

MOREIRA, R.S. **Banana: teoria e prática de cultivo**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 335p.

MOREIRA, R. IAC 2001 – um 'Nanicão' resistente à sigatoka amarela é resistente também à sigatoka-negra. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.15, n.2, p.18-19, 2002.

MOURA, A.O.B. Avaliação do pH e da CE da água de irrigação submetida a diferentes doses e tipos de adubos. 1994. 92p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia de Mossoró, Mossoró, 1994.

NIELSEN, N.E.; HANSEN, E.M. Macro nutrient cation uptake by plants. II. Effects of plant species, nitrogen concentration in the plant, cation concentration, activity and activity ratio in soil solution. 1984. **Plant and Soil**, v.77, p.347-365, 1984.

NORVELL, W.A.; LINDSAY, W.L. Estimation of the concentration of Fe^{3+} and the $(Fe^{3+})(OH^{-})_3$ ion product from equilibria of EDTA in soil. **Soil Science Society of America Journal**, n.46, p.710-715, 1982.

OLIVEIRA, F.C. Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Piracicaba, 2000. 247p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; PERECIN, D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52, n.2, p.360-367, 1995.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; MORAES, S.O. Lixiviação de nitrato em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, v.58, n.1, p.171-180, 2001.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.505-519, 2002.

PADOVANI, M.I. **Banana: um mercado crescente para este alimento milenar**. São Paulo, SP: Ícone. 1986. p.104.

PAKER, F.W. Methods of studying the concentration and composition of the soil solutions. **Soil Science**, v.12, p.209-232, 1921.

PAVAN, M.A. **Avaliação de esterco de bovino biodigerido e curtido na fertilidade do solo e na nutrição e produção do cafeeiro**. Londrina: IAPAR, 1993. 16p. (IAPAR. Boletim Técnico, 45).

PEÑA, I. de la. **Salinidad de los suelos agrícolas: su origen, clasificación, prevención y recuperación.** México: SARH, 1986. 131p. (Boletim Técnico, 10).

PEREIRA, A.R.P.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração.** Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREZ, F.P.Z. A influência da época de seleção do rebento sobre o desenvolvimento das plantas matrizes em bananeira *Musa cavendish* Lamb. Vc. Nanicão. Piracicaba, 1972. 58p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

POGGIANI, F.; GUEDES, M.C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade do biossólido em plantações florestais. 1-Reflexos no ciclo de nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Jaguariúna: Embrapa, 2000. p.163-178.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas, Instituto Agronômico. 284p. 2001.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico 100).

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação.** São Paulo: IAC, 1991.

RAIJ, B., QUAGGIO, J.A. **Métodos de análises de solo para fins de fertilidade.** Boletim Técnico do Instituto Agronômico de Campinas, n.81, p.1-31, 1983.

REEVE, R.C.; DOERING, E.J. Sampling the soil solution for salinity appraisal. **Soil Science**, n.99, p.339-344, 1965.

RICHARDS, L.A. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. **Soil Science**, v.51, n.5, p.377-386, 1941.

RICHARDS, L. A. (Ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. (USDA Agriculture Handbook, 60).

RING, E. Experimental N fertilization of Scots pine: effects on solution chemistry 8 years after final felling. **Forest Ecology and Management**, v.188, p.91-99, 2004.

ROCHA, G.N. Monitoramento da fertilidade do solo, nutrição mineral e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. Piracicaba, 2002. 48p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

ROCHA, T.R. Utilização de lodo de esgoto na agricultura: um estudo de caso para as bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SANTOS, D.S.; ANDRADE, C.A.; MATTIAZZO, M.E. Degradação da fração orgânica de lodos de esgoto após aplicação no solo (compact disc). In: FERTIBIO, Rio de Janeiro, 2002. **Resumos**. Rio de Janeiro: SBCS; SBM; UFFRJ, 2002.

SANTOS, H.F. Aplicação do lodo de estações de tratamento de esgoto em solos agrícolas. **Revista DAE**, v.39, n.122, p.31-48, 1979.

SANTOS, J.G.R. dos. **A salinidade na agricultura irrigada: teoria e prática**. Campina Grande: [s.n.], 2000. 171p.

SHEPHERD, M.A. Factors affecting nitrate leaching from sewage sludges applied to a sandy soil in arable agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.58, p.171-185, 1996.

SILVA, E.F.F.; CAMARGO, M.S.; DUARTE, S.N. et al. Extratores providos de cápsula cerâmica e a determinação do nitrato solúvel num solo cultivado com aster (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, Fortaleza, 2000. **Anais**: SBEA, 2000.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.1, p.1-8, 1998.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; MENDONÇA, E. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.5, p. 831-840, 2001.

SILVA, F.C. Uso agrônômico de lodo de esgoto: efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana-de-açúcar. Piracicaba, 1995. 170p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SILVA, S. de O. e; ALVES, E.J.; SHEPHERD, K.; DANTAS, J.L.L. Cultivares. In: ALVES, E.J. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2ed., rev. Brasília: Embrapa-SPI / Cruz das Almas: Embrapa-CNPMP, 1999. p.85-106.

SIMONETE, M.A. Alterações nas propriedades químicas de um Argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho. Piracicaba, 2001. 89p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; ANDRADE, C.A.; TEIXEIRA, C.F.A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.10, p.1187-1195, 2003.

SIQUEIRA, D.L. Variabilidade e correlação de caracteres em clones de bananeira "Prata". Lavras, 1984. 66p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras.

SMETHURST, P.J. Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: a review. **Forest Ecology and Management**, v.138, p.397-411, 2000.

SOARES, M.T.S. Taxas de mineralização e de lixiviação do nitrogênio, e alterações na fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo degradado e outro não degradado fertilizados com biossólido e florestados com *Eucalyptus grandis*. Piracicaba, 2003. 142p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SPOSITO, G. **The thermodynamics of soil solutions**. New York: Oxford University Press, 1981. 223p.

STARK, N.; JORDAN, C.F. Nutrient retention in the root mat of an Amazonian rain. **Forest Ecology**, v.59, p.404-432, 1978.

TAVARES, D. Lodo que vira adubo. **Globo Rural**, n.210, p.58-61, 2003.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TERRY, R.E.; NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Nitrogen transformation in sewage sludge amended soils as affected by soil environmental factors. **Soil Science Society of American Journal**, v.45, n.3, p.506-513, 1981.

TRIGUEIRO, R.M. Uso de biossólidos como substrato para produção de mudas de pinus e eucalipto. Botucatu, 2002. 83p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

TRINDADE, A.V. **O cultivo da banana**, EMBRAPA 1997, p. 13-89.

TSUTYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa, 2000. Cap. 4, p.69-106.

VIEIRA, R.F.; CARDOSO, A.A. Variações nos teores de nitrogênio mineral em solo suplementado com lodo de esgoto, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.7, p.867-874, 2003.

YANAI, J.; LINEHAN, D.J.; ROBINSON, D.; HACKETT, C.A.; KYUMA, K.; KOSAKI, T. Effects of inorganic nitrogen application on the dynamics of the soil solution composition in the root zone of maize. **Plant and Soil**, v.180, p.1-9, 1996.

WOLT, J.D.; RHODES, G.N.; GRAVEL, J.G. et al. Activity of imazaquin in soil solution as affected by incorporated wheat (*Triticum aestivum*) straw. **Weed Science**, v.37, p.254-258, 1989.

WOLT, J.D. **Soil solution chemistry: applications to environmental science and agriculture**. New York: Wiley, 1994. 345p.

WONG, M.T.F.; AKEAMPONG, E.; NORTCLIFF, S.; RAO, M.R.; SWIFE, R.S. Initial responses of maize and beans to decreased concentrations of monomeric inorganic aluminium with application of manure or tree prunings to an oxisol in Burundi. **Plant Soil**, v.171, p.275-82, 1995.

ANEXO I

Tabela 9. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, anterior a 1ª adubação em cobertura (30/03/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	6,69	212
75	25	6,55	422
50	50	6,62	224
25	75	6,07	183
0	100	6,88	280
0	125	5,80	1516
Média		6,55	509,39
F _c		1,40 ^{NS}	2,04 ^{NS}
CV(%)		10,17	144,24

Tabela 10. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, anterior a 1ª adubação em cobertura (30/03/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	6,86	94
75	25	7,23	306
50	50	6,92	258
25	75	7,10	206
0	100	6,74	244
0	125	6,58	249
Médias		7,05	224
F _c		1,13 ^{NS}	1,36 ^{NS}
CV (%)		5,79	50,06

Tabela 11. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, dois dias após a primeira adubação (4/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	6,69	336
75	25	6,63	1001
50	50	5,63	991
25	75	6,37	879
0	100	6,64	487
0	125	5,55	620
Médias		6,44	719
F _c		1,36 ^{NS}	0,63 ^{NS}
CV (%)		11,57	84,14

Tabela 12. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, dois dias após a primeira adubação (4/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	7,16	575
75	25	7,36	271
50	50	6,67	377
25	75	7,02	228
0	100	6,72	266
0	125	6,84	279
Médias		7,00	332
F _c		1,20 ^{NS}	1,11 ^{NS}
CV (%)		4,76	63,65

Tabela 13. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, dez dias após a primeira adubação (12/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH [#]	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	6,98 c	2359
75	25	5,87 bc	3885
50	50	4,71 a	918
25	75	5,52 ab	1313
0	100	5,94 bc	695
0	125	5,10 ab	793
Média		5,61	1660
F _c		9,32 [#]	0,77 ^{NS}
CV (%)		9,39	148

[#] letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 14. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, dez dias após a primeira adubação (12/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	6,78	717
75	25	6,50	2048
50	50	6,07	476
25	75	6,42	224
0	100	6,41	497
0	125	6,53	283
Média		6,44	707
F _c		2,93 ^{NS}	2,03 ^{NS}
CV (%)		6,33	116,65

Tabela 15. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, dezoito dias após a primeira adubação (20/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE # ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	5,29	4630 b
75	25	5,28	1245 a
50	50	4,46	818 a
25	75	5,68	1180 a
0	100	4,99	943 a
0	125	4,52	1356 a
Média		4,94	1695
F _c		2,20 ^{NS}	5,23
CV (%)		12,61	64,77

letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 16. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, dezoito dias após a primeira adubação (20/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	6,43	1236
75	25	6,89	2367
50	50	5,67	811
25	75	5,97	522
0	100	5,65	733
0	125	6,38	297
Média		6,05	994
F _c		0,71 ^{NS}	1,63 ^{NS}
CV (%)		15,07	100,97

Tabela 17. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, vinte e quatro dias após a primeira adubação (26/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	4,57	2839
75	25	4,98	2145
50	50	4,35	2350
25	75	4,97	2099
0	100	4,79	1468
0	125	4,52	1136
Média		4,77	2006
F _c		1,25 ^{NS}	0,31 ^{NS}
CV (%)		13,05	95,21

Tabela 18. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, vinte e quatro dias após a primeira adubação (26/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	5,16	1529
75	25	6,41	2924
50	50	5,28	593
25	75	6,34	235
0	100	5,62	719
0	125	6,15	275
Média		5,77	1046
F _c		1,70 ^{NS}	2,40 ^{NS}
CV (%)		11,54	110,30

Tabela 19. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, quatro dias após a segunda adubação (8/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	5,54	4800
75	25	4,79	2308
50	50	4,49	1689
25	75	5,31	4990
0	100	5,17	2068
0	125	4,57	1498
Média		4,94	2892
F _c		0,70 ^{NS}	3,17 ^{NS}
CV (%)		18,46	53,06

Tabela 20. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, quatro dias após a segunda adubação (8/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	5,55	1895
75	25	6,29	3420
50	50	5,32	497
25	75	6,42	306
0	100	5,63	1115
0	125	5,62	430
Média		5,77	1277
F _c		1,86 ^{NS}	2,78 ^{NS}
CV (%)		9,99	97,91

Tabela 21. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, doze dias após a segunda adubação (16/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE # ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	4,87	7255 c
75	25	5,04	2187 ab
50	50	4,38	3750 b
25	75	4,87	6710 c
0	100	4,81	1942 ab
0	125	5,13	934 a
Média		4,83	3796
F _c		0,38 ^{NS}	29,38
CV (%)		16,17	21,94

letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 22. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, doze dias após a segunda adubação (16/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	5,34	2566
75	25	6,11	2122
50	50	5,08	1068
25	75	6,15	301
0	100	5,13	1114
0	125	5,60	729
Média		5,55	1317
F _c		1,33 ^{NS}	1,04 ^{NS}
CV (%)		14,70	110,50

Tabela 23. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, vinte dias após a segunda adubação (24/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	5,78	9200
75	25	5,05	4553
50	50	4,87	6743
25	75	5,20	4926
0	100	5,28	2256
0	125	4,49	2425
Média		5,11	5017
F _c		0,51 ^{NS}	1,86 ^{NS}
CV (%)		21,36	66,98

Tabela 24. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, vinte dias após a segunda adubação (24/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	5,56	3740
75	25	6,17	1820
50	50	5,44	1543
25	75	6,06	1027
0	100	5,31	1064
0	125	5,73	820
Média		5,66	1669
F _c		0,68 ^{NS}	0,94 ^{NS}
CV (%)		15,56	115,10

Tabela 25. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 20 cm, vinte e seis dias após a segunda adubação (30/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	5,01	7427
75	25	4,49	4802
50	50	5,00	5914
25	75	5,27	4513
0	100	5,12	2906
0	125	4,98	2763
Média		5,00	4721
F _c		1,20 ^{NS}	1,48 ^{NS}
CV (%)		11,55	53,71

Tabela 26. Média dos valores obtidos para pH e CE na solução do solo, a 40 cm, vinte e seis dias após a segunda adubação (30/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		pH	CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	5,41	3722
75	25	5,86	1646
50	50	5,43	1562
25	75	5,53	1023
0	100	5,40	1367
0	125	5,56	1234
Média		5,38	1759
F _c		0,16 ^{NS}	1,16 ^{NS}
CV (%)		10,71	90,28

ANEXO II

Tabela 27. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, anterior a 1ª adubação em cobertura (30/03/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		$\text{NH}_4^{+\#}$ (mg L^{-1})	$\text{NO}_3^{-\#}$ (mg L^{-1})
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	1,68 a	0,28 a
75	25	14,84 ab	2,10 ab
50	50	8,21 ab	2,43 b
25	75	2,10a	1,54 ab
0	100	7,56ab	0,28 ab
0	125	18,20 b	4,90 c
Médias		8,84	1,85
F_c		4,50	13,58
CV (%)		60,90	45,36

letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 28. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, anterior a 1ª adubação em cobertura (30/03/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+ (mg L^{-1})	NO_3^- (mg L^{-1})
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	5,60	0,28
75	25	11,06	1,82
50	50	9,98	1,31
25	75	6,81	3,82
0	100	4,20	0,84
0	125	5,41	1,49
Médias		7,20	1,57
F_c		2,90 ^{NS}	1,19 ^{NS}
CV (%)		38,49	124,26

Tabela 29. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, dois dias após a primeira adubação (4/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+ (mg L^{-1})	NO_3^- (mg L^{-1})
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	1,03	13,02
75	25	8,96	24,82
50	50	14,42	39,62
25	75	1,68	30,71
0	100	1,03	8,59
0	125	0,09	18,48
Médias		4,53	22,54
F_c		1,49 ^{NS}	1,49 ^{NS}
CV (%)		182,19	72,40

Tabela 30. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, dois dias após a primeira adubação (4/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+	NO_3^- [#]
N-mineral (%)	N-orgânico (%)	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})
100	0	15,82	8,54 b
75	25	0,84	13,72 ab
50	50	2,98	6,81 ab
25	75	0,47	8,49 ab
0	100	1,68	6,86 ab
0	125	0,28	5,22 ab
Médias		3,47	8,27
F_c		2,64 ^{NS}	3,37 ^{NS}
CV (%)		189,22	33,51

[#] letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 31. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, dez dias após a primeira adubação (12/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+ [#]	NO_3^-
N-mineral (%)	N-orgânico (%)	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})
100	0	141,40 b	32,62
75	25	0,28 a	60,02
50	50	14,93 a	48,72
25	75	1,77 a	62,62
0	100	0,84 a	9,38
0	125	0,65 a	14,56
Médias		26,64	37,98
F_c		5,16 ^{NS}	1,27 ^{NS}
CV (%)		161,62	98,02

[#] letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 32. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, dez dias após a primeira adubação (12/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+	NO_3^- [#]
N-mineral (%)	N-orgânico (%)	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})
100	0	27,16	11,11 ab
75	25	8,26	38,08 b
50	50	8,58	22,68 ab
25	75	0,42	7,98 a
0	100	1,86	10,36 a
0	125	0,65	7,37 a
Médias		7,82	15,99
F_c		0,84 ^{NS}	4,52
CV (%)		245,44	62,24

[#] letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 33. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, dezoito dias após a primeira adubação (20/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+ [#] (mg L^{-1})	NO_3^- (mg L^{-1})
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	110,04 b	244,30
75	25	78,68 ab	79,80
50	50	64,40 ab	14,56
25	75	48,58 ab	0,56
0	100	23,66 b	1,12
0	125	36,49 ab	4,57
Médias		60,28	57,51
F _c		3,55	2,87 ^{NS}
CV (%)		47,58	171,08

[#] letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 34. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, dezoito dias após a primeira adubação (20/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+ (mg L^{-1})	NO_3^- (mg L^{-1})
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	53,62	56,70
75	25	83,58	27,62
50	50	27,16	18,67
25	75	13,30	4,20
0	100	20,25	1,02
0	125	7,84	0,19
Médias		34,29	18,06
F _c		2,15 ^{NS}	2,09 ^{NS}
CV (%)		99,57	144,87

Tabela 35. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, vinte e quatro dias após a primeira adubação (26/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+ [#] (mg L^{-1})	NO_3^- [#] (mg L^{-1})
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	133,28 b	279,77 b
75	25	82,23 ab	27,62 a
50	50	88,76 ab	42,28 ab
25	75	54,46 ab	17,50 a
0	100	40,84 ab	11,76 a
0	125	30,05 a	0,19 a
Médias		76,61	63,17
F _c		3,48	4,08
CV (%)		42,25	145,19

[#] letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 36. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, vinte e quatro dias após a primeira adubação (26/4/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+ (mg L^{-1})	NO_3^- (mg L^{-1})
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	89,88	60,90
75	25	97,44	30,30
50	50	21,84	10,92
25	75	12,18	0,60
0	100	35,42	1,12
0	125	11,48	0,18
Médias		44,70	17,34
F _c		2,21 ^{NS}	1,89 ^{NS}
CV (%)		101,53	176,36

Tabela 37. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, quatro dias após a segunda adubação (8/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+ [#] (mg L^{-1})	NO_3^- [#] (mg L^{-1})
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	238,74 b	218,21 b
75	25	82,88 ab	156,33 ab
50	50	22,77 ab	77,65 ab
25	75	73,92 ab	59,45 ab
0	100	0,70 a	75,04 ab
0	125	0,00 a	47,21 b
Médias		69,76	105,72
F _c		3,83	3,74
CV (%)		114,32	56,79

[#] letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 38. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, quatro dias após a segunda adubação (8/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+ [#] (mg L^{-1})	NO_3^- [#] (mg L^{-1})
N-mineral (%)	N-orgânico (%)		
100	0	72,61	110,50 ab
75	25	50,96	246,21 b
50	50	1,30	23,52 ab
25	75	0,20	16,05 a
0	100	0,00	37,42 ab
0	125	0,00	24,45 ab
Médias		20,72	76,38
F _c		1,51 ^{NS}	3,48
CV (%)		221,73	109,52

[#] letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 39. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, doze dias após a segunda adubação (16/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+ [#]	NO_3^- [#]
N-mineral (%)	N-orgânico (%)	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})
100	0	352,72 b	307,08 b
75	25	20,16 a	103,88 a
50	50	39,76 a	60,29 a
25	75	58,89 a	88,48 a
0	100	1,40 a	56,14 a
0	125	0,00 a	33,41 a
Médias		78,79	108,29
F _c		14,93	6,71
CV (%)		77,41	62,02

[#] letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 40. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, doze dias após a segunda adubação (16/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+	NO_3^-
N-mineral (%)	N-orgânico (%)	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})
100	0	114,8	116,10
75	25	21,00	161,42
50	50	21,28	27,53
25	75	1,12	16,38
0	100	0,70	31,78
0	125	0,00	21,18
Médias		26,43	62,47
F _c		1,21 ^{NS}	1,93 ^{NS}
CV (%)		265,35	122,04

Tabela 41. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, vinte dias após a segunda adubação (24/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+ [#]	NO_3^- [#]
N-mineral (%)	N-orgânico (%)	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})
100	0	298,00 c	296,50 c
75	25	155,50 b	171,00 bc
50	50	329,50 c	143,00 ab
25	75	47,50 ab	104,50 ab
0	100	0,00 a	41,50 a
0	125	14,00 a	93,50 ab
Médias		140,75	141,67
F _c		29,01	10,60
CV (%)		33,13	32,98

[#] letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 42. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, vinte dias após a segunda adubação (24/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+	NO_3^-
N-mineral (%)	N-orgânico (%)	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})
100	0	49,35	113,64
75	25	18,54	196,58
50	50	20,12	73,00
25	75	0,00	31,24
0	100	0,00	40,50
0	125	0,00	24,31
Médias		14,80	79,91
F_c		2,10 ^{NS}	2,16 ^{NS}
CV (%)		156,52	97,36

Tabela 43. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 20 cm, vinte e seis dias após a segunda adubação (30/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		$\text{NH}_4^{\#}$	NO_3^-
N-mineral (%)	N-orgânico (%)	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})
100	0	324,00 c	227,00
75	25	139,33 bc	189,25
50	50	289,67 c	173,64
25	75	63,34 ab	150,67
0	100	9,65 a	101,35
0	125	49,00 a	166,43
Médias		145,83	167,88
F_c		29,06	3,51 ^{NS}
CV (%)		92,72	29,81

[#] letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 44. Resultados médios das frações amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) na solução do solo, a 40 cm, vinte e seis dias após a segunda adubação (30/5/2007), a 0,05 de significância.

Tratamento		NH_4^+	NO_3^-
N-mineral (%)	N-orgânico (%)	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})
100	0	62,66	86,67
75	25	23,45	154,32
50	50	35,67	79,64
25	75	2,68	33,46
0	100	1,23	56,67
0	125	0,00	31,00
Médias		21,00	73,61
F_c		1,50 ^{NS}	1,77 ^{NS}
CV (%)		168,23	80,77