

RENATO FARIAS DO VALLE JÚNIOR

EFEITO DA APLICAÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO SOBRE A  
DISPONIBILIDADE REAL DE ÁGUA DE UM LATOSSOLO VERMELHO  
ESCURO SOB CERRADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do Curso de  
Mestrado em Engenharia Agrícola, área de  
concentração Irrigação e Drenagem, para obtenção  
do título de "Mestre".

Orientador

Prof. LUIZ ANTÔNIO LIMA

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1995

REYNATO JARIS DO VALLE J. N. 08

EFETIVO DA PALE (CA) DE HIBRIDOS E SODIO SOBRE A  
DISPONIBILIDADE DE A TRAVEZ DA LATA NO 07/1981/10  
ES 1980 W/8 CERRADO

[REDACTED]

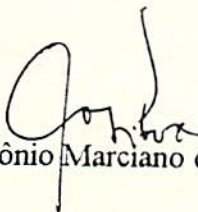


RENATO FARIAS DO VALLE JÚNIOR

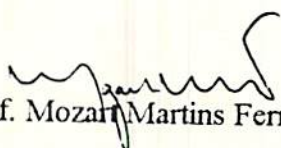
EFEITO DA APLICAÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO SOBRE A  
DISPONIBILIDADE REAL DE ÁGUA DE UM LATOSSOLO VERMELHO  
ESCURO SOB CERRADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do Curso de  
Mestrado em Engenharia Agrícola, área de  
concentração Irrigação e Drenagem, para obtenção  
do título de "Mestre".

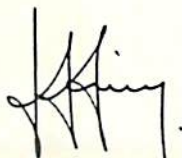
APROVADA em 11 de janeiro de 1995



Prof. Antônio Marciano da Silva



Prof. Mozart Martins Ferreira



Prof. Luiz Antônio Lima

A Deus, pois “.... Tua, Senhor, é a grandeza, o poder, a honra,  
a vitória e a majestade; porque teu é tudo quanto há nos céus  
e na terra....”

#### Ofereço

A meus pais , que me deram, com muito amor, um exemplo  
de vida, força e coragem ;

A minha esposa Cristiane, pelo apoio, compreensão e amor ;

A meu filho Lucas, que me ajudou a ver como a vida é bela.

#### Dedico

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha vida ;

A Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade oferecida para realização do Curso de Mestrado;

A Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos;

Ao Centro de Pesquisa Agropecuário dos Cerrados (CPAC - EMBRAPA), pelo incentivo e suporte fornecido para a execução desta Tese;

Ao Professor Luiz Antônio Lima, pela orientação , amizade e ensinamentos.

Ao Pesquisador Euzébio Medrado da Silva, pela orientação, e sugestões prestadas.

Ao Professor Mozart Martins Ferreira, pela orientação e auxílio prestado.

Ao Professor Marcelo Silva de Oliveira, pela orientação estatística.

Aos Professores Antônio Marciano da Silva, Manuel Alves de Faria e Alberto Colombo pelas valiosas sugestões.

Aos Funcionários do Departamento de Engenharia da (UFLA) e do setor de solos do (CPAC-EMBRAPA), pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Aos Colegas de Mestrado Luiz Artur, Maria Rute, Silvio Cesar, Luiz Gonzaga, José Antônio, João Carlos, Marcos Vinícius, Marcos Metri, Osvaldo, Áureo Rodrigues, José Aparecido, Edio, João Bosco, pela convivência, apoio e companheirismo.

A todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

|                                                                                | Página |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------|
| LISTA DE TABELAS.....                                                          | x      |
| LISTA DE FIGURAS.....                                                          | xv     |
| RESUMO.....                                                                    | xviii  |
| SUMARY.....                                                                    | xx     |
| 1- INTRODUÇÃO.....                                                             | 1      |
| 2- REFERENCIAL TEÓRICO.....                                                    | 3      |
| 2.1 - O efeito do sódio na agregação e retenção de água no solo.....           | 3      |
| 2.2 - A influência dos óxidos de Ferro e Alumínio no solo.....                 | 4      |
| 2.3 - Influência do Hidróxido de Sódio na Condutividade Hidráulica do Solo...6 |        |
| 2.4 - pH.....                                                                  | 7      |
| 2.5 - Capacidade de troca de cátions (CTC).....                                | 8      |
| 3 - HIPÓTESE.....                                                              | 9      |
| 4 - MATERIAL E MÉTODO.....                                                     | 10     |
| 4.1 - O tratamento hidróxido de sódio (NaOH).....                              | 10     |
| 4.2 - Localização do experimento.....                                          | 12     |
| 4.3 - Características preliminares do solo.....                                | 13     |
| 4.4 - O delineamento estatístico.....                                          | 14     |
| 4.5 - A unidade experimental.....                                              | 15     |
| 4.6 - Coleta de dados.....                                                     | 15     |
| 4.7 - Métodos de análise das variáveis físicas do solo.....                    | 16     |
| 4.7.1 - Densidade aparente.....                                                | 16     |

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.7.2 - Análise textural e argila dispersa em água.....                       | 17 |
| 4.7.3 - Condutividade hidráulica saturada.....                                | 17 |
| 4.7.4 - Curva característica de água no solo.....                             | 18 |
| 4.7.5 - Resistência à penetração.....                                         | 19 |
| 4.7.6 - Microporosidade e Macroporosidade.....                                | 19 |
| 4.8 - Método de análise das variáveis químicas do solo.....                   | 20 |
| 4.8.1 - Fósforo disponível.....                                               | 20 |
| 4.8.2 - Potássio disponível.....                                              | 20 |
| 4.8.3 - Cálcio trocável.....                                                  | 20 |
| 4.8.4 - Magnésio trocável.....                                                | 20 |
| 4.8.5 - Alumínio trocável.....                                                | 21 |
| 4.8.6 - Sódio solúvel.....                                                    | 21 |
| 4.8.7 - Ferro trocável.....                                                   | 21 |
| 4.8.8 - pH em água.....                                                       | 21 |
| 4.9 - Parâmetros calculados.....                                              | 21 |
| 4.9.1 - Capacidade de troca de cátions (CTC).....                             | 21 |
| 4.9.2 - Percentagem de sódio trocável.....                                    | 22 |
| 4.9.3 - Armazenamento de água no solo entre as tensões<br>(10 a 100 kPa)..... | 22 |
| 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                               | 23 |
| 5.1 - Estudo do comportamento de parâmetros físicos hídricos<br>do solo.....  | 23 |
| 5.1.1 - Condutividade hidráulica saturada.....                                | 23 |
| 5.1.2 - Argila dispersa em água.....                                          | 25 |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1.3 - Resistência do solo à penetração.....                                     | 26 |
| 5.1.4 - Análise granulométrica.....                                               | 27 |
| 5.1.5 - Densidade aparente do solo.....                                           | 28 |
| 5.1.6 - Umidade do solo com base em volume na tensão<br>10 kPa.....               | 29 |
| 5.1.7 - Umidade do solo com base em volume na tensão<br>(100 kPa).....            | 30 |
| 5.1.8 - Umidade do solo com base em volume na tensão<br>(1500 kPa).....           | 33 |
| 5.1.9 - Curva característica de umidade.....                                      | 35 |
| 5.2 - Variáveis calculadas a partir de parâmetros medidos.....                    | 39 |
| 5.2.1 - Armazenamento de água no solo para a faixa de<br>tensão 10 a 100 kPa..... | 39 |
| 5.2.2 - Microporosidade do solo.....                                              | 43 |
| 5.2.3 - Macroporosidade do solo.....                                              | 44 |
| 5.2.4 - Percentagem de sódio trocável.....                                        | 46 |
| 5.2.5 - Capacidade Efetiva de troca de cátions.....                               | 49 |
| 5.3 - Parâmetros correlacionados à fertilidade do solo.....                       | 49 |
| 5.3.1 - Teor de fosforo, potássio, cálcio, magnésio e<br>alumínio.....            | 49 |
| 5.3.2 - Teor de Ferro.....                                                        | 51 |
| 5.3.3 - pH em água.....                                                           | 51 |
| 6 - CONCLUSÕES.....                                                               | 53 |
| 7 - ANEXO.....                                                                    | 55 |
| 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                               | 76 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 1 - Umidade retida entre as faixas de tensão (10 - 100 kPa), após tratamento executado em laboratório.....                                                                                                                                     | 12 |
| TABELA 2 - Análise preliminar para caracterização da área experimental.....                                                                                                                                                                           | 14 |
| TABELA 3 - Valores médios encontrados na segunda época de coleta de dados, para a variável densidade aparente.....                                                                                                                                    | 28 |
| TABELA 4 - Valores médios de umidade volumétrica na tensão 10 kPa, correlacionando-se com as concentrações de hidróxido de sódio, para a primeira coleta (uma semana após aplicação do tratamento), para um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado..... | 29 |
| TABELA 5 - Valores médios de umidade volumétrica na tensão 10 kPa, correlacionando-se com as concentrações de hidróxido de sódio, para a primeira coleta (15ª semana após aplicação do tratamento), para um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado..... | 30 |
| TABELA 6 - Valores médios de umidade volumétrica na tensão 100 kPa, relacionados às concentrações de hidróxido de sódio (profundidade 0-5 cm).....                                                                                                    | 31 |
| TABELA 7 - Valores médios de umidade volumétrica na tensão 100 kPa, relacionados às concentrações de hidróxido de sódio (profundidade 10-15 cm).....                                                                                                  | 31 |
| TABELA 8 - Valores médios de umidade volumétrica na tensão 100 kPa, relacionados às concentrações de hidróxido de sódio (profundidade 20-25 cm).....                                                                                                  | 31 |
| TABELA 9 - Valores médios da umidade do solo na tensão 1500 kPa, nas várias profundidades estudadas, na primeira coleta de dados.....                                                                                                                 | 33 |
| TABELA 10 - Valores médios de umidade volumétrica na tensão 1500 kPa, correlacionados às concentrações de hidróxido de sódio (profundidade 0-5 cm), para a segunda coleta de dados.....                                                               | 34 |
| TABELA 11 - Valores médios de umidade volumétrica na tensão 1500 kPa, correlacionados às concentrações de hidróxido de sódio (profundidade 10-15 cm), para a segunda coleta de dados.....                                                             | 34 |

|                                                                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 12 - Valores médios de umidade volumétrica na tensão 1500 kPa, correlacionados às concentrações de hidróxido de sódio (profundidade 20-25 cm), para a segunda coleta de dados.....                            | 34 |
| TABELA 13 - Valores médios de lâminas (mm) armazenadas na faixa de tensão (10-100 kPa) nas profundidades (0-5, 10-15, 20-25 cm) relacionados às concentrações de NaOH, para a primeira época de coleta de dados..... | 39 |
| TABELA 14 - Valores médios de lâminas (mm) armazenadas na faixa de tensão (10-100 kPa) nas profundidades (0-5, 10-15, 20-25 cm) relacionados às concentrações de NaOH, para a segunda época de coleta de dados.....  | 39 |
| TABELA 15 - Valores médios observados para a variável microporosidade na segunda época de coleta, e sua relação com as concentrações diluídas de hidróxido de sódio.....                                             | 43 |
| TABELA 16 - Valores médios da percentagem de macroporos do solo, correlacionando-se com as concentrações de NaOH.....                                                                                                | 45 |
| TABELA 17 - Valores médios observados na relação entre percentagem de sódio trocável e as concentrações de NaOH, para a profundidade de solo (0-5 cm).....                                                           | 46 |
| TABELA 18 - Valores médios observados na relação entre percentagem de sódio trocável e as concentrações de NaOH, para a profundidade de solo (10-15 cm).....                                                         | 46 |
| TABELA 19 - Valores médios observados na relação entre percentagem de sódio trocável e as concentrações de NaOH, para a profundidade de solo (20-25 cm).....                                                         | 47 |
| TABELA 20 - Valores médios observados da CTC efetiva em função da concentração de NaOH.....                                                                                                                          | 49 |
| TABELA 21 - Valores médios observados dos parâmetros correlacionados à fertilidade do solo na primeira e segunda época de coleta de dados.....                                                                       | 50 |
| TABELA 22 - Valores médios observados dos teores de Ferro trocável em relação às concentrações de hidróxido de sódio, na segunda época de coleta de dados.....                                                       | 51 |

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 23 - Valores médios observados do pH em relação às concentrações de hidróxido de sódio na primeira e segunda época de coleta de dados..... | 52 |
| TABELA 24 - Análise de variância da variável condutividade hidráulica saturada na primeira época de coleta de dados.....                          | 56 |
| TABELA 25 - Análise de variância da variável argila dispersa em água, para a primeira época de coleta de dados.....                               | 56 |
| TABELA 26 - Análise de variância da variável argila dispersa em água, para a segunda época de coleta de dados.....                                | 57 |
| TABELA 27 - Análise de variância da variável resistência à penetração, para a primeira época de coleta de dados.....                              | 57 |
| TABELA 28 - Análise de variância da variável Fração Argila, para a primeira época de coleta de dados.....                                         | 58 |
| TABELA 29 - Análise de variância da variável Fração Argila, para a segunda época de coleta de dados.....                                          | 58 |
| TABELA 30 - Análise de variância da variável Fração Silte, para a primeira época de coleta de dados.....                                          | 59 |
| TABELA 31 - Análise de variância da variável Fração Silte, para a segunda época de coleta de dados.....                                           | 59 |
| TABELA 32 - Análise de variância da variável Fração Areia Grossa, para a primeira época de coleta de dados.....                                   | 60 |
| TABELA 33 - Análise de variância da variável Fração Areia Grossa, para a segunda época de coleta de dados.....                                    | 60 |
| TABELA 34 - Análise de variância da variável Fração Areia Fina, para a primeira época de coleta de dados.....                                     | 61 |
| TABELA 35 - Análise de variância da variável Fração Areia Fina, para a segunda época de coleta de dados.....                                      | 61 |
| TABELA 36 - Análise de variância da variável Densidade so solo, para a primeira época de coleta de dados.....                                     | 62 |
| TABELA 37 - Análise de variância da variável Densidade so solo, para a segunda época de coleta de dados.....                                      | 62 |

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 38 - Análise de variância da variável umidade a 10 kPa, para a primeira época de coleta de dados.....               | 63 |
| TABELA 39 - Análise de variância da variável umidade a 10 kPa, para a segunda época de coleta de dados.....                | 63 |
| TABELA 40 - Análise de variância da variável umidade a 100 kPa, para a primeira época de coleta de dados.....              | 64 |
| TABELA 41 - Análise de variância da variável umidade a 100 kPa, para a segunda época de coleta de dados.....               | 64 |
| TABELA 42 - Análise de variância da variável umidade a 1500 kPa, para a primeira época de coleta de dados.....             | 65 |
| TABELA 43 - Análise de variância da variável umidade a 1500 kPa, para a segunda época de coleta de dados.....              | 65 |
| TABELA 44 - Análise de variância da variável Microporosidade, para a primeira época de coleta de dados.....                | 66 |
| TABELA 45 - Análise de variância da variável Microporosidade, para a segunda época de coleta de dados.....                 | 66 |
| TABELA 46 - Análise de variância da variável Macroporosidade, para a primeira época de coleta de dados.....                | 67 |
| TABELA 47 - Análise de variância da variável Microporosidade, para a segunda época de coleta de dados.....                 | 67 |
| TABELA 48 - Análise de variância da variável Percentagem de Sódio Trocável, para a primeira época de coleta de dados.....  | 68 |
| TABELA 49 - Análise de variância da variável Percentagem de Sódio Trocável, para a segunda época de coleta de dados.....   | 68 |
| TABELA 50 - Análise de variância da variável Capacidade de Troca de Cátions, para a primeira época de coleta de dados..... | 69 |
| TABELA 51 - Análise de variância da variável Capacidade de Troca de Cátions, para a segunda época de coleta de dados.....  | 69 |
| TABELA 52 - Análise de variância da variável Fosforo disponível, para a primeira época de coleta de dados.....             | 70 |

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 53 - Análise de variância da variável Fosforo disponível, para a segunda época de coleta de dados.....   | 70 |
| TABELA 54 - Análise de variância da variável Potássio disponível, para a primeira época de coleta de dados..... | 71 |
| TABELA 55 - Análise de variância da variável Potássio disponível, para a segunda época de coleta de dados.....  | 71 |
| TABELA 56 - Análise de variância da variável Cálcio + Magnésio, para a primeira época de coleta de dados.....   | 72 |
| TABELA 57 - Análise de variância da variável Cálcio + Magnésio, para a segunda época de coleta de dados.....    | 72 |
| TABELA 58 - Análise de variância da variável Alumínio trocável, para a primeira época de coleta de dados.....   | 73 |
| TABELA 59 - Análise de variância da variável Alumínio trocável, para a segunda época de coleta de dados.....    | 73 |
| TABELA 60 - Análise de variância da variável Ferro trocável, para a segunda época de coleta de dados.....       | 74 |
| TABELA 61 - Análise de variância da variável pH em água, para a primeira época de coleta de dados.....          | 74 |
| TABELA 62 - Análise de variância da variável pH em água, para a segunda época de coleta de dados.....           | 74 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                   | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| FIGURA 1 - A aplicação das soluções diluídas de NaOH ao solo.....                                                                                                                                                 | 12     |
| FIGURA 2 - Croqui da montagem do experimento.....                                                                                                                                                                 | 13     |
| FIGURA 3 - Vista parcial do experimento.....                                                                                                                                                                      | 15     |
| FIGURA 4 - O amostrador tipo Uhland, para retirada de amostras indeformadas.....                                                                                                                                  | 16     |
| FIGURA 5 - Esquema do Permeâmetro empregado para determinação da Condutividade Hidráulica Saturada.....                                                                                                           | 18     |
| FIGURA 6 - Vista parcial da Centrífuga Internacional Modelo E.....                                                                                                                                                | 19     |
| FIGURA 7 - Relação entre concentrações de hidróxido de sódio e a condutividade hidráulica saturada, para a coleta 1 (uma semana após aplicação do NaOH), para um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado.....        | 24     |
| FIGURA 8 - Relação existente entre o teor de argila disperso em água e concentrações de hidróxido de sódio para a coleta 1 (uma semana após aplicação do NaOH), para um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado..... | 25     |
| FIGURA 9 - Relação entre as concentrações diluídas de hidróxido de sódio e a resistência do solo à penetração, para a primeira coleta de dados.....                                                               | 26     |
| FIGURA 10 - Efeito ocasionado por diferentes concentrações de NaOH sobre a umidade volumétrica retida sob a tensão de 100 kPa na camada de 0-5 cm de um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado.....                 | 32     |
| FIGURA 11 - Efeito ocasionado por diferentes concentrações de NaOH sobre a umidade volumétrica retida sob a tensão de 100 kPa na camada de 10-15 cm de um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado.....               | 33     |
| FIGURA 12 - Curva de retenção de umidade na primeira época de coleta, camada (0-5 cm) em função das concentrações de NaOH, em um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado (LE).....                                   | 36     |

- FIGURA 13 - Curva de retenção de umidade na primeira época de coleta ,  
camada (10-15 cm) em função das concentrações de NaOH,  
em um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado (LE).....36
- FIGURA 14 - Curva de retenção de umidade na primeira época de coleta ,  
camada (20-25 cm) em função das concentrações de NaOH,  
em um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado (LE).....37
- FIGURA 15 - Curva de retenção de umidade na segunda época de coleta ,  
camada (0-5 cm) em função das concentrações de NaOH,  
em um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado (LE).....37
- FIGURA 16 - Curva de retenção de umidade na segunda época de coleta ,  
camada (10-15 cm) em função das concentrações de NaOH,  
em um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado (LE).....38
- FIGURA 17 - Curva de retenção de umidade na segunda época de coleta ,  
camada (20-25 cm) em função das concentrações de NaOH,  
em um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado (LE).....38
- FIGURA 18 - Relação entre o armazenamento médio de água no solo na  
faixa de tensão (10-100 kPa) e as concentrações de NaOH,  
para a camada (0-5 cm) de um Latossolo Vermelho Escuro  
de Cerrado, na segunda época de coleta.....41
- FIGURA 19 - Relação entre o armazenamento médio de água no solo na  
faixa de tensão (10-100 kPa) e as concentrações de NaOH,  
para a camada (10-15 cm) de um Latossolo Vermelho Es-  
curo de Cerrado, na segunda época de coleta.....41
- FIGURA 20 - Relação entre o armazenamento médio de água no solo na  
faixa de tensão (10-100 kPa) e as concentrações de NaOH,  
para a camada (20-25 cm) de um Latossolo Vermelho Es-  
curo de Cerrado, na segunda época de coleta.....42
- FIGURA 21 - Relação entre o armazenamento médio de água no solo na  
faixa de tensão (10-100 kPa) e as concentrações de NaOH,  
para o perfil (0 - 25 cm) de um Latossolo Vermelho Es-  
curo de Cerrado, na segunda época de coleta.....42
- FIGURA 22 - Relação entre a microporosidade e as concentrações de  
de NaOH para a segunda época de coleta, em um Latos-  
solo Vermelho Escuro de Cerrado.....44

- FIGURA 23 - Relação entre a macroporosidade e as concentrações de NaOH para a segunda época de coleta de dados, de um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado.....45
- FIGURA 24 - Relação entre a percentagem média de sódio trocável e as concentrações de NaOH para o perfil de solo 0-5 cm, para a segunda época de coleta de dados.....48
- FIGURA 25 - Relação entre a percentagem média de sódio trocável e as concentrações de NaOH para o perfil de solo 10-15 cm, para a segunda época de coleta de dados.....48

## Resumo

VALLE JÚNIOR, RENATO FARIAS DO. Efeito da aplicação de hidróxido de sódio sobre a disponibilidade real de água de um Latossolo Vermelho Escuro sob cerrado. Lavras, UFLA, 1995. 79 p. (Dissertação de Mestrado - Engenharia Agrícola / Irrigação e Drenagem).<sup>1</sup>

Para sobreviver entre os intervalos de chuvas e ou irrigações, a planta necessita contar com reservas de água do solo. A disponibilidade de água às plantas decresce com a diminuição da umidade do solo, sendo que de forma geral as culturas agrícolas não sofrem "stress hídrico" quando a tensão de água no solo encontra-se compreendida na faixa 10 a 100 kPa com algumas excessões. Assim, este trabalho emprega como disponibilidade real de água a percentagem de água retida na faixa de tensão compreendida entre 10 a 100 kPa.

Estudou-se a elevação da disponibilidade real de água no solo devida à aplicação de soluções de hidróxido de sódio, que é um dispersante químico que promove no solo o inchamento e / ou desagregação de partículas de argila, causados pela remoção de agentes cimentantes do solo.

O experimento foi conduzido em condições de campo e laboratório em um Latossolo Vermelho Escuro, na área experimental do CPAC-EMBRAPA (Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados), Planaltina-DF, utilizando-se de um delineamento estatístico em blocos casualizados com parcelas subdivididas ( 2 x 2 m cada ), com quatro repetições. Avaliou-se os efeitos das concentrações de NaOH ( testemunha, 0,015 N, 0,031 N e 0,062 N ) nas profundidades do solo ( 0-5, 10-15 e 20-25 cm ).

Procedeu-se a aplicação dos tratamentos após o preparo convencional do solo, mediante o uso de regadores, de tal forma que a lâmina do produto aplicada fosse suficiente

para repor a umidade do solo até a capacidade de campo ( 10 kPa ), até a profundidade de 30 cm.

Após a aplicação do NaOH foram feitas amostragens do solo em duas épocas distintas de coleta (1 e 15 semanas), verificando-se alterações na sua estrutura devidas as modificações ocasionadas pelo tratamento aos colóides do solo, resultando no aumento da superfície de contato água - solo. Desta forma, para a faixa de tensão 10 a 100 kPa, o armazenamento de água no perfil do solo foi aumentado, ocasionando assim elevação da disponibilidade real de água para as plantas.

## SUMMARY

### THE EFFECT OF APPLICATION OF SODIUM HYDROXIDE ON THE WATER AVAILABILITY OF A SAVANNAH RED DARK LATOSSOL.

In order to survive the dry periods between natural rainfall or irrigation applications, plants need to use the water stored in the soil profile. The water availability decrease as the soil moisture decreases, and plants are not exposed to water stress until the matric potential does not reach values beyond 10 to 100 kPa values. For this reason, this work consider as water availability the amount of water retained between matric potential values of 10 and 100 kPa.

This work studied how to increase the water availability by applying chemical solutions of Sodium Hydroxide, considered a chemical dispersant able to promote the swelling and or dispersion of clay particles in soils, both due to the removal of cementing agents.

The experiment was conducted at field and laboratory conditions in a red dark latossol, at CPAC-EMBRAPA (Agricultural Research Center for Savannah Region), located in Planaltina-DF/Brazil. The statistical design was random blocks with split plots (2 x 2 meters each), with four replications. The effects of Sodium Hydroxide were evaluated for the treatments (control, 0.015N, 0.031N, 0.062N) at soil layers between 0 and 5 cm, 10 and 15 cm, and 20 and 25 cm.

The product application on soil surface was done after preparing the soil, (plowing and disking), by using a watering can, applying a water depth necessary to bring up the soil moisture in the soil profile, down to 30 cm, to the field capacity only.

After application of NaOH, soil samples were collected in one week and also after fifteen weeks, to verify possible modifications on soil structure. Results obtained allow to conclude that the soil moisture retained between 10 and 100 kPa was increased by the application of Sodium Hydroxide.

## 1 - INTRODUÇÃO

Os cerrados do Brasil são tidos como regiões produtoras de alimentos, devido às características e condições favoráveis para uma alta produção agrícola, graças à sua extensão de aproximadamente 200 milhões de hectares e boas características físico-topográficas (Ranzani , 1962 ; Medina & Grohman , 1966 ; Mendes , 1967 ; Wolf , 1975). Entretanto, o fator mais limitante para a produção agrícola nos cerrados é a distribuição não uniforme das chuvas (Wolf , 1975 ; Gonzalez , 1976). Além dos períodos de estiagem em plena estação chuvosa, considerado como veranicos, predomina nos cerrados uma estação seca definida geralmente de abril a setembro, associada com alta intensidade de radiação solar e grandes perdas de água por evaporação. Essas ocorrências impõem limitações físicas para uso destes solos (solos de Cerrado) para culturas anuais (Wolf, 1975a ; Brady , 1983).

Segundo Ranzani (1962), os solos sob vegetação de cerrado são muito profundos, sem barreiras físicas para o desenvolvimento normal das raízes de plantas cultivadas. Contudo, a retenção de água disponível às plantas se encontra com valores baixos, podendo desta forma se comportar como um fator limitante ao desenvolvimento das culturas (Lopes , 1984).

A água é necessária para a produção agrícola, possuindo participação direta em todos os processos mantenedores da vida, situando-se como um fator cuja disponibilidade pode selecionar as espécies cultivadas e definir a sua distribuição em diferentes áreas geográficas . Os vegetais

absorvem centenas de gramas de água para produzirem matéria, sendo que suas raízes estão mergulhadas no reservatório de água do solo, e as folhas sujeitas à ação da radiação solar e do vento, gerando desta forma transpiração intermitente (Reichardt , 1985). Por isto, para sobreviver entre os intervalos de chuva e ou irrigações, a planta necessita contar com reservas de água do solo.

São várias as características e propriedades do solo que podem influir nas relações solo-água, tais como: quantidade e natureza da fração argila, estrutura do solo, teor de umidade, tamanho e distribuição dos poros, conteúdo de matéria orgânica e óxidos de ferro livres. Todos atuam de maneira a fazer com que cada solo e cada horizonte apresente diferentes características de retenção e disponibilidade de água (Barbosa , 1978). Por exemplo, os óxidos de ferro presentes nos solos, possuem a característica de funcionar como elementos cimentantes que normalmente agregam as partículas do solo.

De fato, estudos feitos com a adição de soluções com íons de sódio ou hidróxido de sódio (NaOH) em amostras de solo, possibilitaram a remoção parcial de agentes cimentantes do solo, tais como ferro-hidróxidos e óxidos de ferro e alumínio, originando desta forma o aumento da retenção de água entre as partículas de argila presentes no solo (EL - Swaify e Emerson , 1975 ; EL - Swaify , 1976 ; Russo e Bresler , 1976 ). A retenção de água efetuada pelo solo tende a propiciar às espécies vegetais a condição de pleno desenvolvimento, pois a água possui participação direta nos processos correlacionados com a vida. Desta forma, o presente trabalho, objetivou identificar num Latossolo Vermelho Escuro distrófico (LE) sob vegetação de cerrado, as alterações causadas na retenção de água no solo ocasionadas pela adição de soluções diluídas de hidróxido de sódio. Procura-se com isto, aumentar a faixa de água imediatamente disponível para as plantas, possibilitando a diminuição da frequência de irrigação, gerando economia nos investimentos em equipamentos e no consumo de energia e mão de obra empregada no processo produtivo da agricultura irrigada .

## 2- REFERENCIAL TEÓRICO

Ao se proceder a aplicação de soluções de hidróxido de sódio no solo reações tendem a ocorrer, gerando alterações tanto na estrutura quanto no tamanho dos poros. Isto é devido basicamente às mudanças que o íon sódio e a hidroxila podem promover nos colóides do solo. Desta forma, para melhor entendimento das reações, necessita-se verificar as possíveis alterações ocorridas na estrutura e na distribuição das cargas elétricas existentes nas partículas do solo.

### 2.1 - O efeito do sódio na agregação e retenção de água no solo.

Kirkham & Powers (1972), afirmam que a espessura da dupla camada é governada pelo tamanho do raio iônico e a valência do cátion adsorvido. Desta forma, sendo o complexo de troca saturado com  $\text{Na}^+$ , que por sua vez é monovalente e possui um pequeno raio iônico e elevada hidratação, a condição será de dispersão se houver expansão exagerada das placas de argila.

A ação do enfraquecimento do sódio nas interpartículas de agregação do solo é apenas um aspecto de quebra da estrutura (McNeal & Coleman, 1966). O íon sódio cria uma força de inchamento nas partículas de argila devido ao seu elevado raio de hidratação, favorecendo que estas venham a se afastar uma das outras (McNeal & Coleman, 1966).

A argila saturada com cátions bivalentes exibe maior adsorção de água do que quando saturada com cátions monovalentes, exceto o  $\text{Li}^+$  que se comporta como um íon divalente (Baver

et al, 1972). Porém em ambos os casos existe uma elevação da adsorção de água pela fração argila.

• Como a presença do sódio pode alterar a geometria da argila, a elevação do teor de  $\text{Na}^+$  no solo pode gerar alterações no tamanho dos poros, revertendo na maior superfície de contato água-solo (Russo et al, 1976). Desta forma, a retenção de água do solo tende a ser maior, devido ao aparecimento de mais microporos no solo.

O íon sódio altera a curva de retenção de água do solo. Porém a elevação da retenção não está correlacionada linearmente com o aumento da concentração do mesmo (Khammad e Karpachevskiy, 1978).

• Entretanto, a presença do sódio no solo pode desempenhar influências deletérias sobre as propriedades físicas e químicas dos solos e, por outro lado, sobre o crescimento vegetal. O prejuízo que o excesso de sódio pode promover é expresso pela percentagem de sódio trocável (PST) (Brady, 1983). A presença de sódio sob a forma permutável, desempenha grande influência nas propriedades físicas e químicas do solo, podendo afetar o crescimento vegetal bem como a absorção de água e nutrientes. Para muitas culturas sensíveis, dentre elas as frutíferas de folhas caducas, os citrus e feijoeiro valores próximos a 12% de PST podem gerar perdas no crescimento e produção.

## 2.2 - A influência dos Óxidos de Ferro e Alumínio no solo.

As partículas primárias do solo encontram-se normalmente agrupadas devido a ação cimentante e agregante de substâncias tais como : matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio e íons floclulantes ( cálcio, magnésio e hidrogênio ). Landa e Gast (1973), afirmaram que um dos principais agentes cimentantes das partículas do solo das regiões tropicais são os óxidos e hidróxidos de ferro.

Os óxidos de ferro (goethita e hematita) apresentam uma discreta atuação sobre as propriedades físicas envolvendo a estrutura dos latossolos, sendo que a caulinita e gibsitita tendem a governar o fenômeno de desenvolvimento estrutural dos Latossolos (Ferreira, 1988). Quando hidratados os óxidos são muito importantes como agentes cimentantes de partículas e como revestimento de minerais secundários como argilas, particularmente a caulinita, nas regiões tropicais (Malavolta, 1980).

A composição mineralógica dos Latossolos Vermelho escuro argilosos do Planalto Central do Brasil é de 10,2% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 27% gibsitita, 36% de caulinita e 18% de materiais amorfos (Weaver, 1974). Segundo Lima (1990), o Latossolo Vermelho Escuro apresenta teores elevados de óxidos de ferro livres.

Baver (1972), observou que o hidróxido de sódio é eficiente na dispersão de amostras que contenham grandes quantidades de óxidos de ferro e de alumínio e baixos teores de bases trocáveis. O dispersante hidróxido de sódio é mais indicado para solos em que o hidrogênio seja o cátion dominante no complexo de troca, que é o caso do latossolo.

Mc Neal et al (1968), concluíram que a ação cimentante dos óxidos de ferro previne o inchamento e dispersão da argila do solo, pois evita a expansão da mesma. Já a elevação exagerada da concentração iônica da dupla camada pode promover considerável repulsão das placas de argila podendo gerar dispersão. (El Swaify, 1976).

A utilização de dispersantes químicos à base de sódio, promove no solo o inchamento das partículas de argila e / ou a desagregação, causadas pela remoção de agentes cimentantes do solo (Lima, 1987).

A precipitação de alumínio, óxidos e hidróxidos de ferro, dentro dos agregados do solo tem apresentado um real aumento da retenção de água entre as partículas de argila do solo, aumentando a capacidade de retenção de água do solo (El - Swaify & Emerson, 1975).

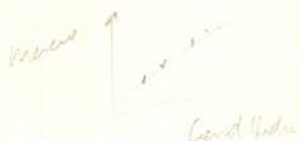
### 2.3 - A Influência do Hidróxido de Sódio na Condutividade Hidráulica do Solo

O mecanismo de dispersão química efetuada pelo hidróxido de sódio (NaOH), reduz a condutividade hidráulica do solo, sendo sua magnitude dependente da concentração de sódio presente nas partículas de argila, da composição e concentração total da solução do solo (Lima, 1987).

Ao avaliarem solos do Imperial Valley no sul da Califórnia (USA), Mc Neal et al (1968) verificaram que a presença de sódio na solução do solo promove decréscimo da condutividade hidráulica, sendo este decréscimo diretamente proporcional ao teor de argila no solo. A resposta do efeito do sódio no solo está associada ao teor de argila do mesmo (Frenkel et al, 1978).

✓ A concentração de sódio na água de irrigação altera a condutividade hidráulica dos solos, através da desagregação e dispersão de seus colóides (Gardner, 1945; Gardner et al, 1959; Quirk e Schofield, 1955). Solos com sódio trocável maior ou igual a 15% de sua capacidade de troca e baixos em sais solúveis possuem suas estruturas deterioradas (U. S. Salinity. Lab. Staff, 1954). Este efeito é atribuído à hidrólise do sódio trocável, deixando os colóides do solo dispersos.

A condutividade hidráulica depende igualmente da percentagem de sódio trocável (PST) e da concentração de sais na solução. Para baixos valores de PST donde os colóides do solo "incham" e as argilas sofrem dispersão, gera-se uma redução na condutividade devida a uma efetiva diluição dos sais na solução. O inchamento ou a dispersão nos colóides do solo, alteram a geometria dos poros afetando a condutividade hidráulica (Shainberg & Letey, 1984). De fato, Quirk e Schofield (1955), afirmaram que o inchamento das partículas de argila, cujo aumento é maior na presença de sódio no solo, pode bloquear parcialmente os poros, favorecendo assim a diminuição da condutividade hidráulica, sendo que a mesma poderá ser revertida com o tempo se aplicados cátions bivalentes ao solo. Contudo, a dispersão é um fenômeno irreversível, devido a tendência de formação de camadas impermeáveis no perfil do solo (Mc Neal e Coleman, 1966).



Mc Neal e Coleman (1966) apresentaram uma relação linear entre a condutividade hidráulica e a macroporosidade, sendo o coeficiente de correlação de 0,97. Portanto, se a macroporosidade sofrer um decréscimo o mesmo deve ocorrer com a condutividade hidráulica.

## 2.4 - pH

Ao se aplicar o Hidróxido de Sódio (NaOH), as cargas negativas nos colóides do solo tendem a sofrer elevação, promovida pela ação da hidroxila (monovalência negativa) existente no hidróxido de sódio, originando desta forma uma maior capacidade do solo em reter cátions. Assim, estando o sistema solo cheio do íon sódio (monovalência positiva), haverá a possibilidade de aumento da retenção do mesmo no solo.

Com o aumento do pH (diminuir a acidez) a atividade dos microorganismos do solo é aumentada, favorecendo a elevação da disponibilidade de vários elementos no solo essenciais às plantas (Malavolta, 1980).

O efeito do pH nas cargas positivas e negativas do solo é provavelmente devido ao mecanismo de transferência de prótons da matéria orgânica e óxidos de ferro e alumínio que cercam a caulinita (Morais et al, 1976). O aumento do pH ocasiona diminuição das forças de floculação, devido a que, o aumento da alcalinidade eleva a dispersão do solo (U. S. Salinity. Lab. Staff, 1954). A elevação das cargas negativas no solo aumentam a repulsão da dupla camada gerando dispersão (El Swaify, 1973).

Carvalho (1985), analisando os dispersantes químicos (hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio), verificou que o hidróxido de sódio teve um melhor desempenho de uma forma geral, devido a elevação do pH da suspensão do solo aumentando o número de cargas negativas do sistema solo. Segundo o autor, o hidróxido de sódio foi o melhor dispersante para os pedomateriais latossólicos. A caulinita ao ser cercada por cargas negativas, ocasionando subsequente aumento do pH, eleva o efeito da dispersão ao ser tratada com hidróxido de sódio (El Swaify, 1976).

## 2.5 - Capacidade de Troca de Cátions (CTC)

A troca de cátions promove a retenção de diversos elementos essenciais em uma forma facilmente acessível pelas plantas. Sua origem é devida ao excesso de cargas elétricas existentes nas partículas sólidas do solo, sendo que os cátions presentes podem sofrer reposição por outros, mediante a permuta de cátions onde a relação quanto à força de adsorção dos nutrientes é dada pela seguinte ordem :  $H > Al > Ca > Mg > K > Na$  (Van Raij , 1991).

A CTC efetiva dos solos de cerrado é baixa, mostrando desta forma, o reflexo do baixo número de cargas negativas disponíveis para o fenômeno de troca de cátions, e em conjunção com a baixa disponibilidade de bases, permite somente uma reserva muito pequena de nutrientes para as plantas (Lopes , 1984).

Ao se adicionar  $Na^+ OH^-$  ao solo, promove-se o aumento do pH devido a reação das hidroxilas ( $OH^-$ ) com os colóides do solo, elevando as cargas negativas do solo. Com isto, a dissociação de íons ( $H^+$ ) da superfície dos colóides de argila, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, liberam cargas negativas e conseqüentemente promovem a elevação da capacidade de troca de cátions do solo (Van Raij , 1991).

A adição do íon  $OH^-$  ao solo pode promover o aparecimento de cargas negativas, devido a desprotonização dos colóides, favorecendo desta forma ao aumento da CTC (Malavolta , 1980).

### 3 - HIPÓTESE

A adição de soluções diluídas de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) ao solo promovem modificações nas características físicas e químicas do solo, ocasionando o aumento da disponibilidade de água para as plantas, podendo reverter na redução dos gastos de água, equipamentos e mão de obra na execução da irrigação.

#### 4 - MATERIAL E MÉTODO

O presente estudo foi conduzido nas dependências da Universidade Federal de Lavras e no Centro de Pesquisa Agropecuário dos Cerrados (CPAC - EMBRAPA), donde procedeu-se a montagem do experimento, a coleta de amostras de solo e as análises físicas e químicas que incluem : densidade do solo, análise textural, argila dispersa em água, condutividade hidráulica saturada, curva característica, resistência a penetração, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, alumínio trocável, sódio solúvel, pH em água, CTC efetiva, percentagem de sódio trocável e armazenamento de água no solo.

##### 4.1 - O Tratamento Hidróxido de Sódio (NaOH)

O tratamentos efetuados ao solo visando promover a elevação da retenção de água de forma disponível para as plantas, constitui-se da adição de Soda Cáustica (NaOH) diluída em água. Na procura da estimativa prática quanto às dosagens de soda cáustica a ser utilizada, visando-se atingir melhores eficiências quanto a retenção de água, foram coletadas amostras indeformadas e deformadas de um Latossolo Vermelho Escuro nas localidades de Lavras-MG e Planaltina -DF, e tratadas em laboratório com várias concentrações diluídas de NaOH. Seguindo o método da centrífuga citado por Oliveira (1959,1960) e Vettori (1969), determinou-se a umidade para as tensões 10 e 1500 Kpa efetuando-se posteriormente o cálculo da disponibilidade total de água no solo (%) para todas as concentrações (Tabela - 1). Desta forma, pode-se determinar, levando-se

em conta fatores econômicos, as concentrações diluídas a serem testadas a nível de campo no experimento, sendo estas : 0.062 , 0.031 e 0.015 Normal (N).

Antes da eventual aplicação das concentrações diluídas de Hidróxido de Sódio ao solo, devido à necessidade do conhecimento da real pureza do produto, procedeu-se a análise do mesmo. Para isto, utilizando-se de titulação com ácido sulfúrico, chegou-se a conclusão que a pureza percentual da Soda Cáustica (NaOH) a ser utilizada era de 67%, sendo o percentual utilizado para se executar a locação correta do produto na preparação das soluções diluídas.

As concentrações diluídas de NaOH tinham como propósito tratar o solo a uma profundidade de 30 cm, pois a maioria das culturas desenvolve grande parte do sistema radicular nesta faixa. Contudo, tal tratamento não deveria promover a elevação da umidade do solo a patamares superiores à umidade de capacidade de campo (10 kPa) para se evitar percolação . O solo no momento da aplicação, possuía uma umidade em volume de 24,23%, sendo necessária a aplicação de uma lâmina de 25 mm do produto diluído por parcela para se efetivar o tratamento desejado.

A aplicação das soluções diluídas ocorreu no dia 21/01/94, sem a presença de ventos, sendo que foram aplicadas utilizando-se regadores de jardim com capacidade para nove litros (figura - 1). Para a diluição da Soda Cáustica, utilizou-se tambores de aço (180 l) visando-se obter as concentrações desejadas (0.062 , 0.031 e 0.015 N) .



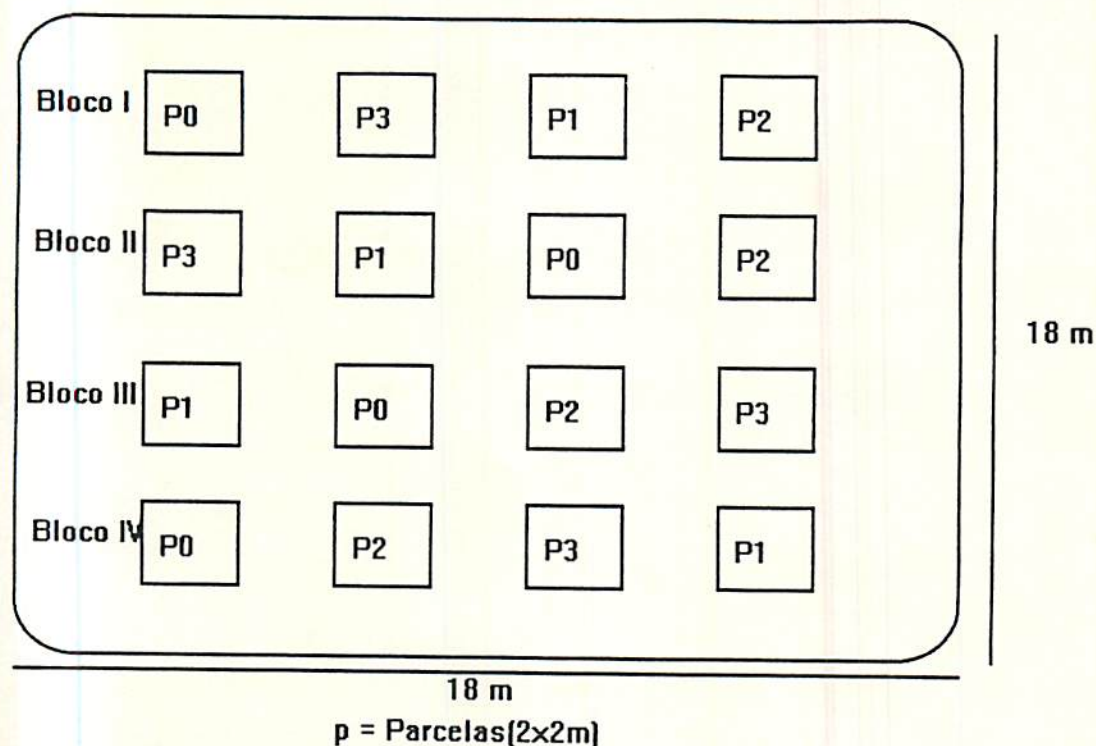
Figura 1 - A aplicação das soluções diluídas de NaOH ao solo.

TABELA 1 - Umidade retida entre as faixas de tensão (10 - 100 kPa), após tratamento executado em laboratório.

| COLETA DE SOLO EXECUTADA EM<br>LAVRAS MG |                                                |
|------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Concentrações NaOH (N)                   | Umidade retida entre<br>10 e 1500 Kpa. (g / g) |
| 0                                        | 7.00                                           |
| 0.007                                    | 13.00                                          |
| 0.015                                    | 9.61                                           |
| 0.031                                    | 10.65                                          |
| 0.062                                    | 17                                             |
| 0.0125                                   | 12.13                                          |
| 0.25                                     | 12.95                                          |
| 0.5                                      | 16.21                                          |

#### 4.2 - Localização do Experimento

O experimento foi locado no campo experimental (EMBRAPA - CPAC), em Planaltina Distrito Federal, em um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa, possuindo um declive médio de 2%, totalizando uma área de 324 m<sup>2</sup> (18×18 m) (figura -2).



P0(Dose 0) , P1(Dose 0,015 N) , P2(Dose 0,031 N) , P3(Dose 0,062 N)

FIGURA 2 - Croqui da montagem do experimento

#### 4.3 - Características preliminares do solo

Devido a pre-existência de uma cultura de brachiaria Humidícola na área de locação do experimento, necessitou-se de um preparo inicial do solo que possibilitou a completa retirada da mesma. Para isso, no dia 17/12/93 iniciou-se a retirada da cultura, empregando-se grade aradora, grade niveladora e rastelo. Após, o uso dos implementos agrícolas citados anteriormente, a área experimental apresentou-se isenta da presença de brachiaria, sendo que para caracterização do solo da área experimental, procedeu-se análises físicas e químicas (tabela - 2).

TABELA 2 - Análise preliminar para caracterização da área experimental

| VARIÁVEIS FÍSICAS ANALISADAS                       | VALORES MÉDIOS | VARIÁVEIS QUÍMICAS ANALISADAS                 | VALORES MÉDIOS |
|----------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------|----------------|
| Densidade do solo ( $\text{g/cm}^3$ )              | 1.02           | Alumínio ( $\text{mE}/100\text{g}$ )          | 0.13           |
| Umidade volumétrica do solo à tensão (0.1 atm) (%) | 32.54          | Calcio + Magnésio ( $\text{mE}/100\text{g}$ ) | 3.04           |
| Umidade volumétrica do solo à tensão (15 atm) (%)  | 19.50          | Fósforo (ppm)                                 | 6.00           |
| Condut. Hidráulica Saturada ( $\text{cm/h}$ )      | 39.78          | Potássio (ppm)                                | 35.54          |
| Argila dispersa em água (%)                        | 30.00          | H + Al                                        | 4.81           |
| Granulometria (%) (Argila - Silte - Areia)         | 51 - 8 - 41    | pH em água                                    | 5.62           |
|                                                    |                | Matéria Orgânica (%)                          | 2.05           |
| Percentagem de Sódio Trocável (%)                  | 0 ↔            | Resistência à Penetração ( $\text{Kg/cm}^2$ ) | 27.50          |

#### 4.4 - O Delineamento Estatístico

Em virtude da retirada forçada da cultura de brachiaria da área experimental, e da possibilidade de haver heterogeneidade quanto ao teor de matéria orgânica na mesma, o delineamento estatístico utilizado necessitou conter um controle local que minimizasse o possível efeito dos restos culturais na condução do experimento. Desta forma, escolheu-se utilizar o delineamento estatístico em blocos casualizados (DBC) com parcela subdivididas (split-plot), possuindo quatro blocos com quatro parcelas em cada bloco (figura - 3). Desta forma os fatores analisados foram as concentrações diluídas de NaOH nas parcelas, com quatro graus de liberdade, e as camadas de solo locadas na sub-parcela contando com três graus de liberdade. Em virtude dos fatores analisados serem quantitativos, procedeu-se após a análise de variância e teste de  $F(0,05)$  o estudo de regressão para se verificar a dependência entre os fatores. Coletou-se os dados a serem analisados em duas épocas distintas (1 e 15 semanas) após a aplicação dos tratamentos, sendo que as análises foram feitas individualmente para cada época, retirando-se conclusões específicas para cada uma delas.

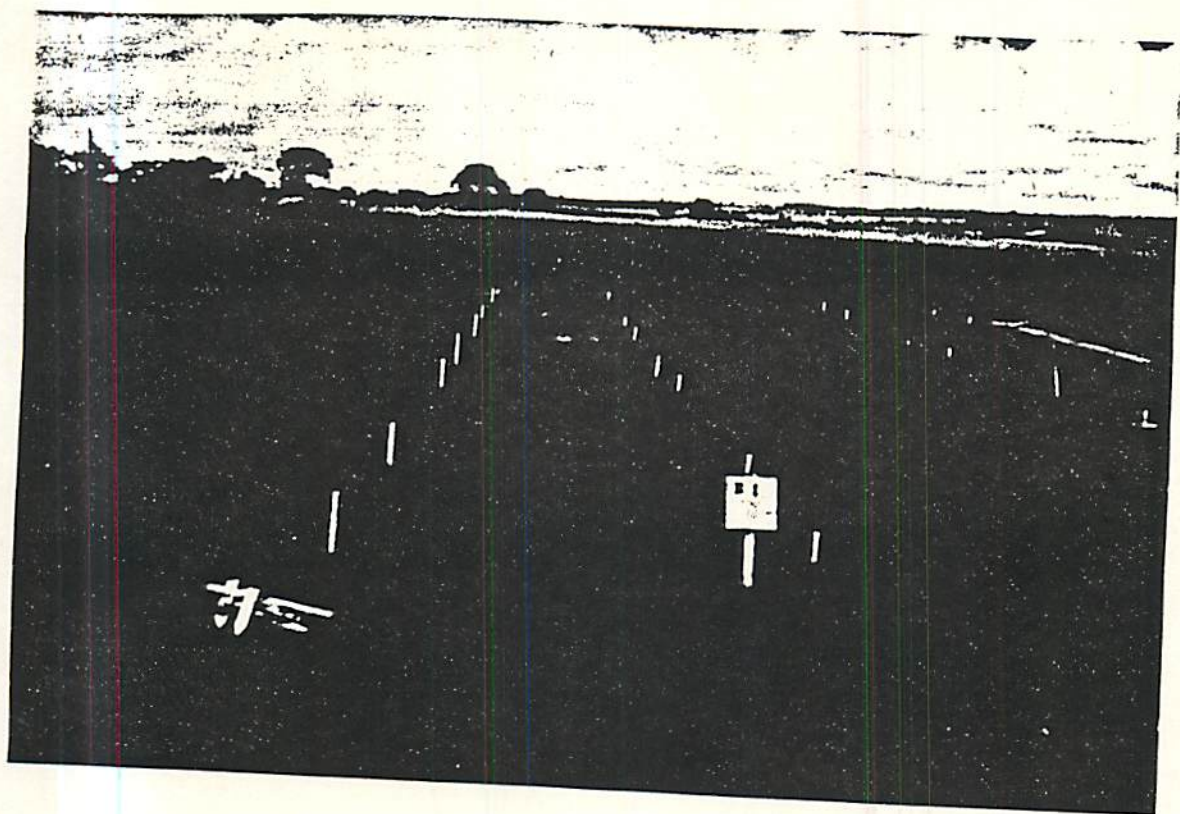


FIGURA 3 - vista parcial do experimento

#### 4.5 - A Unidade Experimental

Procurando-se obter a unidade experimental ideal para locação dos tratamentos, favorecendo também a retirada de amostras de solo, optou-se pela escolha de parcelas que continham dimensões ( $2 \times 2$  m) (figura - 2). As sub-parcelas foram idealizadas para que se procedesse a análise do fator camada de solo (0-5 , 10-15 e 20-25 cm) nas variáveis a serem estudadas.

#### 4.6 - Coleta de Dados.

Após a aplicação dos tratamentos foi aguardado um intervalo de tempo de sete dias para que o produto aplicado (NaOH) reagisse com o solo, procedeu-se então a primeira amostragem (coleta 1). As amostras destinadas à determinação da densidade do solo, condutividade hidráulica saturada, microporosidade, macroporosidade e curva de retenção foram coletadas com estrutura

indeformada, com o auxílio de um amostrador tipo Uhland, possuindo anéis volumétricos de volume conhecido ( $100 \text{ cm}^3$ ) (figura - 4 ). Para os demais parâmetros, as amostras foram coletadas com estrutura deformada, secas ao ar e em seguida passadas em peneira de 2.0 mm de largura de malha, constituindo assim a terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras foram coletadas em tres camadas diferentes (0-5, 10-15 e 20-25 cm), visando-se obter um perfeito conhecimento do efeito do tratamento (NaOH) no perfil de solo (0-30 cm.).

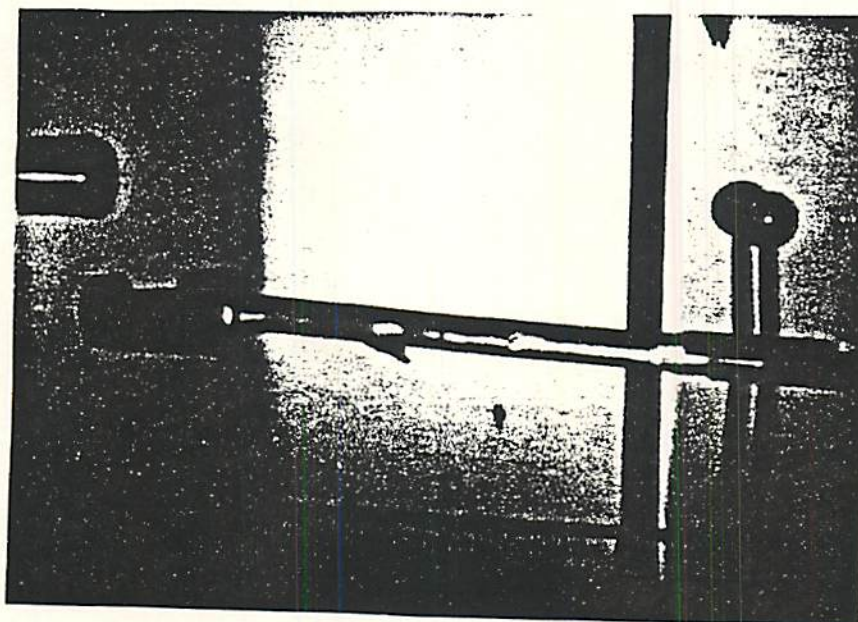


Figura 4 - O amostrador tipo Uhland, para retirada de amostras indeformadas

Ao se completar 104 dias (aproximadamente 15 semanas) após a aplicação do tratamento (NaOH), procedeu-se a segunda amostragem (coleta 2), seguindo-se os mesmos critérios executados na primeira, citados anteriormente.

#### 4.7 - Métodos de Análise das Variáveis Físicas do Solo

##### 4.7.1 - Densidade Aparente ( $D_a$ )

A densidade aparente foi determinada dividindo-se o peso seco do material de solo contido no tubo de aço amostrado pelo respectivo volume, seguindo-se o método do anel volumétrico,

sendo que a coleta da amostra indeformada deu-se mediante utilização de um amostrador do tipo Uhland (figura-4) .

#### 4.7.2 - Análise Textural e Argila Dispersa em Água

Na análise textural, a dispersão foi efetuada mecanicamente (agitação rápida) e quimicamente (NaOH 0,1 N), ao passo que na determinação da argila dispersa em água, se fez apenas uso da dispersão mecânica em água destilada. Empregou-se o método da pipeta (Day , 1965) para as determinações de silte e argila, e tamisagem para a areia.

#### 4.7.3 - Condutividade Hidráulica Saturada

A condutividade hidráulica saturada foi determinada segundo Fernandes et al (1983) utilizando-se um sistema ajustável de permeâmetros de carga constante igual a 2 cm (figura - 5). O principal cuidado utilizado na análise foi a não contribuição da água percolada ao longo da parede interna do tubo, devida a existência de um retentor na base da amostra que eliminava esta contribuição, fornecendo assim somente o volume de água realmente percolado pelo solo. Para se expulsar o ar das amostras indeformadas de solo, procedeu-se um pre-umidecimento lento por capilaridade nas mesmas, durante as 24 horas que antecederam as observações. O volume de água percolado foi coletado quantificando-se o tempo gasto até que as medições tendessem a um valor constante. A condutividade hidráulica foi calculada com a utilização da equação de Darcy:

$$K_s = \frac{Q}{(A * T)} * \frac{L}{H} , \text{ onde :}$$

K = condutividade hidráulica, em cm/h ;

Q = volume de água percolada no tempo t, em cm<sup>3</sup> ;

H = carga hidráulica total, em cm ;

$A$  = área de secção transversal do tubo donde se coletou a água, em  $\text{cm}^2$  ; e

$L$  = comprimento da coluna de material de solo, em cm .

$T$  = Tempo gasto para a percolação do volume de água

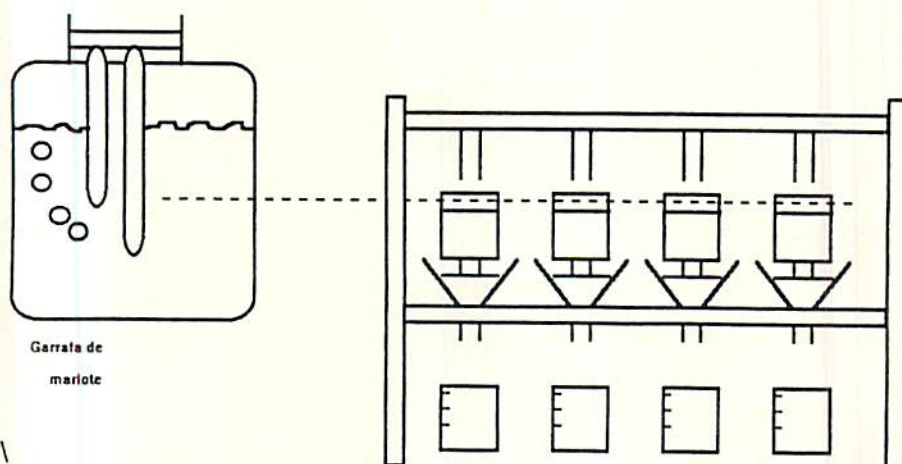


FIGURA 5 - Esquema do Permeâmetro empregado para a determinação da Condutividade Hidráulica Saturada.

#### 4.7.4 - Curvas Características de Água do Solo

Com o emprego de Centrífuga Internacional Modelo E (figura-6), seguindo o modelo descrito por Oliveira (1959,1960) e Vettori (1969), foi avaliada a retenção de água nos seguintes potenciais : 6 ; 10; 33 ; 60 ; 100 e 1500 Kpa. A disponibilidade real de água no solo foi encontrada pela diferença de umidade volumétrica entre as tensões 10 e 100 Kpa, visto que a maioria das culturas necessitam de renovação no suprimento de água até 100 Kpa, para que não sofram stress hídrico, e não ocorra consequentemente a diminuição da produção.

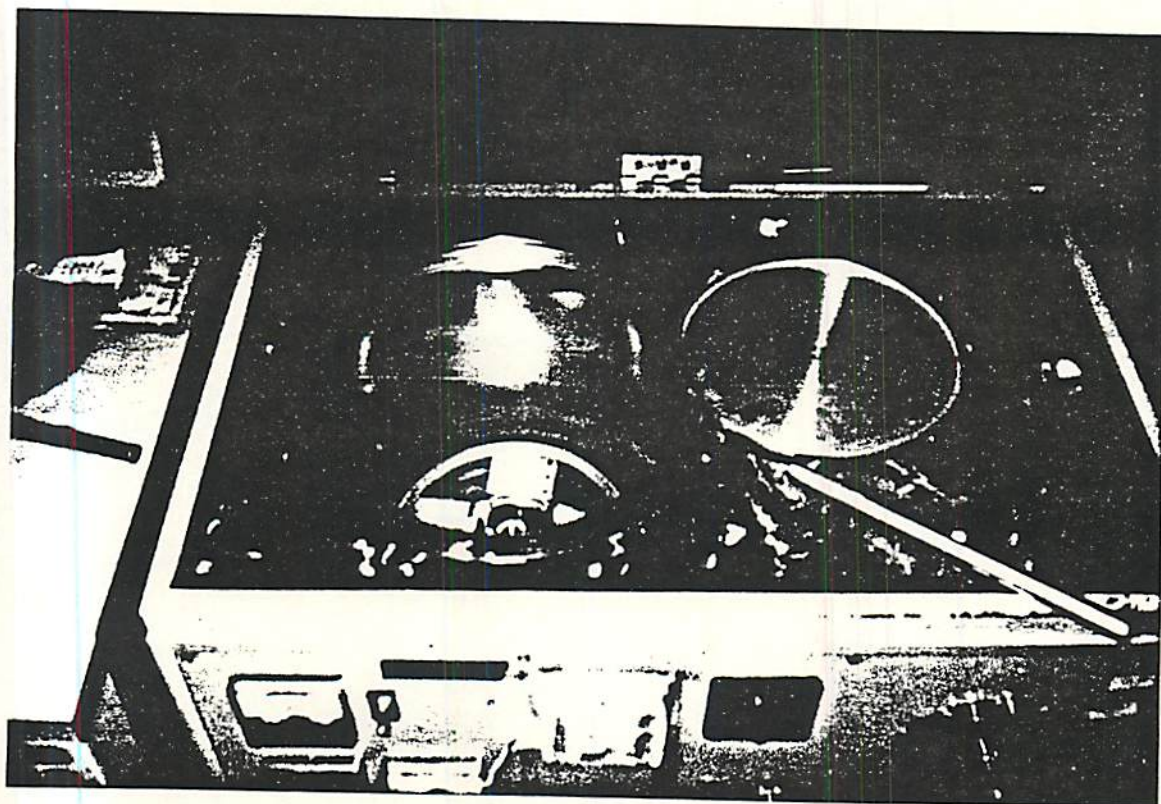


FIGURA 6 - Vista parcial da Centrifuga Internacional Modelo E.

#### 4.7.5 - Resistencia à Penetração

Mediante a utilização de um penetrógrafo de impacto SC-60, procedeu-se o estudo da resistencia do solo à penetração, antes e após a aplicação dos tratamentos, para um perfil de solo (0-30cm) .

#### 4.7.6 - Microporosidade e Macroporosidade

A microporosidade foi determinada usando-se a centrífuga modelo internacional, segundo Grohman(1972), sendo que a macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

#### **4.8 - Método de Análise das Variáveis Químicas do Solo**

##### **4.8.1 - Fósforo Disponível**

Foi determinado mediante o método colorimétrico com emprego de duplo ácido, segundo Van Raij (1983).

##### **4.8.2 - Potássio Disponível**

Determinado mediante o uso do método do emprego de duplo ácido, citado por Van Raij (1991).

##### **4.8.3 - Cálcio Trocável**

Analisado segundo o método complexométrico com "EDTA" (EMBRAPA, 1979).

##### **4.8.4 - Magnésio Trocável**

Determinado mediante o uso do método complexométrico com "EDTA" (EMBRAPA, 1979).

#### 4.8.5 - Alumínio Trocável

Determinou-se mediante a utilização do método Volumétrico por Titulação com hidróxido de sódio (EMBRAPA , 1979).

#### 4.8.6 - Sódio Solúvel

Analizado segundo EMBRAPA (1979), utilizando-se extração com água destilada e análise por fotometria de chama.

#### 4.8.7 - Ferro trocável

Foram determinados mediante o método do duplo ácido segundo EMBRAPA (1979)

#### 4.8.8 - pH em Água

Executado mediante o método potenciométrico segundo EMBRAPA (1979).

### 4.9- Parâmetros Calculados

#### 4.9.1 - Capacidade de Troca de Cátions Potencial (CTC)

Representando todas as cargas negativas permanentes do solo e as dependentes de pH desenvolvidas até pH 7, procedeu-se a estimação deste parâmetro segundo equação:

$$T = t + H^+ \text{ onde ,}$$

$$t = ( Al^{3+} + Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ ) ;$$

t = Soma de cátions adsorvidos independentes do pH (CTC efetiva) ;

$T = \text{CTC potencial (mEq / 100g)} ;$

$H^+ = \text{Acides potêncial, íon monovalente "Hidrogênio"}.$

#### 4.9.2 - Percentagem de Sódio Trocável (PST)

Calculada pela seguinte expressão :

$$PST = \frac{Na^+}{CTC} \times 100, \text{ sendo :}$$

PST = Percentagem de Sódio Trocável (%) ;

$Na^+ = \text{Sódio Trocável (mEq/100 g)} ;$

CTC = Capacidade de Troca de Cátions (mEq/100 g).

#### 4.9.3 - Armazenamento de água no solo entre as tensões (10 - 100 kPa)

$$A = (\theta_{10} - \theta_{100}) \times P, \text{ donde :} \quad (\text{Equação 1})$$

$A = \text{armazenamento de água (mm)} ;$

$\theta_{10} = \text{umidade do solo com base em volume na tensão 10 Kpa} ;$

$\theta_{100} = \text{umidade do solo com base em volume na tensão 100 Kpa} ;$

$P = \text{Profundidade do solo em estudo (mm)}.$



## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 - Estudo do Comportamento de Parâmetros Físicos Hídricos do Solo

A seguir encontram-se apresentados e discutidos os valores de alguns parâmetros físicos obtidos em diferentes épocas de coleta dos dados após o tratamento do solo.

#### 5.1.1 - Condutividade Hidráulica Saturada

A análise estatística foi conduzida com base em parâmetros estatísticos dados de condutividade hidráulica saturada do solo, listados na tabela 24 em (anexo) e na figura 7.

Observando-se a tabela 24, pode-se verificar a existência de diferença significativa no efeito analisado segundo teste estatístico de F, ao nível de probabilidade de 1% e 5% respectivamente, para os valores da variável condutividade hidráulica saturada, tanto para o fator doses de NaOH(concentrações diluídas) bem como camadas do solo. Os valores dos coeficientes de variação (a) e (b), apresentam-se relativamente altos devido a grande possibilidade de variação existente na coleta das amostras, pois possuindo a mesma estrutura indeformada, qualquer dano ocorrido na estrutura no ato de coleta reverte no aumento da dispersão percentual do desvio padrão por unidade de média. Ademais, a variável condutividade hidráulica saturada geralmente apresenta coeficientes de variação altos, sendo desta forma uma característica da mesma.

Com estes resultados, pode-se deduzir que a aplicação de concentrações diluídas de hidróxido de sódio ao solo, promove alterações na condutividade hidráulica nas várias profundidades de solo estudadas. O uso do NaOH promove a redução da condutividade hidráulica (figura -7 ), ratificando os dados encontrados por Lima (1987), sendo que este evento decorre segundo Shanberg e Letey (1984) da alteração da geometria dos poros devido a ocorrência dos fenômenos de dispersão e inchamento dos colóides. A reação promovida pelo NaOH surtiu mais efeito na camada superficial (0-5cm), demonstrando que a reação dos colóides do solo com o tratamento se efetua de forma rápida.

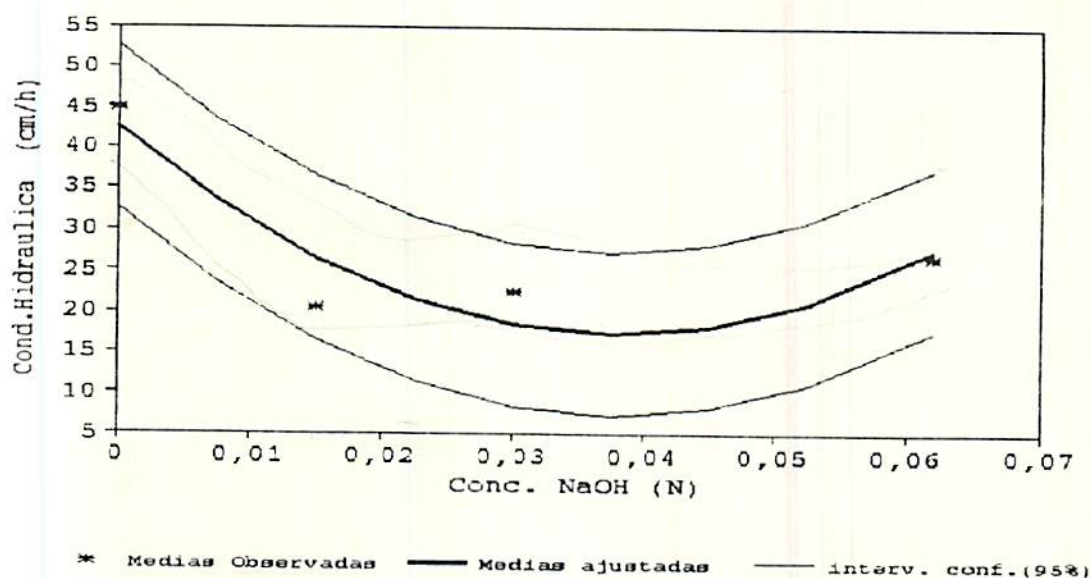


FIGURA 7- . Relação entre Concentrações de Hidróxido de Sódio e Condutividade Hidráulica Saturada, para a coleta 1 ( uma semana após aplicação do NaOH), para um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado.

### 5.1.2 - Argila Dispersa em Água

Procedendo-se com a análise das tabelas 25 e 26 em (anexo), pode-se verificar utilizando-se do teste estatístico de  $F(0,05)$ , que a adição do tratamento (NaOH) gera diferença significativa entre os valores de argila dispersa em água.

O teor de argila dispersa em água na primeira época de coleta foi aumentado (fig -8), devido a expansão exagerada das placas de argila e remoção de agentes cimentantes do solo, ocasionadas pela adição do NaOH. Assim, as interpartículas de agregação do solo sofreram quebra na estrutura, devido ao elevado raio de hidratação do sódio, favorecendo desta forma o afastamento nas partículas da argila, originando desagregação e dispersão dos colóides do solo, ratificando a observação de McNeal e Coleman (1966). Contudo para a segunda época de coleta não foi verificada diferença significativa pelo teste de  $F(0,05)$ , devido ao provável carregamento da argila dispersa pelas precipitações pluviométricas ocorridas entre os intervalos de coleta.

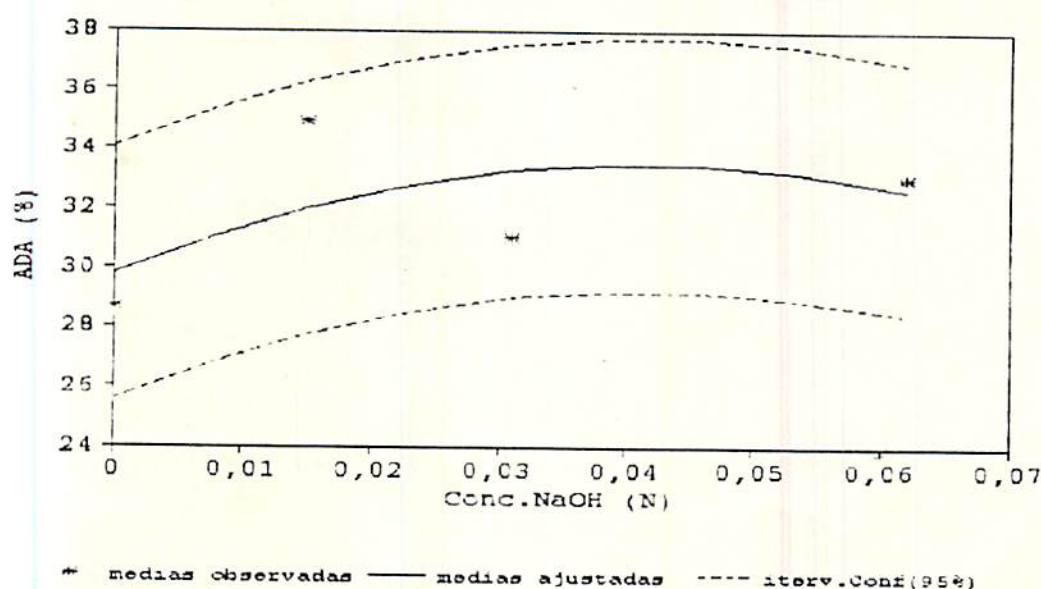


FIGURA 8 . Relação existente entre teor de argila disperso em água e concentrações diluídas de Hidróxido de Sódio para a coleta 1 ( uma semana após aplicação do NaOH), para um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado.

Pode-se constatar pela figura 8, que o fenômeno de dispersão da argila possuiu um comportamento não linear com as concentrações, devido provavelmente a diferenciação no tempo

necessário para a total reação das mesmas, já que os dados são de uma semana após o tratamento. Contudo, para todas as concentrações de hidróxido de sódio utilizadas, o teor de argila dispersa em água foi aumentado, confirmando o fenômeno de dispersão promovido pelo hidróxido de sódio.

### 5.1.3 - Resistencia do Solo à Penetração

Para esta variável, decompondo-se a resposta apresentada pela tabela 27 em anexo, segundo teste estatístico de  $F(0,05)$ , pode-se verificar a existência de diferença significativa para o fator doses de NaOH.

A resistência do solo à penetração pode ser diminuída ao se aplicar concentrações diluídas de NaOH, seguindo comportamento linear (figura 9). Isto ocorre devido a que o hidróxido de sódio remove agentes cimentantes do solo, promovendo a elevação do teor de umidade e retenção de água, sendo que o aumento da umidade do solo favorece a diminuição da resistência à penetração.

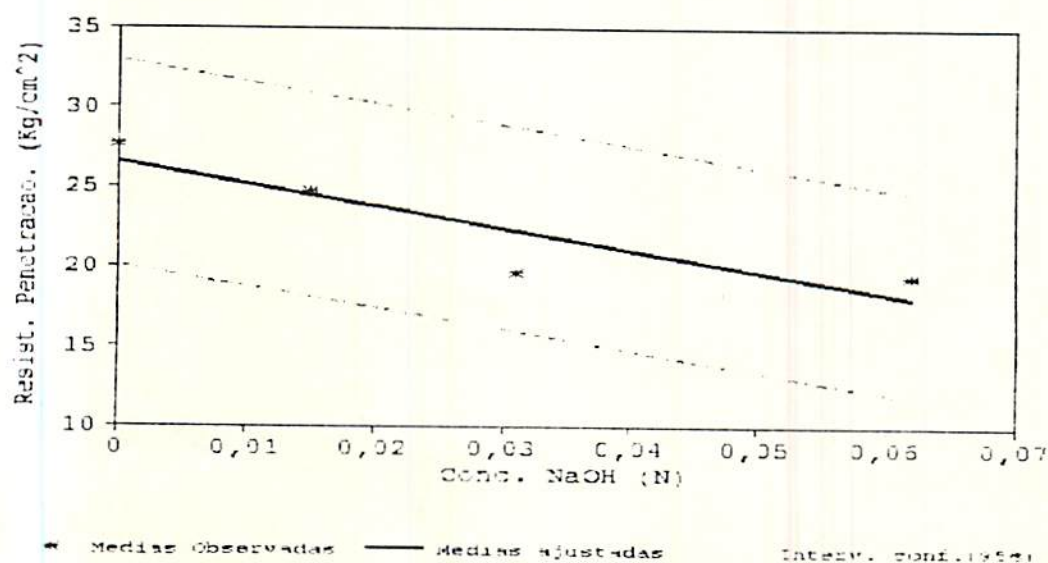


FIGURA 9. Relação entre as concentrações diluídas de Hidróxido de Sódio e a resistência do solo à penetração para a primeira coleta de dados.

#### 5.1.4 - Análise Granulométrica

##### 5.1.4.1 - Argila

O estudo da análise de variância desta fração textural, segundo teste de  $F(0,05)$ , não apresentou diferença significativa quando da aplicação do tratamento (concentrações diluídas de NaOH), (tabelas 28 e 29 em anexo). Contudo, verifica-se diferença significativa segundo teste estatístico de  $F(0,01)$  para o fator profundidade do solo, evidenciando a existência de diferenças entre as camadas do solo.

##### 5.1.4.2 - Silte

A análise de variância desta fração textural, segundo teste estatístico de  $F(0,05)$ , não apresentou diferença significativa para o tratamento utilizado, (tabelas 30 e 31 em anexo).

##### 5.1.4.3 - Areia Grossa

Nesta fração textural a análise de variância, utilizando-se o teste estatístico de  $F(0,05)$ , não revelou diferença significativa para a aplicação das concentrações diluídas de NaOH, (tabelas 32 e 33 em anexo). Porém, na primeira coleta dos dados, verificou-se diferença de 5% ao teste de  $F$ , para o fator profundidade, evidenciando a existência de diferenças quanto a fração areia grossa entre as camadas do solo.

#### 5.1.4.4 - Areia Fina

Analisando-se esta variável, segundo teste estatístico de  $F(0,05)$ , não existiu efeito significativa com a aplicação das concentrações diluídas de hidróxido de sódio, (Tabelas 34 e 35 em anexo).

#### 5.1.5 - Densidade aparente do solo

Para este parâmetro, pode-se observar segundo tabelas 36 e 37 em (anexo), que segundo teste de  $F(0,05)$ , existiu diferença significativa na segunda coleta de dados (15ª semana após aplicação do tratamento). Assim, verifica-se que a adição de soluções diluídas de NaOH tende a ocasionar com o tempo o aumento da densidade do solo.

TABELA 3 . Valores médios encontrados na segunda época de coleta de dados , para a variável densidade aparente

| CONCENTRAÇÕES DE NaOH (N). | DENSIDADE APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )<br>VALORES MÉDIOS |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 0,0 (testemunha)           | 0,97                                                      |
| 0,015                      | 1,07                                                      |
| 0,031                      | 1,11                                                      |
| 0,062                      | 1,09                                                      |

A elevação dos valores da variável densidade aparente do solo pode ser explicada com base na dispersão dos colóides do solo, capaz de quebrar a estrutura do solo, confirmando conclusões de McNeal & Coleman ( 1966 ).

### 5.1.6 - Umidade do Solo com base em volume na tensão de 10 kPa

Observando-se as tabelas 38 e 39 em (anexo), segundo teste de F(0,01), verifica-se a existência de diferença significativa entre a umidade retida no solo à tensão de 10 kPa. Isto pode ser detectado logo na primeira coleta de dados, persistindo a mesma resposta na coleta posterior.

TABELA 4 - Valores médios de umidade volumétrica na tensão 10 kPa, correlacionando-se com as concentrações de hidróxido de sódio, para a primeira coleta (uma semana após aplicação do tratamento), para um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado.

| CONCENTRAÇÕES DE NaOH (N) | UMIDADE<br>VOLUMÉTRICA<br><br>VALORES MÉDIOS<br>(COLETA - 1). (%) |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 0,0 (Testemunha)          | 31,75                                                             |
| 0,015                     | 33,63                                                             |
| 0,031                     | 33,64                                                             |
| 0,062                     | 33,61                                                             |

Para a primeira época de coleta, observa-se a elevação da umidade à 10 kPa decorrente de alterações ocasionadas pelas soluções diluídas. Aliás, em ambas as épocas de coleta houve elevação da umidade, devido a reatividade do produto. Porém, na segunda coleta de dados verificou-se que o aumento das concentrações diluídas de NaOH promove uma maior elevação do teor de umidade retida, sendo o ponto de máxima retenção de umidade equivalente à concentração 0,031 N.

TABELA 5 - Valores médios de umidade volumétrica na tensão 10 kPa, correlacionando-se com as concentrações de hidróxido de sódio, para a segunda coleta ( 15ª semana após aplicação do tratamento), para um Latossolo Vermelho Escuro de Cerrado.

| CONCENTRAÇÕES<br>DE NaOH (N) | VALORES<br>MÉDIOS (%)<br>(PROF. 0-5 cm) | VALORES<br>MÉDIOS (%)<br>(PROF. 10-15 cm) | VALORES<br>MÉDIOS (%)<br>(PROF. 20-25cm) | VALORES<br>MÉDIOS (%)<br>(PROF. 0-25cm) |
|------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 0 (Testemunha)               | 28,06                                   | 26,84                                     | 28,60                                    | 27,83                                   |
| 0,015                        | 30,98                                   | 32,70                                     | 32,79                                    | 32,15                                   |
| 0,031                        | 36,08                                   | 34,73                                     | 32,32                                    | 34,38                                   |
| 0,062                        | 35,90                                   | 33,89                                     | 31,37                                    | 33,72                                   |

O aumento da umidade para a tensão 10kPa pode ser correlacionado às alterações que as concentrações diluídas de NaOH promovem na estrutura do solo, ocasionando consequentemente modificações na porosidade do solo. Para comparações, Russo et al (1976) afirmam que a elevação do teor do íon sódio no solo gera alterações no tamanho dos poros, ocasionando na maior superfície de contato água solo (aumento da microporosidade). Na segunda época de coleta, a maior elevação da umidade foi verificada para a profundidade (0-5 cm ), provavelmente porque a reação do produto com o solo ocorreu primeiramente e principalmente na camada superior do solo.

#### 5.1.7 - Umidade do solo com base em volume na tensão 100 kPa

Mediante utilização do teste estatístico de F(0,05), constatou-se diferenças significativas entre as concentrações diluídas de hidróxido de sódio e as camadas estudadas para a umidade retida no solo à tensão de 100 kPa (tabelas 40 e 41 em anexo). Os valores médios encontrados nas várias épocas de coleta de dados encontram-se listados nas tabelas 6, 7 e 8.

TABELA 6. Valores médios de umidade volumétrica na tensão 100 kPa, relacionados às concentrações de hidróxido de sódio (profundidade 0-5 cm).

| CONCENTRAÇÕES DE<br>NaOH (N) | UMIDADE (%) |              |
|------------------------------|-------------|--------------|
|                              | (COLETA -1) | (COLETA - 2) |
| 0,0 (Testemunha)             | 22,87       | 22,52        |
| 0,015                        | 24,79       | 24,45        |
| 0,031                        | 28,19       | 28,22        |
| 0,062                        | 28,60       | 28,32        |

TABELA 7. Valores médios de umidade volumétrica na tensão 100 kPa, relacionados às concentrações de hidróxido de sódio (profundidade 10-15 cm).

| CONCENTRAÇÕES DE<br>NaOH (N) | UMIDADE (%)  |             |
|------------------------------|--------------|-------------|
|                              | (COLETA - 1) | (COLETA -2) |
| 0,0 (Testemunha)             | 22,09        | 21,12       |
| 0,015                        | 24,61        | 24,88       |
| 0,031                        | 26,46        | 26,10       |
| 0,062                        | 25,77        | 25,61       |

TABELA 8. Valores médios de umidade volumétrica na tensão 100 kPa, relacionados às concentrações de hidróxido de sódio (profundidade 20-25 cm).

| CONCENTRAÇÕES DE<br>NaOH (N) | UMIDADE (%) |             |
|------------------------------|-------------|-------------|
|                              | (COLETA -1) | (COLETA -2) |
| 0,0 (Testemunha)             | 22,79       | 23,24       |
| 0,015                        | 26,37       | 26,28       |
| 0,031                        | 25,09       | 25,35       |
| 0,062                        | 24,75       | 24,30       |

As soluções mais concentradas (0,062 e 0,031 N) promoveram melhores reações com o solo à profundidade (0-5 e 10-15 cm), sendo que para a profundidade (20-25 cm) a solução 0,015 N foi a mais reativa. O íon sódio eleva a retenção de água do solo, sendo que não correlaciona-se linearmente com o aumento da concentração do mesmo (Khammad et al , 1987).

A elevação do teor de umidade na tensão 100 kPa é totalmente dependente das alterações geradas pelas concentrações diluídas de hidróxido de sódio à estrutura e porosidade do solo, em virtude da entrada do íon sódio ao solo. O íon sódio enfraquece as interpartículas de agregação do solo promovendo a quebra da estrutura, devido ao seu elevado raio de hidratação (Mc Neal & Colemam, 1966 ).

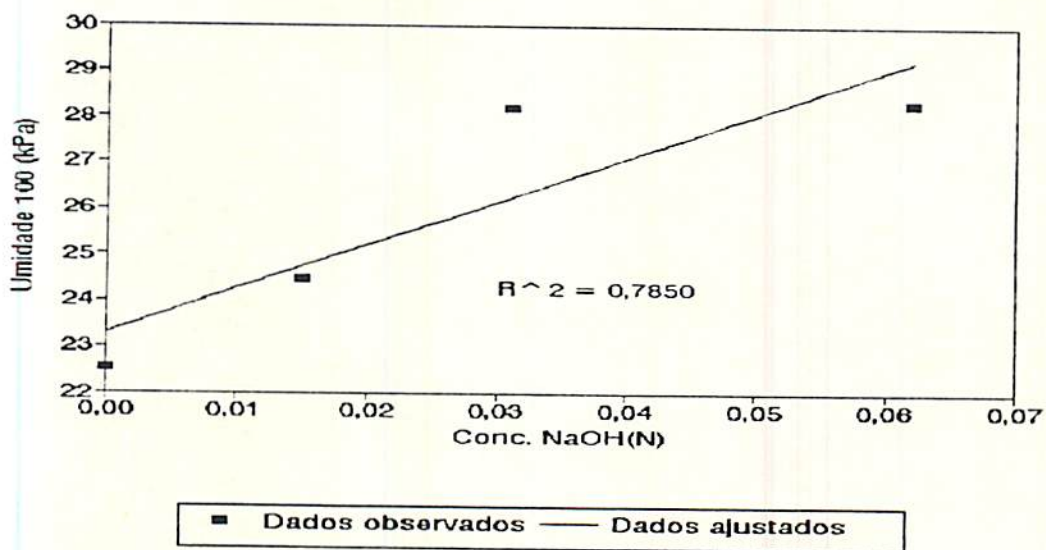


FIGURA 10. Efeito ocasionado por diferentes concentrações de NaOH sobre a umidade volumétrica retida sob a tensão de 100 kPa na camada de 0-5cm de um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado (LE).

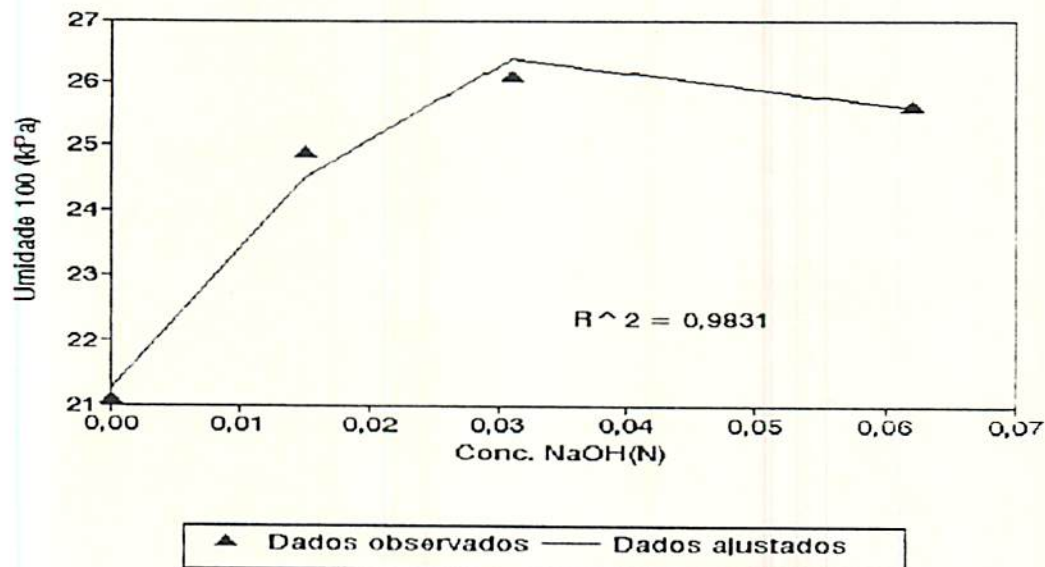


FIGURA 11. Efeito ocasionado por diferentes concentrações de NaOH sobre a umidade volumétrica retida sob a tensão de 100 kPa na camada de 10-15 cm de um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado (LE).

#### 5.1.8 - Umidade do solo com base em volume na tensão 1500 kPa.

Encontram-se listados nas tabelas 9, 10, 11 e 12 os valores referentes à umidade média do solo na tensão de 1500 kPa. Para este parâmetro, observou-se nas tabelas 42 e 43 em anexo, a existência de diferença significativa ao teste de  $F(0.05)$ , para o fator profundidade e concentrações de hidróxido de sódio.

TABELA 9 - Valores médios da umidade volumétrica do solo na tensão 1500 kPa, nas várias profundidades estudadas, na primeira coleta de dados.

| PROFUNDIDADE MÉDIA DO SOLO(cm) | UMIDADE VOLUMÉTRICA(%)<br>(COLETA -1) |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| 2,5                            | 22,94                                 |
| 12,5                           | 19,95                                 |
| 22,5                           | 20,10                                 |

TABELA 10. Valores médios de umidade volumétrica na tensão 1500 kPa, correlacionados às concentrações de hidróxido de sódio (profundidade 0-5 cm), para a segunda coleta de dados.

| CONCENTRAÇÕES DE NaOH (N). | UMIDADE VOLUMÉTRICA (%)<br>(COLETA - 2) |
|----------------------------|-----------------------------------------|
| 0,0 (Testemunha)           | 19,05                                   |
| 0,015                      | 20,32                                   |
| 0,031                      | 23,28                                   |
| 0,062                      | 24,30                                   |

TABELA 11. Valores médios de umidade volumétrica na tensão 1500 kPa, correlacionados às concentrações de hidróxido de sódio (profundidade 10-15 cm), para a segunda coleta de dados.

| CONCENTRAÇÕES DE NaOH (N). | UMIDADE VOLUMÉTRICA (%)<br>(COLETA - 2) |
|----------------------------|-----------------------------------------|
| 0,0 (Testemunha)           | 18,43                                   |
| 0,015                      | 21,13                                   |
| 0,031                      | 22,23                                   |
| 0,062                      | 22,05                                   |

TABELA 12. Valores médios de umidade volumétrica na tensão 1500 kPa, correlacionados às concentrações de hidróxido de sódio (profundidade 20-25 cm), para a segunda coleta de dados.

| CONCENTRAÇÕES DE NaOH (N). | UMIDADE VOLUMÉTRICA (%)<br>(COLETA - 2) |
|----------------------------|-----------------------------------------|
| 0,0 (Testemunha)           | 19,80                                   |
| 0,015                      | 22,30                                   |
| 0,031                      | 21,11                                   |
| 0,062                      | 20,53                                   |

Na primeira época de coleta de dados pode-se verificar o aumento da umidade retida à 1500 kpa com relação à testemunha para a profundidade média 2,5 cm, provando que a reação das concentrações diluídas com o solo havia iniciado.

Observando-se os valores da segunda época de amostragem nas profundidades de solo (0-5 e 10-15 cm), pode-se verificar o aumento da umidade retida no solo com as concentrações crescentes de hidróxido de sódio. Porém, ao se estudar à profundidade 20-25 cm, a concentração 0,015 N apresentou o maior valor de elevação da umidade retida, mostrando que a medida que eleva-se as concentrações de NaOH as reações ocorridas no solo tendem a ser mais eficientes na camada superficial (0-5 e 10-15 cm).

#### 5.1.9 - Curva Característica de Umidade

Observando-se as figuras 12 , 13 , 14, 15 ,16 e 17 pode-se verificar que a adição de soluções diluídas de hidróxido de sódio ao solo promove alterações na curva de retenção de umidade , confirmando as observações verificadas por Khammad et al . 1987. Tanto na primeira coleta de dados como na segunda, observou-se a existência de alterações na curva característica de umidade, ocasionados pela adição das soluções de hidróxido de sódio, donde o deslocamento das curvas, representa o aumento na retenção de água . Para a camada superficial (0-5 cm) a regressão é do tipo linear com o crescimento das concentrações. Para as profundidades (10-15 e 20-25 cm) a concentração 0,031 N apresentou maior deslocamento ascendente da curva de retenção de água.

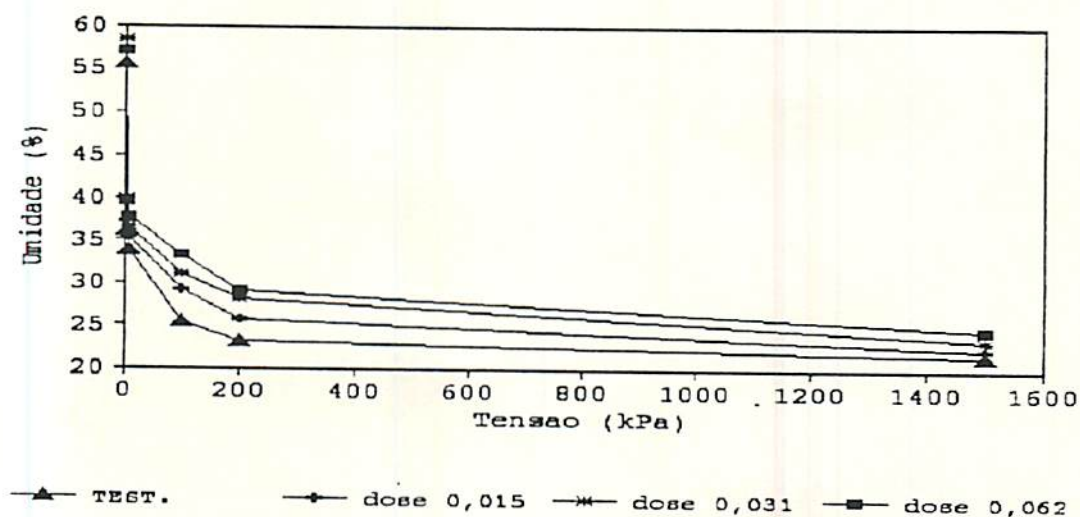


FIGURA 12. Curva de retenção de umidade na primeira época de coleta, camada (0-5cm) em função das concentrações de NaOH, em um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado (LE).

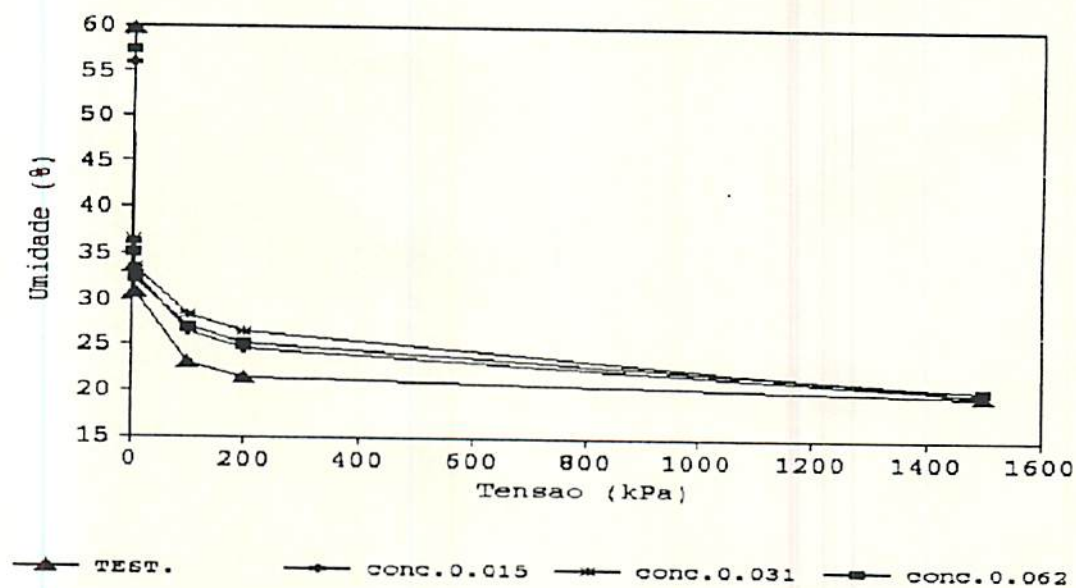


FIGURA 13. Curva de retenção de umidade na primeira época de coleta, camada (10-15 cm) em função das concentrações de NaOH, em um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado (LE).

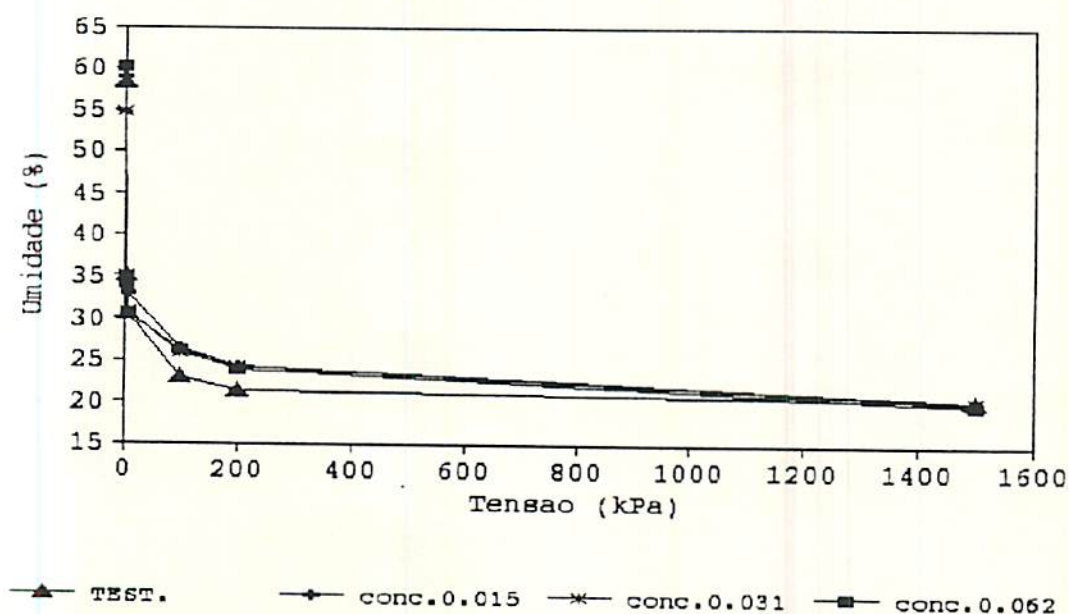


FIGURA 14. Curva de retenção de umidade na primeira época de coleta, camada (20-25cm) em função das concentrações de NaOH, em um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado (LE).

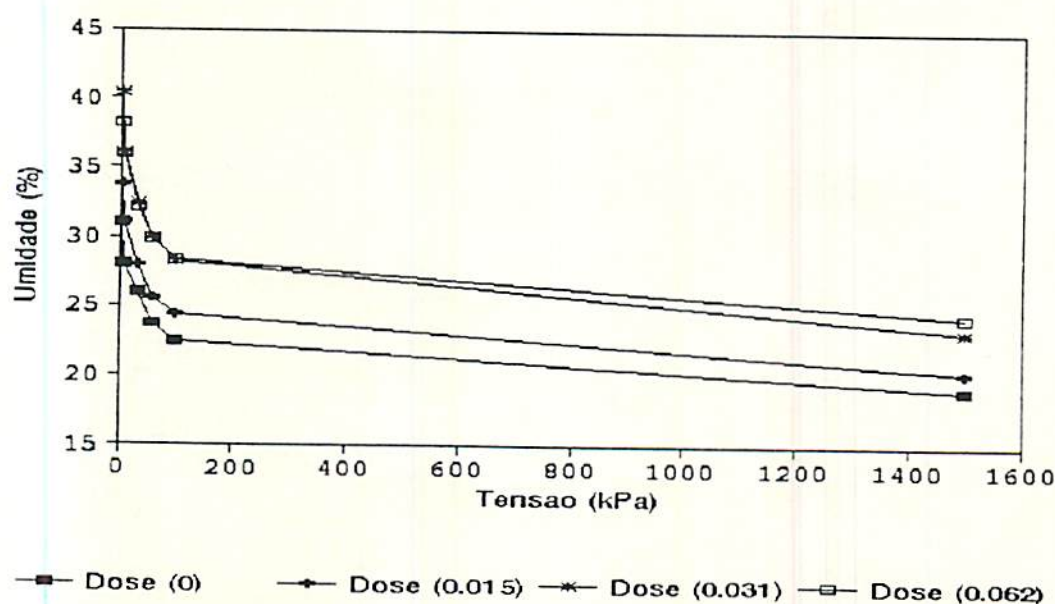


FIGURA 15. Curva de retenção de umidade na segunda época de coleta, camada (0-5cm) em função das concentrações de NaOH, em um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado (LE).

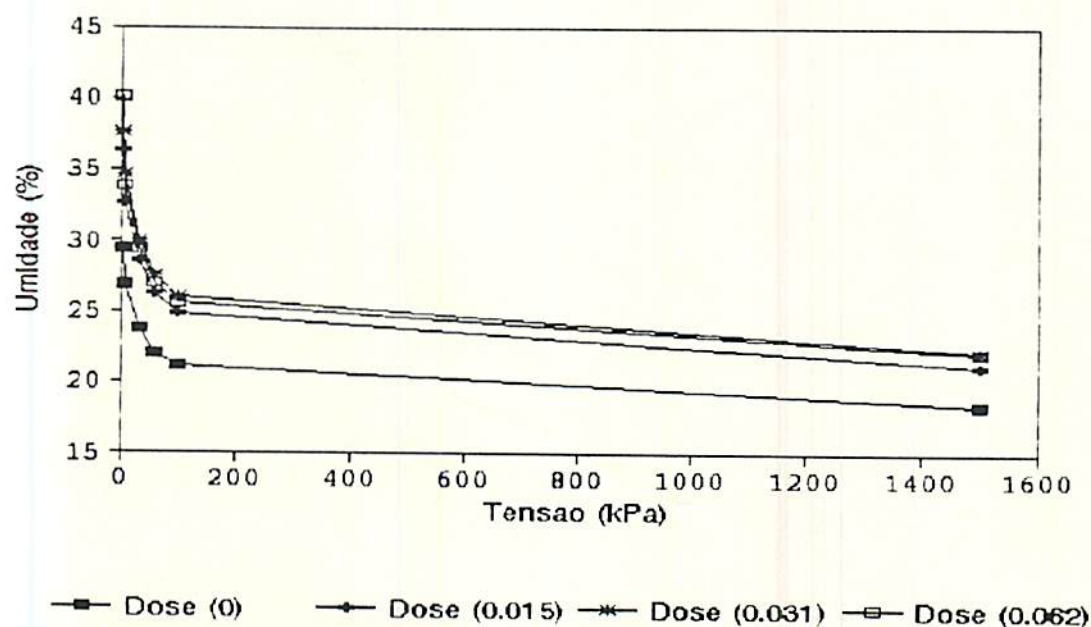


FIGURA 16. Curva de retenção de umidade na segunda época de coleta, camada (10-15cm) em função das concentrações de NaOH, em um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado (LE).

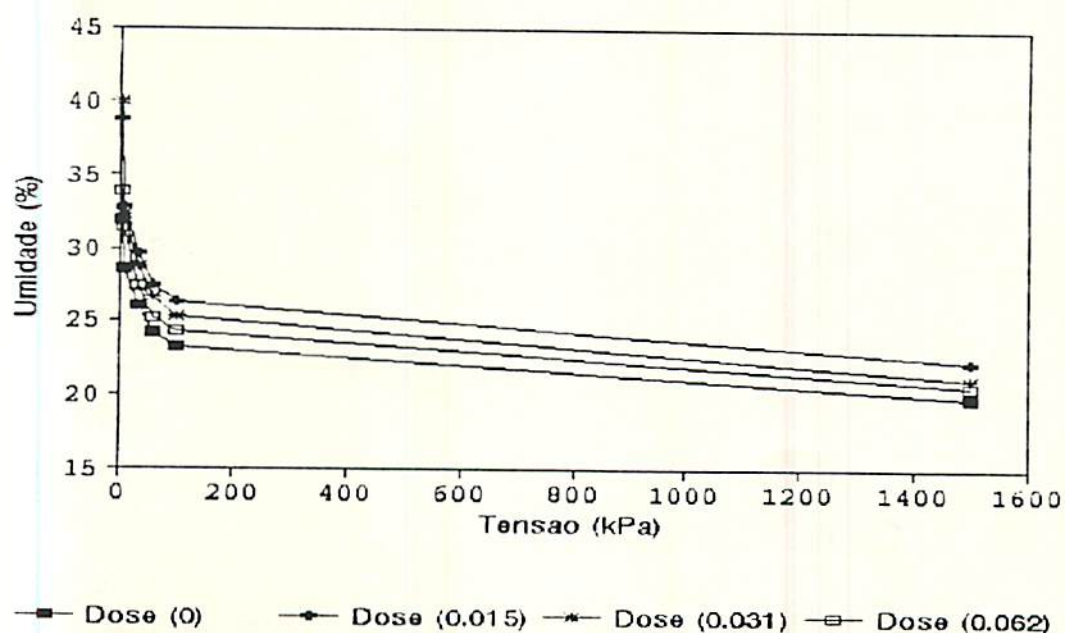


FIGURA 17. Curva de retenção de umidade na segunda época de coleta, camada (20-25cm) em função das concentrações de NaOH, em um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado (LE).

## 5.2 - Variáveis calculadas a partir de parâmetros medidos

### 5.2.1. - Armazenamento de água no solo para a faixa de tensão 10 a 100 kPa.

Esta variável foi calculada segundo a Equação (1), apresentando os seguintes valores médios apresentados nas tabelas 13 e 14.

TABELA 13. Valores médios de lâminas(mm) armazenadas na faixa de tensão(10-100kPa)nas profundidades (0-5 , 10-15 e 20-25 cm) ,relacionados às concentrações , para a primeira epoca de coleta de dados.

| CONC. DE NaOH (N) | (PROF.0-5 cm) | (PROF10-15cm) | (PROF20-25 cm) |
|-------------------|---------------|---------------|----------------|
| 0,0 (Testemunha)  | 4,44          | 4,83          | 4,48           |
| 0,015             | 4,42          | 4,51          | 3,63           |
| 0,031             | 2,72          | 3,91          | 4,27           |
| 0,062             | 2,5           | 3,92          | 4,43           |

TABELA 14. Valores médios de lâminas de água armazenadas na faixa de tensão (10-100 kPa) nas profundidades (0-5 , 10-15 e 20-25 cm) , relacionados às concentrações de hidróxido de sódio , para a segunda coleta de dados.

| CONC. DE NaOH (N) | (PROF.0-5 cm) | (PROF10-15cm) | (PROF20-25 cm) |
|-------------------|---------------|---------------|----------------|
| 0 (Testemunha)    | 2,77          | 2,85          | 2,63           |
| 0,015             | 3,26          | 3,91          | 3,25           |
| 0,031             | 3,93          | 4,32          | 3,48           |
| 0,062             | 3,79          | 4,14          | 3,53           |

Estudando-se os dados obtidos em diferentes épocas, após o tratamento do solo, verifica-se que na primeira coleta o armazenamento de água na faixa de tensão (10-100 kPa) não surtiu efeito de elevação na presença das soluções diluídas de hidróxido de sódio, provavelmente devido a não reatividade completa do produto com o solo. Porém, na segunda coleta, verificou-se a elevação do armazenamento de água, decorrente da possível reação completa do produto com os colóides do solo, segundo figuras 18, 19, 20 e 21. A concentração diluída 0,031 N apresentou maior resultado na elevação do armazenamento comportando-se como a melhor dose estudada. Para a profundidade de 0 a 5 cm a concentração que melhor surtiu efeito de elevação do armazenamento de água foi a 0,031 N, donde seu aumento foi de 42%. Na camada do solo compreendida entre 10 e 15 cm o melhor resultado foi apresentado pela concentração 0,031 N, equivalendo na elevação do armazenamento de água em 51 %, sendo que na camada de solo de 20 a 25 cm, a concentração de 0,062 N surtiu o melhor resultado na promoção da elevação do armazenamento, sendo o aumento equivalente a 34 %. Estudando-se o perfil do solo ( 0 - 25 cm), o maior aumento do armazenamento de água foi promovido pela concentração 0,031 N, equivalendo à 42 %.

É curioso observar que o armazenamento de água da testemunha diminuiu da primeira para a segunda época de coleta de dados, devido possivelmente a que na primeira época o solo havia sido trabalhado com máquinas (aração e gradagem), favorecendo desta forma uma maior quebra da estrutura do solo, e conseqüentemente apresentando uma maior superfície de contato água-solo. Contudo, o fenômeno que possivelmente regula a diminuição do valor do armazenamento na segunda época de coleta é a acomodação das partículas do solo com o tempo (agregação).

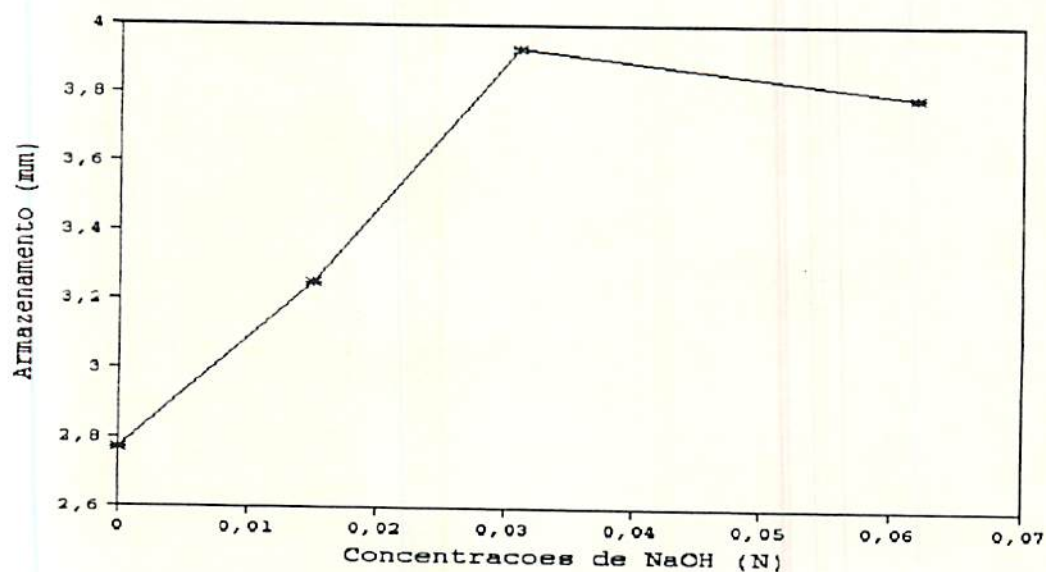


FIGURA 18 - Relação entre o armazenamento médio de água no solo na faixa de tensão (10-100 kPa) e as concentrações de NaOH, para a camada (0-5cm) de um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado, na segunda época de coleta.

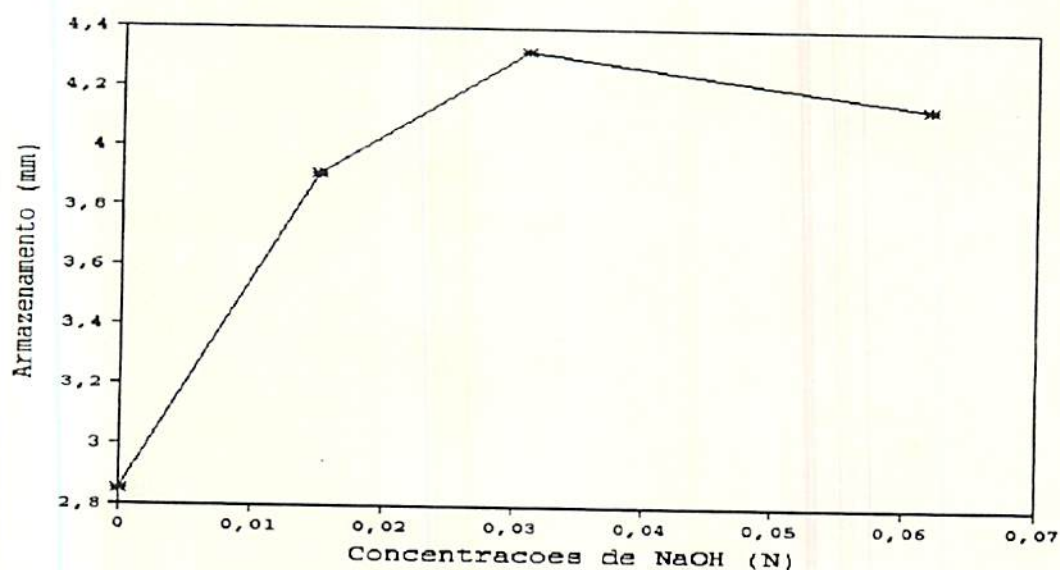


FIGURA 19 - Relação entre o armazenamento médio de água no solo na faixa de tensão (10-100 kPa) e as concentrações de NaOH, para a camada (10-15cm) de um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado, na segunda época de coleta.

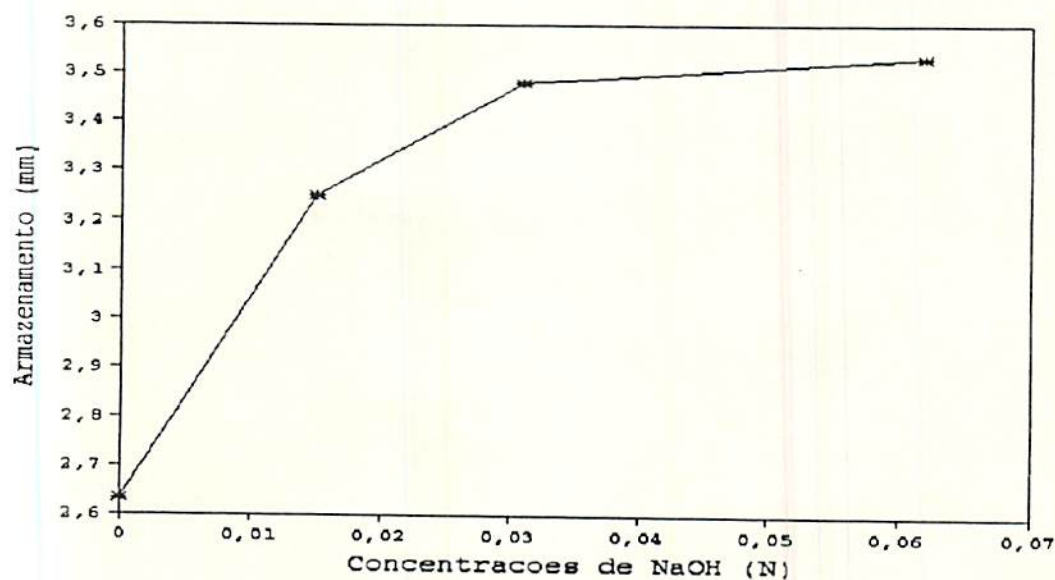


FIGURA 20 - Relação entre o armazenamento médio de água no solo na faixa de tensão (10-100 kPa) e as concentrações de NaOH, para a camada (20-25 cm) de um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado, na segunda época de coleta.

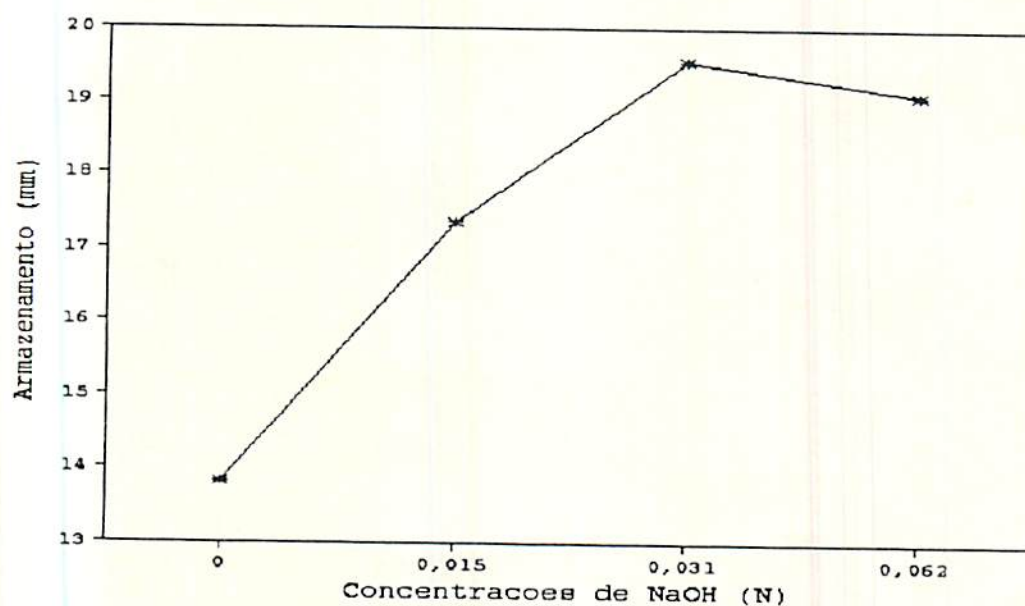


FIGURA 21 - Relação entre o armazenamento médio de água no solo na faixa de tensão (10-100 kPa) e as concentrações de NaOH, para o perfil (0-25 cm) de um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado, na segunda época de coleta.

### 5.2.2 - Microporosidade do Solo

Mediante o uso do teste estatístico de  $F(0,01)$ , constatou-se diferenças significativas entre as concentrações diluídas de hidróxido de sódio e o parâmetro microporosidade para a segunda época de coleta de dados, segundo tabelas 44 e 45 em anexo.

TABELA 15. Valores médios observados para a variável microporosidade na segunda época de coleta e sua relação com as concentrações diluídas de hidróxido de sódio.

| CONCENTRAÇÕES DE NaOH ( N ) | MICROPOROSIDADE ( % ) |
|-----------------------------|-----------------------|
| 0,0 (Testemunha)            | 30,70                 |
| 0,015                       | 36,29                 |
| 0,031                       | 39,62                 |
| 0,062                       | 37,50                 |

Para a primeira época de coleta de dados, verificou-se a existência de diferença significativa entre as camadas do solo estudadas mediante teste estatístico de  $F(0,05)$ , confirmando os resultados apresentados nos parâmetros condutividade hidráulica saturada, granulometria, umidade volumétrica à 10 kPa, umidade volumétrica à 1500 kPa e armazenamento de água no solo, provando quanto a origem, a existência de diferenciação entre as camadas do solo estudadas.

Na segunda época de coleta de dados, percebeu-se a alteração da variável microporosidade, devido ao efeito da aplicação do hidróxido de sódio, que altera o tamanho dos poros, revertendo-se em maior superfície de contato água-solo, confirmando os dados obtidos por Russo et al (1976),

segundo figura 22. Desta forma, a retenção de água do solo tendeu a ser maior, devido ao aparecimento de mais microporos no solo.

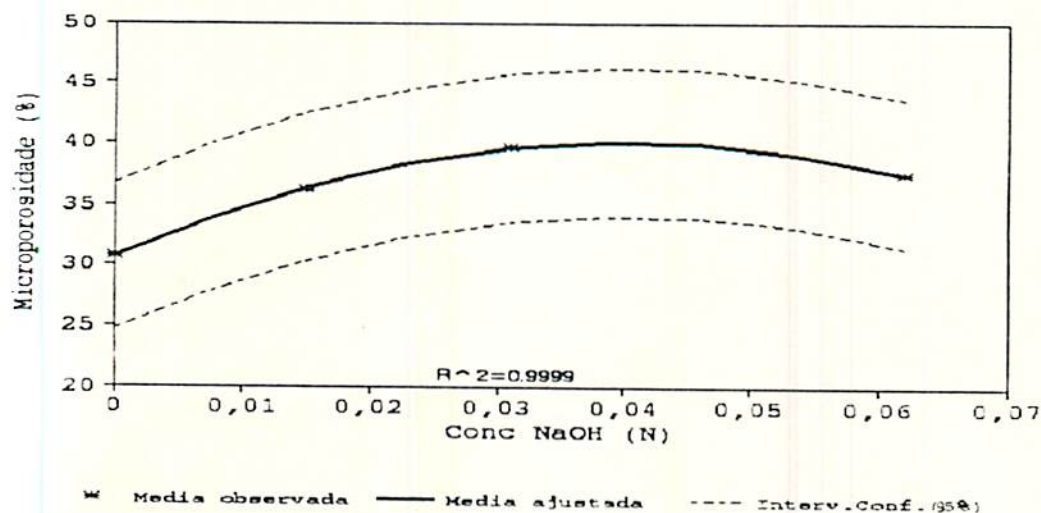


FIGURA 22 - Relação entre a microporosidade e as concentrações diluídas de NaOH para a segunda época de coleta de dados, em um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado

### 5.2.3 - Macroporosidade do Solo

Observando-se as tabelas 46 e 47 em anexo, segundo teste estatístico de  $F(0,01)$ , verifica-se existência de diferença significativa entre a proporção de macroporos existente no solo proporcionada pela adição de NaOH, para a segunda época de coleta de dados. Segundo a tabela 16, pode-se observar os valores médios da variável macroporosidade para as diferentes épocas de coleta de dados.



Figure 25 shows the results of the tests conducted at 100°C. The results are shown in Figure 25. The results are shown in Figure 25. The results are shown in Figure 25.

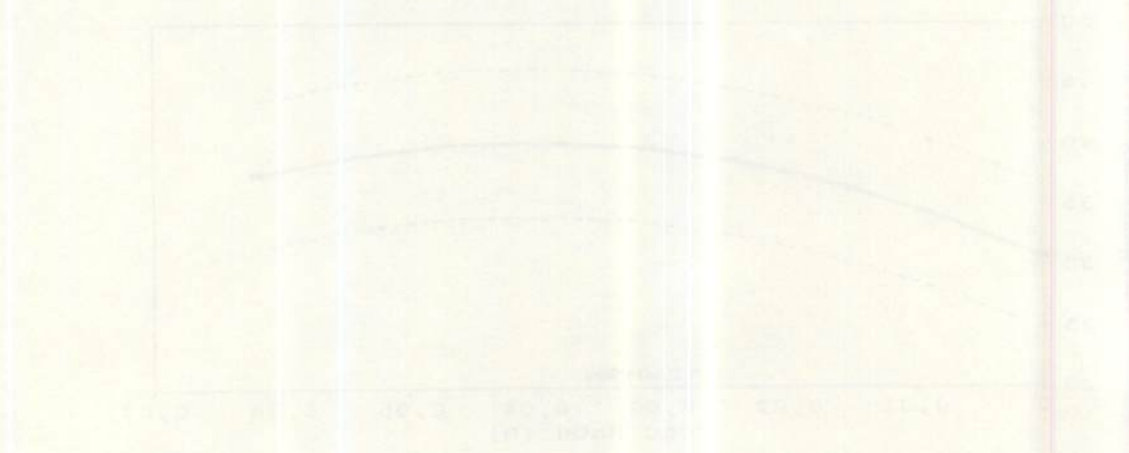


Figure 25. Results of tests at 100°C.

Figure 26 shows the results of the tests conducted at 150°C. The results are shown in Figure 26. The results are shown in Figure 26. The results are shown in Figure 26.

### 3.2. Results of tests at 150°C

The results of the tests conducted at 150°C are shown in Figure 27. The results are shown in Figure 27. The results are shown in Figure 27. The results are shown in Figure 27.

Figure 27. Results of tests at 150°C.

TABELA 16. Valores médios da percentagem de macroporos do solo correlacionando-se com as concentrações de NaOH.

| CONCENTRAÇÕES<br>DE NaOH (N) | MACROPOROSIDADE (%)<br>COLETA1 (7 dias após<br>tratamento do solo) | MACROPOROSIDADE (%)<br>COLETA2 (104 dias após<br>tratamento do solo) |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 0,0(Testemunha)              | 29,70                                                              | 33,12                                                                |
| 0,015                        | 27,04                                                              | 23,88                                                                |
| 0,031                        | 27,88                                                              | 19,00                                                                |
| 0,062                        | 27,36                                                              | 21,02                                                                |

Após o tratamento efetuado com as soluções diluídas de hidróxido de sódio, percebeu-se a alteração da variável macroporosidade devido a alteração do tamanho dos poros, efetivando no aumento da superfície de contato água solo (microporosidade) e consequente redução da quantidade de macroporos do solo, confirmando os dados obtidos por Russo et al. (1976).

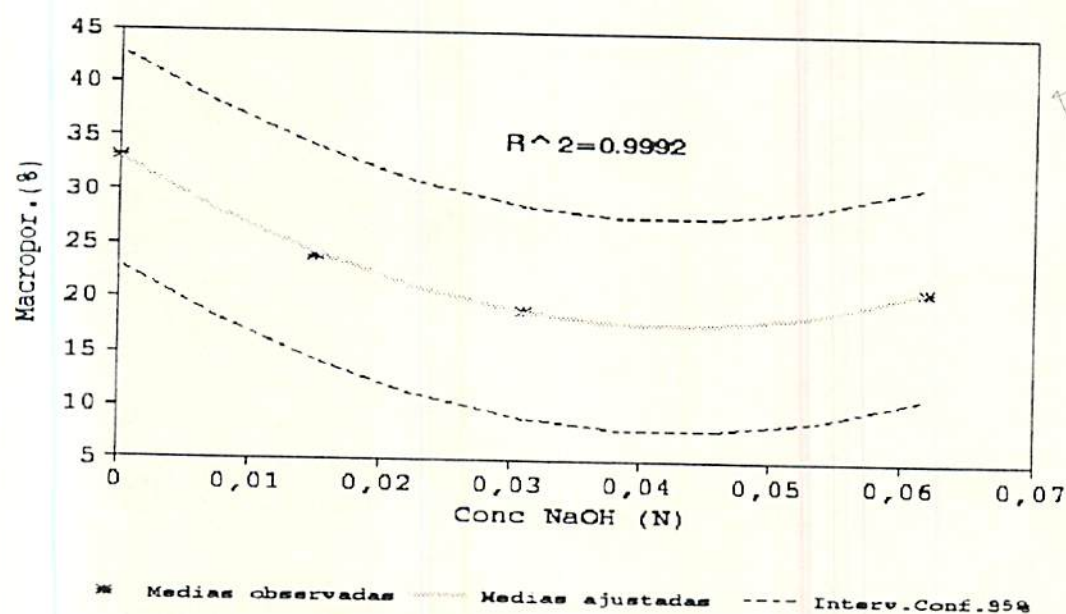


FIGURA 23 -Relação entre a macroporosidade e as concentrações diluídas de NaOH para a segunda época de coleta de dados, de um Latossolo Vermelho escuro de Cerrado.

#### 5.2.4 - Percentagem de Sódio Trocável (PST).

Observando-se as tabelas 48 e 49 em anexo, pode-se verificar diferença significativa ao teste de F(0,01) para os fatores (PST) e concentrações diluídas de NaOH. Segundo as tabelas 17, 18 e 19 a seguir, pode-se observar os valores médios da percentagem de sódio trocável e as concentrações diluídas de hidróxido de sódio. Segundo as figuras 24 e 25 pode-se visualizar o comportamento da PST na segunda épocas de coleta de dados.

TABELA 17. Valores médios observados na relação entre a percentagem de sódio trocável (PST) e as concentrações de NaOH, para a profundidade de solo (0-5 cm).

| CONCENTRAÇÕES DE<br>NaOH(N) | PST(%)   | PST (%)   |
|-----------------------------|----------|-----------|
|                             | COLETA-1 | COLETA -2 |
| 0,0(testemunha)             | 0        | 0         |
| 0,015                       | 6,18     | 5,00      |
| 0,031                       | 6,00     | 6,65      |
| 0,062                       | 4,03     | 11,00     |

TABELA 18. Valores médios observados na relação entre a percentagem de sódio trocável (PST) e as concentrações de NaOH, para a profundidade de solo (10-15cm).

| CONCENTRAÇÕES<br>DE NaOH(N) | PST(%)   | PST(%)    |
|-----------------------------|----------|-----------|
|                             | COLETA-1 | COLETA -2 |
| 0,0(testemunha)             | 0        | 0         |
| 0,015                       | 0        | 2,68      |
| 0,031                       | 0,24     | 3,17      |
| 0,062                       | 2,28     | 5,02      |

TABELA 19. Valores médios observados na relação entre a percentagem de sódio trocável (PST) e as concentrações de NaOH, para a profundidade de solo (20-25cm).

| CONCENTRAÇÕES DE<br>NaOH(N) | PST (%)  | PST(%)    |
|-----------------------------|----------|-----------|
|                             | COLETA-1 | COLETA -2 |
| 0,0(testemunha)             | 0        | 0         |
| 0,015                       | 0        | 0,66      |
| 0,031                       | 0        | 1,24      |
| 0,062                       | 0,12     | 2,15      |

A percentagem de sódio trocável observada na primeira época de coleta é relativamente baixa. Contudo, na segunda época de coleta, devido a melhor distribuição do sódio no perfil do solo promovida pelas chuvas ocorridas no período, verificou-se a presença do mesmo no perfil 0-25 cm. Porém, em ambos os períodos de coleta, o valor da percentagem de sódio trocável verificado no solo fora inferior a 11%, podendo desta forma demonstrar a provável não existência de toxidez nas plantas a serem plantadas nesta área experimental tratada com soluções diluídas de hidróxido de sódio, pois segundo Ayers e Westcot (1985) as culturas altamente sensíveis ainda são produtivas até valores próximos de 12% de PST.

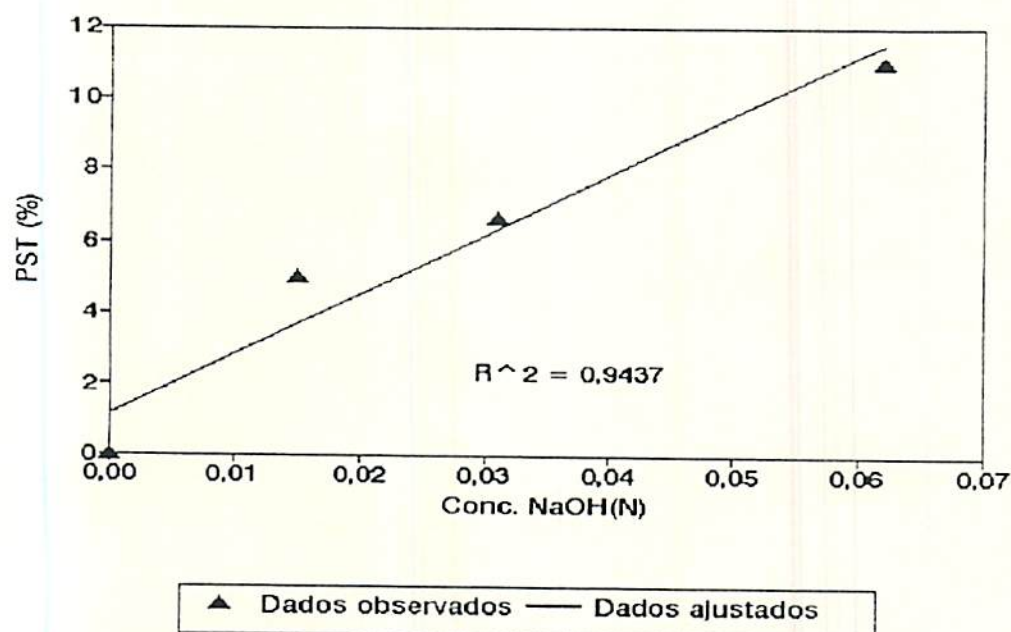


FIGURA 24. Relação entre a percentagem média de sódio trocável e as concentrações de NaOH para o perfil de solo 0-5 cm, para a segunda época de coleta de dados .

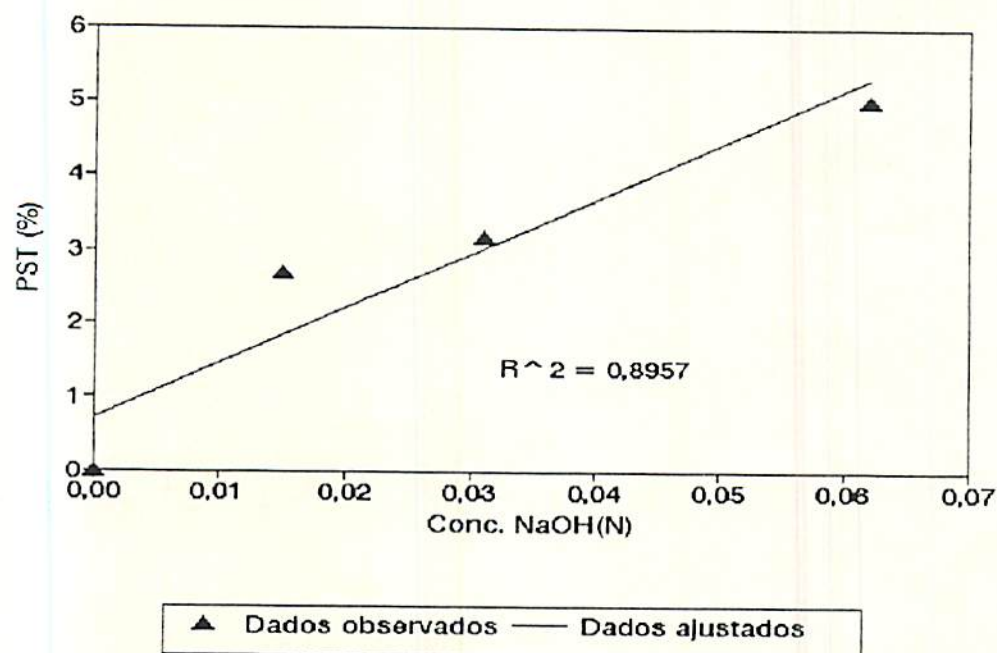


FIGURA 25. Relação entre a percentagem média de sódio trocável e as concentrações de NaOH para o perfil de solo 10-15 cm, para a segunda época de coleta de dados.

### 5.2.5 - Capacidade Efetiva de Troca de Cátions (CTC)

Embora não tenham sido estatisticamente diferentes ao teste de  $F(0,05)$  (tabelas 50 e 51 em anexo), os dados médios estão apresentados na tabela 20.

TABELA 20. Valores médios observados da CTC efetiva em função da concentrações de NaOH.

| CONCENTRAÇÕES DE NaOH (N) | CTC EFETIVA mEq/100g COLETA - 1 | CTC EFETIVA mEq/100g COLETA - 2 |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 0,0(Testemunha)           | 2,86                            | 3,04                            |
| 0.015                     | 3.14                            | 3.28                            |
| 0,031                     | 3,08                            | 3,25                            |
| 0.062                     | 3,55                            | 3,65                            |

### 5.3 Parâmetros correlacionados à fertilidade do solo

#### 5.3.1. Teor de Fósforo , Potássio , Calcio, Calcio + Magnésio e Alumínio .

De acordo com as tabelas 52 a 59 em anexo, tais parâmetros não apresentaram diferença estatística segundo teste de  $F(0,05)$ , ao se proceder com os tratamento das soluções de hidróxido de sódio. Porém, para o fator profundidade, verifica-se diferença significativa segundo teste estatístico  $F(0,05)$ , provando que nas distintas camadas estudadas existe diferenciação quanto à composição do solo. A tabela 21 apresenta os valores médios encontrados nas diferentes épocas de coleta de dados .

TABELA 21. Valores médios observados dos parâmetros correlacionados à fertilidade do solo na primeira e segunda época de coleta de dados.

| VARIÁVEIS                      | CONCENTRAÇÕES<br>DE NaOH (N) | COLETA - 1 | COLETA - 2 |
|--------------------------------|------------------------------|------------|------------|
| ALUMÍNIO (mEq/100 g)           | 0 (TESTEMUNHA)               | 0,225      | 0,290      |
|                                | 0,015                        | 0,160      | 0,196      |
|                                | 0,031                        | 0,165      | 0,160      |
|                                | 0,062                        | 0,069      | 0,105      |
| CÁLCIO+MAGNÉSIO<br>(mEq/100 g) | 0 (TESTEMUNHA)               | 2,562      | 2,685      |
|                                | 0,015                        | 2,838      | 2,930      |
|                                | 0,031                        | 2,575      | 2,876      |
|                                | 0,062                        | 3,025      | 2,319      |
| FÓSFORO (ppm)                  | 0 (TESTEMUNHA)               | 3,941      | 3,166      |
|                                | 0,015                        | 6,775      | 6,358      |
|                                | 0,031                        | 5,016      | 6,016      |
|                                | 0,062                        | 6,966      | 5,608      |
| POTASSIO (ppm)                 | 0 (TESTEMUNHA)               | 32,333     | 27,916     |
|                                | 0,015                        | 29,583     | 24,583     |
|                                | 0,031                        | 38,583     | 33,916     |
|                                | 0,062                        | 34,583     | 24,916     |

### 5.3.2 - Teor de Ferro (ppm)]

Segundo tabela 60 em anexo, verificou-se diferença significativa ao teste estatístico de  $F(0,07)$  para o teor de ferro. Os valores médios observados estão apresentados na tabela 22, sendo equivalentes à segunda época de coleta de dados .

TABELA 22. Valores médios observados dos teores de Ferro trocável em relação às concentrações de hidróxido de sódio, na segunda época de coleta de dados.

| CONCENTRAÇÕES DE<br>NaOH (N) | VALORES MÉDIOS (ppm) |
|------------------------------|----------------------|
| 0 (Testemunha)               | 603                  |
| 0,015                        | 524                  |
| 0,031                        | 523                  |
| 0,062                        | 540                  |

O teor de Ferro no solo pode ter diminuído ao se aplicar concentrações diluídas de NaOH . Isto tende a ocorrer já que o hidróxido de sódio remove agentes cimentantes do solo promovendo desta forma o aumento da retenção de água entre as placas de argila do solo, aumentando a capacidade de retenção de água, confirmando observações verificadas por El - Swaify & Emerson (1975). Devido a remoção de agentes cimentantes, o inchamento e dispersão da argila do solo foi favorecido, confirmando os resultados apresentados por Mc Neal(1968) e Lima(1987).

### 5.3.3. pH em água

Observando-se as tabelas 61 e 62 em anexo pode-se verificar que segundo teste estatístico de  $F(0,01)$  a adição de soluções diluídas de hidróxido de sódio ao solo promove alterações nos

valores do pH em água. Segundo tabela 23, pode-se analisar os valores médios observados nas distintas épocas de coleta de dados .

TABELA 23. Valores médios observados do pH em relação às concentrações diluídas de hidróxido de sódio na primeira e segunda época de coleta de dados.

| CONCENTRAÇÕES DE<br>NaOH (N) | VALORES   | VALORES   |
|------------------------------|-----------|-----------|
|                              | COLETA -1 | COLETA -2 |
| 0 (Testemunha)               | 5,20      | 5,25      |
| 0,015                        | 5,45      | 5,50      |
| 0,031                        | 5,57      | 5,59      |
| 0,062                        | 5,74      | 5,88      |

A aplicação das soluções diluídas de NaOH ao solo, propiciou uma pequena elevação dos teores do pH em água, devido o aumento das cargas negativas do sistema solo ocasionadas pela adição de hidroxilas que retira  $H^+$  do solo .

O aumento do pH ocasiona a diminuição das forças de floculação levando ao aumento da alcalinidade que tende a elevar a dispersão do solo devido às forças de hidratação.

## 6. Conclusões

Com base nos resultados encontrados nos vários parâmetros estudados , pode-se concluir que:

1. O NaOH remove agentes cimentantes do solo, favorecendo desta forma a quebra na estrutura, originando desagregação dos colóides do solo, ocasionando a elevação do teor de argila dispersa em água.
2. A aplicação das concentrações de Hidróxido de Sódio promove redução na condutividade hidráulica saturada, sendo a mesma decorrente da alteração da geometria dos poros devido a ocorrência dos fenômenos de dispersão dos colóides do solo devido a presença do íon sódio.
3. A aplicação das soluções diluídas de NaOH propicia a elevação da quantidade de microporos do solo, promovendo o aumento da superfície de contato água-solo, revertendo no aumento da retenção de água pelo solo.
4. As soluções de hidróxido de sódio promovem o aumento do armazenamento de água do solo na faixa de tensão (10 - 100 kPa), sendo que a concentração 0,031 N aumentou a capacidade do solo em reter água em 42 %.

5. Embora haja aumento na disponibilidade real de água e pequenas alterações nas características químicas do solo, recomenda-se em futuros estudos avaliar os impactos negativos da adição do NaOH, pois na dispersão é possível ocorrer a migração de argilas, que a longo prazo pode gerar alterações indesejáveis no perfil do solo.

## **Anexo**

TABELA 24. Análise de variância da variável condutividade hidráulica saturada na primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIACÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 370,8457           | 123,6152         | 0,9760     |
| Dose               | 3                 | 4451,3572          | 1483,7857        | 11,7153 ** |
| Resíduo(a)         | 9                 | 1139,8808          | 126,6534         |            |
| Parcelas           | 15                | 5962,0837          |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 1478,3847          | 739,1923         | 3,4804 *   |
| Prof×Dose          | 6                 | 320,9499           | 53,4916          | 0,2519     |
| Resíduo(b)         | 24                | 5097,2275          | 212,3844         |            |
| Total              | 47                | 12858,6460         |                  |            |

Média Geral= 28,7177

Coeficiente de Variação (a)=39,188%

Coeficiente de Variação (b)=50,747%

\*Significativo a F(0,05)

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 25. Análise de variância da variável argila dispersa em água, para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIACÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 22,1666            | 7,3888           | 0,7362     |
| Dose               | 3                 | 257,1666           | 85,7222          | 8,5406**   |
| Resíduo(a)         | 9                 | 90,3333            | 10,0370          |            |
| Parcelas           | 15                | 369,6666           |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 43,1666            | 21,5833          | 1,0658     |
| Prof×Dose          | 6                 | 60,8333            | 10,1388          | 0,5007     |
| Resíduo(b)         | 24                | 486,0000           | 20,2500          |            |
| Total              | 47                | 959,6666           |                  |            |

Média Geral = 31,9166

Coeficiente de Variação (a)= 9,926%

Coeficiente de Variação (b)= 14,099%

\*Significativo a F(0,05)

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 26. Análise de variância da variável argila dispersa em água, para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 12,5000            | 4,1666           | 0,0988     |
| Dose               | 3                 | 86,5000            | 28,833           | 0,6835     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 379,6666           | 42,1851          |            |
| Parcelas           | 15                | 478,6666           |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 15,1666            | 7,5833           | 2,5694     |
| Prof×Dose          | 6                 | 12,0000            | 2,0000           | 0,6776     |
| Resíduo(b)         | 24                | 70,8333            | 2,9513           |            |
| Total              | 47                |                    |                  |            |

Média Geral = 27,3333

Coeficiente de Variação (a)= 23,762%

Coeficiente de Variação (b)= 6,285%

TABELA 27. Análise de variância da variável resistência à penetração, para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 238,2500           | 79,4166          | 1,5440     |
| Dose               | 3                 | 584,7500           | 194,9166         | 3,7896 *   |
| Resíduo(a)         | 9                 | 462,9166           | 51,4351          |            |
| Parcelas           | 15                | 1285,9166          |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 173,6250           | 86,8125          | 3,0116     |
| Prof×Dose          | 6                 | 119,8750           | 19,9791          | 0,6931     |
| Resíduo(b)         | 24                | 691,8333           | 28,8263          |            |
| Total              | 47                | 2271,2500          |                  |            |

Média Geral = 22,87500

Coeficiente de Variação (a)= 31,352%

Coeficiente de Variação (b)= 23,471%

\*Significativo a F(0,05)

TABELA 28. Análise de variância da variável Fração Argila , para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 48,9166            | 16,3055          | 9,6230     |
| Dose               | 3                 | 1,7500             | 0,5833           | 0,3443     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 15,2500            | 1,6944           |            |
| Parcelas           | 15                | 65,9166            |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 18,3750            | 9,1875           | 11,7080**  |
| Prof×Dose          | 6                 | 8,1250             | 1,3541           | 1,7257     |
| Resíduo(b)         | 24                | 18,8333            | 0,7847           |            |
| Total              | 47                | 111,2500           |                  |            |

Média Geral = 51,3750

Coeficiente de Variação (a)= 2,533%

Coeficiente de Variação (b)= 1,724%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 29. Análise de variância da variável Fração Argila , para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 2,8958             | 0,9652           | 0,3774     |
| Dose               | 3                 | 0,3958             | 0,1319           | 0,0516     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 23,0208            | 2,5578           |            |
| Parcelas           | 15                | 26,3125            |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 23,7916            | 11,8958          | 24,1268 ** |
| Prof×Dose          | 6                 | 3,0416             | 0,5069           | 1,0282     |
| Resíduo(b)         | 24                | 11,8333            | 0,4930           |            |
| Total              | 47                | 64,9791            |                  |            |

Média Geral = 51,0208

Coeficiente de Variação (a)= 3,134%

Coeficiente de Variação (b)= 1,376%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 30. Análise de variância da variável Fração Silte , para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 14,8958            | 4,9652           | 2,7893     |
| Dose               | 3                 | 7,3958             | 2,4652           | 1,3849     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 16,0208            | 1,7800           |            |
| Parcelas           | 15                | 38,3125            |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 0,1250             | 0,0625           | 0,0978     |
| Prof×Dose          | 6                 | 2,5416             | 0,4236           | 0,6630     |
| Resíduo(b)         | 24                | 15,3333            | 0,6389           |            |
| Total              | 47                | 56,3125            |                  |            |

Média Geral = 6,6878

Coeficiente de Variação (a)= 19,949%

Coeficiente de Variação (b)= 11,952%

TABELA 31. Análise de variância da variável Fração Silte , para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 46,0625            | 15,3541          | 4,4073*    |
| Dose               | 3                 | 6,2291             | 2,0763           | 0,5960     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 31,3541            | 3,4837           |            |
| Parcelas           | 15                | 83,6458            |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 7,6250             | 3,8125           | 2,5896     |
| Prof×Dose          | 6                 | 7,7083             | 1,2847           | 0,8726     |
| Resíduo(b)         | 24                | 35,3333            | 1,4722           |            |
| Total              | 47                | 134,3125           |                  |            |

Média Geral = 7,6875

Coeficiente de Variação (a)= 24,279%

Coeficiente de Variação (b)= 15,783%

\*Significativo a F(0,05)

TABELA 32. Análise de variância da variável Fração Areia Grossa ,para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco             | 3                 | 1,5625             | 0,5208           | 3,0822     |
| Dose              | 3                 | 0,3958             | 0,1319           | 0,7808     |
| Resíduo(a)        | 9                 | 1,5208             | 0,1689           |            |
| Parcelas          | 15                | 3,4791             |                  |            |
| Profund.          | 2                 | 4,0416             | 2,0208           | 5,2909*    |
| Prof×Dose         | 6                 | 0,7916             | 0,1319           | 0,3455     |
| Resíduo(b)        | 24                | 9,1666             | 0,3819           |            |
| Total             | 47                | 17,4791            |                  |            |

Média Geral = 8,3958

Coeficiente de Variação (a)= 4,895%

Coeficiente de Variação (b)= 7,361%

\*Significativo a F(0,05)

TABELA 33. Análise de variância da variável Fração Areia Grossa ,para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco             | 3                 | 2,5625             | 0,8541           | 2,0847     |
| Dose              | 3                 | 1,5625             | 0,5208           | 1,2712     |
| Resíduo(a)        | 9                 | 3,6875             | 0,4097           |            |
| Parcelas          | 15                | 7,8125             |                  |            |
| Profund.          | 2                 | 0,2916             | 0,1458           | 0,2692     |
| Prof×Dose         | 6                 | 1,3750             | 0,2291           | 0,4231     |
| Resíduo(b)        | 24                | 13,0000            | 0,5416           |            |
| Total             | 47                | 22,4791            |                  |            |

Média Geral = 8,895

Coeficiente de Variação (a)= 7,195%

Coeficiente de Variação (b)= 8,273%

TABELA 34. Análise de variância da variável Fração Areia Fina ,para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIACÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 31,7500            | 10,5833          | 2,082      |
| Dose               | 3                 | 7,0833             | 2,3611           | 0,4645     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 45,7500            | 5,0833           |            |
| Parcelas           | 15                | 84,5833            |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 7,0416             | 3,5208           | 2,0119     |
| Prof×Dose          | 6                 | 8,2916             | 1,3819           | 0,7897     |
| Resíduo(b)         | 24                | 42,0000            | 1,7500           |            |
| Total              | 47                | 141,9166           |                  |            |

Média Geral = 33,5416

Coeficiente de Variação (a)= 6,721%

Coeficiente de Variação (b)= 3,944%

TABELA 35. Análise de variância da variável Fração Areia Fina ,para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIACÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 81,0625            | 27,0208          | 14,4289**  |
| Dose               | 3                 | 3,5625             | 1,1875           | 0,6341     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 16,8541            | 1,8726           |            |
| Parcelas           | 15                | 101,4791           |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 3,7916             | 1,8958           | 1,1281     |
| Prof×Dose          | 6                 | 5,8750             | 0,9791           | 0,5826     |
| Resíduo(b)         | 24                | 40,3333            | 1,6805           |            |
| Total              | 47                | 151,4791           |                  |            |

Média Geral = 32,3958

Coeficiente de Variação (a)= 4,224%

Coeficiente de Variação (b)= 4,002%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 36. Análise de variância da variável Densidade do Solo, para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 0,0091             | 0,0030           | 2,3726     |
| Dose               | 3                 | 0,0030             | 0,0010           | 0,7992     |
| Resíduo (a)        | 9                 | 0,0115             | 0,0012           |            |
| Parcelas           | 15                | 0,0237             |                  |            |
| Profundidade       | 2                 | 0,0021             | 0,0010           | 0,9857     |
| Prof* Dose         | 6                 | 0,0013             | 0,0002           | 0,2132     |
| Resíduo (b)        | 24                | 0,0257             | 0,0010           |            |
| Total              | 47                | 0,0529             |                  |            |

Média Geral = 1,0218

Coeficiente de Variação (a) = 3,390%

Coeficiente de Variação (b) = 3,203%

TABELA 37. Análise de variância da variável Densidade do Solo, para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 0,0081             | 0,0027           | 0,2942     |
| Dose               | 3                 | 0,1417             | 0,0472           | 5,0990 *   |
| Resíduo(a)         | 9                 | 0,0833             | 0,0092           |            |
| Parcelas           | 15                | 0,2332             |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 0,0024             | 0,0012           | 0,3220     |
| Prof×Dose          | 6                 | 0,0432             | 0,0072           | 1,8908     |
| Resíduo(b)         | 24                | 0,0914             | 0,0038           |            |
| Total              | 47                | 0,3703             |                  |            |

Média Geral = 1,0670

Coeficiente de Variação (a) = 8,989%

Coeficiente de Variação (b) = 5,785%

\*Significativo a F(0,05)

TABELA 38. Análise de variância da variável Umidade a 10 kPa ,para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIACÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 50,6372            | 16,8790          | 13,6721**  |
| Dose               | 3                 | 31,5626            | 10,5208          | 8,5219**   |
| Resíduo(a)         | 9                 | 11,1111            | 1,2345           |            |
| Parcelas           | 15                | 93,3110            |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 192,6231           | 96,3115          | 26,2342**  |
| Prof×Dose          | 6                 | 31,9272            | 5,3212           | 1,4494     |
| Resíduo(b)         | 24                | 88,1092            | 3,6712           |            |
| Total              | 47                | 405,9706           |                  |            |

Média Geral = 33,1593

Coeficiente de Variação (a)= 3,350%

Coeficiente de Variação (b)= 5,778%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 39. Análise de variância da variável umidade a 10 kPa, para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIACÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 46,4617            | 15,4872          | 0,9301     |
| Dose               | 3                 | 311,8545           | 103,9515         | 6,2431**   |
| Resíduo(a)         | 9                 | 149,8544           | 16,6504          |            |
| Parcelas           | 15                | 508,1707           |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 17,6344            | 8,8172           | 2,025      |
| Prof×Dose          | 6                 | 67,4217            | 11,2369          | 2,5815*    |
| Resíduo(b)         | 24                | 104,4684           | 4,3528           |            |
| Total              | 47                | 697,6953           |                  |            |

Média Geral = 32,0254

Coeficiente de Variação (a)= 12,741%

Coeficiente de Variação (b)= 6,515%

\*Significativo a F(0,05)

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 40. Análise de variância da variável umidade a 100 kPa, para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco             | 3                 | 16,0631            | 5,3543           | 1,3146     |
| Dose              | 3                 | 121,4989           | 40,4996          | 9,9434 **  |
| Resíduo(a)        | 9                 | 36,6569            | 4,0729           |            |
| Parcelas          | 15                | 174,2190           |                  |            |
| Profund.          | 2                 | 20,1515            | 10,0757          | 3,7374*    |
| Prof×Dose         | 6                 | 40,0094            | 6,6682           | 2,4734*    |
| Resíduo(b)        | 24                | 64,7026            | 2,6959           |            |
| Total             | 47                | 299,0827           |                  |            |

Média Geral = 25,2024

Coeficiente de Variação (a)= 8,007%

Coeficiente de Variação (b)= 6,515%

\*Significativo a F(0,05)

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 41. Análise de variância da variável umidade a 100 kPa, para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco             | 3                 | 13,5297            | 4,5099           | 0,6392     |
| Dose              | 3                 | 131,1670           | 43,7223          | 6,1967**   |
| Resíduo(a)        | 9                 | 63,5017            | 7,0557           |            |
| Parcelas          | 15                | 208,1985           |                  |            |
| Profund.          | 2                 | 18,2001            | 9,1000           | 3,4773*    |
| Prof×Dose         | 6                 | 49,7153            | 8,2858           | 3,1662     |
| Resíduo(b)        | 24                | 62,8074            | 2,6169           |            |
| Total             | 47                | 338,9214           |                  |            |

Média Geral = 25,0366

Coeficiente de Variação (a)= 10,609%

Coeficiente de Variação (b)= 6,461%

\*Significativo a F(0,05)

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 42. Análise de variância da variável umidade a 1500 kPa, para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 8,5763             | 2,8587           | 1,3222     |
| Dose               | 3                 | 8,4494             | 2,8164           | 1,3026     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 19,4598            | 2,1620           |            |
| Parcelas           | 15                | 36,4856            |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 90,9847            | 45,4923          | 38,8869**  |
| Prof×Dose          | 6                 | 13,8974            | 2,3162           | 1,9799     |
| Resíduo(b)         | 24                | 28,0767            | 1,1698           |            |
| Total              | 47                | 169,4445           |                  |            |

Média Geral = 21,0000

Coeficiente de Variação (a) = 7,001%

Coeficiente de Variação (b) = 5,150%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 43. Análise de variância da variável umidade à 1500 kPa, para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 15,5549            | 5,1849           | 0,9349     |
| Dose               | 3                 | 79,6588            | 26,5529          | 4,7879 *   |
| Resíduo(a)         | 9                 | 49,9124            | 5,5458           |            |
| Parcelas           | 15                | 145,1262           |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 6,6881             | 3,3440           | 2,3924     |
| Prof×Dose          | 6                 | 43,1221            | 7,1870           | 5,1417**   |
| Resíduo(b)         | 24                | 33,5468            | 1,3977           |            |
| Total              | 47                | 228,4834           |                  |            |

Média Geral = 21,2135

Coeficiente de Variação (a) = 11,101%

Coeficiente de Variação (b) = 5,573%

\*Significativo a F(0,05)

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 44. Análise de variância da variável Microporosidade ,para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 42,7194            | 14,2398          | 0,6483     |
| Dose               | 3                 | 66,1321            | 22,0440          | 1,0036     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 197,6922           | 21,9658          |            |
| Parcelas           | 15                | 306,5439           |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 286,3682           | 143,1841         | 11,6402**  |
| Prof×Dose          | 6                 | 102,4587           | 17,0764          | 1,3882     |
| Resíduo(b)         | 24                | 295,2186           | 12,3007          |            |
| Total              | 47                | 990,5895           |                  |            |

Média Geral = 33,9650

Coeficiente de Variação (a)= 13,798%

Coeficiente de Variação (b)= 10,326%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 45. Análise de variância da variável Microporosidade ,para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 113,3320           | 37,7773          | 1,3129     |
| Dose               | 3                 | 522,7449           | 174,2483         | 6,0557**   |
| Resíduo(a)         | 9                 | 258,9705           | 28,7745          |            |
| Parcelas           | 15                | 895,0475           |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 2,5722             | 1,2861           | 0,1143     |
| Prof×Dose          | 6                 | 114,4687           | 19,0781          | 1,6953     |
| Resíduo(b)         | 24                | 270,0806           | 11,2533          |            |
| Total              | 47                | 1282,1691          |                  |            |

Média Geral = 36,0314

Coeficiente de Variação (a)= 14,887%

Coeficiente de Variação (b)= 9,310%

\*\*Significativo a F(0,01)



TABELA 46. Análise de variância da variável Macroporosidade, para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 73,7796            | 24,5932          | 1,2042     |
| Dose               | 3                 | 50,8612            | 16,9537          | 0,8301     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 183,8036           | 20,4226          |            |
| Parcelas           | 15                | 308,4445           |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 312,4979           | 156,2489         | 9,4752**   |
| Prof×Dose          | 6                 | 84,2203            | 14,0367          | 0,8512     |
| Resíduo(b)         | 24                | 395,7657           | 16,4902          |            |
| Total              | 47                | 1100,9286          |                  |            |

Média Geral = 27,9983

Coeficiente de Variação (a)= 16,140%

Coeficiente de Variação (b)=14,504%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 47. Análise de variância da variável Macroporosidade, para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 175,4112           | 58,4704          | 1,2777     |
| Dose               | 3                 | 1400,6786          | 466,8928         | 10,2022**  |
| Resíduo(a)         | 9                 | 411,8734           | 45,7637          |            |
| Parcelas           | 15                | 1987,9633          |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 8,6114             | 4,3057           | 0,2069     |
| Prof×Dose          | 6                 | 268,8473           | 44,8078          | 2,1528     |
| Resíduo(b)         | 24                | 499,5180           | 20,8132          |            |
| Total              | 47                | 2764,9401          |                  |            |

Média Geral = 24,2622

Coeficiente de Variação (a)= 27,882%

Coeficiente de Variação (b)= 18,803%

\*Significativo a F(0,05)

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 48. Análise de variância da variável Percentagem de Sódio Trocável, para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 14,8155            | 4,9385           | 1,5678     |
| Dose               | 3                 | 45,2305            | 15,0768          | 4,7863*    |
| Resíduo(a)         | 9                 | 28,3501            | 3,1500           |            |
| Parcelas           | 15                | 88,3962            |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 144,0695           | 72,0347          | 19,2682**  |
| Prof×Dose          | 6                 | 84,9988            | 14,1664          | 3,7893**   |
| Resíduo(b)         | 24                | 89,7248            | 3,7385           |            |
| Total              | 47                | 407,1894           |                  |            |

Média Geral = 1,6573

Coeficiente de Variação (a) = 107,091%

Coeficiente de Variação (b) = 116,665%

\*Significativo a F(0,05)

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 49. Análise de variância da variável Percentagem de Sódio Trocável, para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 10,6301            | 3,5433           | 1,5128     |
| Dose               | 3                 | 226,0524           | 75,3508          | 32,1705**  |
| Resíduo(a)         | 9                 | 21,0800            | 2,3422           |            |
| Parcelas           | 15                | 257,7626           |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 177,0457           | 88,5228          | 162,3415** |
| Prof×Dose          | 6                 | 83,8476            | 13,9746          | 25,6279**  |
| Resíduo(b)         | 24                | 13,0869            | 0,5452           |            |
| Total              | 47                | 531,7429           |                  |            |

Média Geral = 3,1350

Coeficiente de Variação (a) = 48,817%

Coeficiente de Variação (b) = 23,555%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 50. Análise de variância da variável Capacidade de Troca de Cátions, para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 5,5306             | 1,8435           | 5,4429*    |
| Dose               | 3                 | 2,9718             | 0,9906           | 2,9247 -*  |
| Resíduo(a)         | 9                 | 3,0483             | 0,3387           |            |
| Parcelas           | 15                | 11,5508            |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 27,1336            | 13,5668          | 50,1545**  |
| Prof×Dose          | 6                 | 0,6435             | 0,1072           | 0,3965     |
| Resíduo(b)         | 24                | 6,4920             | 0,2705           |            |
| Total              | 47                | 45,8201            |                  |            |

Média Geral = 3,1618

Coeficiente de Variação (a)= 18,406%

Coeficiente de Variação (b)= 16,449%

\*Significativo a F(0,05)

\*\*Significativo a F(0,01)

-\*Significativo a F(0,09)

TABELA 51. Análise de variância da variável Capacidade de Troca de Cátions, para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 15,7906            | 5,2635           | 7,4354     |
| Dose               | 3                 | 2,3296             | 0,7765           | 1,0970     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 6,3711             | 0,7079           |            |
| Parcelas           | 15                | 24,4914            |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 27,7274            | 13,8637          | 80,4202    |
| Prof×Dose          | 6                 | 1,3666             | 0,2277           | 1,3213     |
| Resíduo(b)         | 24                | 4,1373             | 0,1723           |            |
| Total              | 47                | 57,7229            |                  |            |

Média Geral = 3,3091

Coeficiente de Variação (a)= 25,425%

Coeficiente de Variação (b)= 12,547%

TABELA 52. Análise de variância da variável Fosforo disponível , para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco             | 3                 | 96,2816            | 32,0938          | 0,5453     |
| Dose              | 3                 | 75,7950            | 25,2650          | 0,4292     |
| Resíduo(a)        | 9                 | 529,7400           | 58,8600          |            |
| Parcelas          | 15                | 701,8166           |                  |            |
| Profund.          | 2                 | 409,5487           | 204,7743         | 15,9501**/ |
| Prof×Dose         | 6                 | 43,9012            | 7,3168           | 0,5699     |
| Resíduo(b)        | 24                | 308,1233           | 12,8384          |            |
| Total             | 47                | 1463,3900          |                  |            |

Média Geral = 5,6750

Coefficiente de Variação (a)= 135,189%

Coefficiente de Variação (b)= 63,138%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA 53. Análise de variância da variável Fosforo disponível , para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco             | 3                 | 75,0575            | 25,0191          | 0,6768     |
| Dose              | 3                 | 75,3508            | 25,1169          | 0,6794     |
| Resíduo(a)        | 9                 | 332,7108           | 36,9678          |            |
| Parcelas          | 15                | 483,1191           |                  |            |
| Profund.          | 2                 | 407,8287           | 203,9143         | 24,7279**  |
| Prof×Dose         | 6                 | 42,5329            | 7,0888           | 0,8596     |
| Resíduo(b)        | 24                | 197,9116           | 8,2463           |            |
| Total             | 47                | 1131,3924          |                  |            |

Média Geral = 5,2875

Coefficiente de Variação (a)= 114,990%

Coefficiente de Variação (b)= 54,310%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA.54. Análise de variância da variável Potássio disponível , para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 78,7291            | 26,2430          | 0,0657     |
| Dose               | 3                 | 521,0625           | 173,6875         | 0,4346     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 3596,6875          | 399,6319         |            |
| Parcelas           | 15                | 4196,4791          |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 20906,1666         | 10453,0833       | 125,7304** |
| Prof×Dose          | 6                 | 634,5000           | 105,7500         | 1,2720     |
| Resíduo(b)         | 24                | 1995,3333          | 83,1388          |            |
| Total              | 47                | 27732,4791         |                  |            |

Média Geral = 33,7708

Coefficiente de Variação (a)= 59,195%

Coefficiente de Variação (b)= 27,000%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA.55 Análise de variância da variável Potássio disponível , para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 413,8333           | 137,9444         | 0,3979     |
| Dose               | 3                 | 673,0000           | 224,3333         | 0,6470     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 3120,5000          | 346,7222         |            |
| Parcelas           | 15                | 4207,3333          |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 5282,04166         | 2691,0208        | 59,9856**  |
| Prof×Dose          | 6                 | 308,6250           | 51,4375          | 1,1466     |
| Resíduo(b)         | 24                | 1076,6666          | 44,8611          |            |
| Total              | 47                | 10974,6666         |                  |            |

Média Geral = 27,8333

Coefficiente de Variação (a)= 66,900%

Coefficiente de Variação (b)= 24,064%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA.56. Análise de variância da variável Cálcio + Magnésio, para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco             | 3                 | 12,8709            | 4,2903           | 6,6103**   |
| Dose              | 3                 | 1,7925             | 0,5975           | 0,9216     |
| Resíduo(a)        | 9                 | 5,8413             | 0,6490           |            |
| Parcelas          | 15                | 20,5048            |                  |            |
| Profund.          | 2                 | 19,8316            | 9,9158           | 65,1426**  |
| Prof×Dose         | 6                 | 1,2367             | 0,2061           | 1,3542     |
| Resíduo(b)        | 24                | 3,6532             | 0,1522           |            |
| Total             | 47                | 45,2264            |                  |            |

Média Geral = 2,7506

Coeficiente de Variação (a)= 29,288%

Coeficiente de Variação (b)= 14,184%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA.57 Análise de variância da variável Cálcio + Magnésio, para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco             | 3                 | 20,4223            | 6,8074           | 7,3446**   |
| Dose              | 3                 | 2,4744             | 0,8248           | 0,8899     |
| Resíduo(a)        | 9                 | 8,3418             | 0,9268           |            |
| Parcelas          | 15                | 31,2385            |                  |            |
| Profund.          | 2                 | 26,3274            | 13,1637          | 52,2781**  |
| Prof×Dose         | 6                 | 1,1978             | 0,1996           | 0,7928     |
| Resíduo(b)        | 24                | 6,0432             | 0,2518           |            |
| Total             | 47                | 64,8070            |                  |            |

Média Geral = 2,9506

Coeficiente de Variação (a)= 32,627%

Coeficiente de Variação (b)= 17,007%

\*Significativo a F(0,05)

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA.58 Análise de variância da variável Alumínio trocável, para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 0,3782             | 0,1260           | 3,9124     |
| Dose               | 3                 | 0,1487             | 0,0495           | 1,5380     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 0,2900             | 0,0322           |            |
| Parcelas           | 15                | 0,8170             |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 0,4577             | 0,2288           | 15,5476**  |
| Prof×Dose          | 6                 | 0,0443             | 0,0073           | 0,5023     |
| Resíduo(b)         | 24                | 0,3532             | 0,0147           |            |
| Total              | 47                | 1,6723             |                  |            |

Média Geral = 0,1547

Coeficiente de Variação (a)= 115,994%

Coeficiente de Variação (b)= 78,379%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA.59 Análise de variância da variável Alumínio trocável, para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIAÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco              | 3                 | 0,6337             | 0,2112           | 8,0849**   |
| Dose               | 3                 | 0,2178             | 0,0726           | 2,7789     |
| Resíduo(a)         | 9                 | 0,2351             | 0,0261           |            |
| Parcelas           | 15                | 1,0867             |                  |            |
| Profund.           | 2                 | 0,4893             | 0,2446           | 16,5006**  |
| Prof×Dose          | 6                 | 0,02898            | 0,0048           | 0,3258     |
| Resíduo(b)         | 24                | 0,3559             | 0,0148           |            |
| Total              | 47                | 1,9609             |                  |            |

Média Geral = 0,1879

Coeficiente de Variação (a)= 85,979%

Coeficiente de Variação (b)= 64,803%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA.60 Análise de variância da variável Ferro trocável, para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco             | 3                 | 49996,9663         | 16665,6554       | 2,5312     |
| Dose              | 3                 | 52247,3254         | 17415,7751       | 2,6451     |
| Resíduo(a)        | 9                 | 59257,2653         | 6584,1405        |            |
| Parcelas          | 15                | 161501,5572        |                  |            |
| Profund.          | 2                 | 13798,7597         | 6899,3798        | 0,9249     |
| Prof×Dose         | 6                 | 98799,2498         | 16466,5416       | 2,2073(+*) |
| Resíduo(b)        | 24                | 179038,8815        | 7459,9533        |            |
| Total             | 47                | 453138,4484        |                  |            |

Média Geral = 547,9000

Coefficiente de Variação (a)= 14,809%

Coefficiente de Variação (b)=15,764%

(+\*)=Significativo a F(0,07)

TABELA.61 Análise de variância da variável pH em água, para a primeira época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco             | 3                 | 0,0866             | 0,0288           | 0,5029     |
| Dose              | 3                 | 1,8750             | 0,6250           | 10,9223**  |
| Resíduo(a)        | 9                 | 0,5149             | 0,0572           |            |
| Parcelas          | 15                | 2,4766             |                  |            |
| Profund.          | 2                 | 3,4479             | 1,7239           | 30,6860**  |
| Prof×Dose         | 6                 | 0,7037             | 0,1172           | 2,0878     |
| Resíduo(b)        | 24                | 1,3483             | 0,0561           |            |
| Total             | 47                | 7,9766             |                  |            |

Média Geral = 5,4916

Coefficiente de Variação (a)= 4,355%

Coefficiente de Variação (b)= 4,316%

\*\*Significativo a F(0,01)

TABELA.62 Análise de variância da variável pH em água, para a segunda época de coleta de dados.

| CAUSAS DE VARIÇÃO | GRAU DE LIBERDADE | SOMA DOS QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | VALOR DE F |
|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|
| Bloco             | 3                 | 1,0200             | 0,3400           | 5,2911     |
| Dose              | 3                 | 2,4516             | 0,8172           | 12,7176**  |
| Resíduo(a)        | 9                 | 0,5783             | 0,0642           |            |
| Parcelas          | 15                | 4,0500             |                  |            |
| Profund.          | 2                 | 2,2254             | 1,1127           | 66,4855**  |
| Prof×Dose         | 6                 | 0,3595             | 0,0599           | 3,5809**   |
| Resíduo(b)        | 24                | 0,4016             | 0,01673          |            |
| Total             | 47                | 7,0366             |                  |            |

Média Geral = 5,5583

Coefficiente de Variação (a)= 4,558%

Coefficiente de Variação (b)= 2,327%

\*\*Significativo a F(0,01)

## 8 Referências Bibliográficas

01. AYERS, R. S ; WESTCOT, D. W. *Water quality for agriculture*. FAO, Rome, v.29, 1985. 218 p.
02. BARBOSA, R. O. *Retenção de água de um perfil alfissolo do município de Lavras-MG*. Lavras : ESAL, 1978. 103 p. ( Tese-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)
03. BAVER, L. D. *Soil permeability in relation to non capillary porosity*. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.3, p. 52-56, 1938.
04. BAVER, L. D. ; GARDNER, W. H. ; GARDNER, W. R. *Soil Physics*. 4.ed. New York : John Wiley, 1972. 498 p.
05. BRADY, N. C. *Natureza e Propriedades dos Solos*. 8.ed. Rio de Janeiro : Livraria Freitas Bastos, 1983. 647 p.
06. CARVALHO, M. C. de. *Eficiência de dispersantes na análise textural de materiais de solos com horizonte b Latossólico e b Textural*. Lavras : ESAL, 1985. 79 p.
07. DAY, P. R. *Particle fractionation and particle size analysis*. In : BLACK, C. A. (ed) *Methods of soil analysis*. Physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling. Madison : American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p. 545-567.
08. EL - SWAIFY, S. A. *Changes in the physical properties of soil clays due to precipitated Al and Fe hidróxides : II Colloidal interaction in the absence of drying*. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.40, p. 516-520, 1976.
09. EL - SWAIFY, S. A. *Structural changes in tropical soils due to anions in irrigation water*. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.115 p. 64-72, 1973.
10. EL - SWAIFY, S. A. ; EMERSON, W. W. *Changes in the physical properties of soil clays due to precipitated Aluminum and iron hidróxides : I Swelling and aggregate stability after drying*. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v. 39, p. 1056-1063, 1975.
11. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1979.

12. FERNANDES, B. ; GALLOWAY, H. M. ; BRONSON, R. D. ; MANNERING, J. Condutividade hidráulica do solo saturado, em três sistemas de manejo. Revista. Ceres, Viçosa, v. 30, p. 232-241, 1983.
13. FRENKEL, H. J.; GOERTZEN, J. O. ; RHOADES, J. D. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. Soil Science of America proceedings, Madison, v. 42, p. 32-39, 1978.
14. GARDNER, W. R. Some soil properties related to the sodium salt problem in irrigated soil. Washington : USDA, 1945. n.p. (Technical Bulletin, 902).
15. GARDNER, W. R ; MAYHUEH, M. S. ; GOWRTZEN, J. O. & BOWER, C. A. Effect of electrolyte concentration and exchangeable sodium percent on diffusivity of water in soil. Soil Sci. Baltimore, V. 88, P. 270-274, 1959.
16. GROHMAN, W. R. Elementos de Pedologia. Polígono, São Paulo, p. 77-84, 1972.
17. GONZALES-ERICO, E. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn in oxisols of central Brazil. North Carolina State University, Raleigh : 1976 (Tese de Doutorado)
18. KHAMMAD, S. A. & KARPACHEVSKIY, L. O. Effect of salts on soil moisture potential. Scripce technica, Inc. Moscow State University. 1978. 5: 124-128.
19. KIRKHAM, D ; POWERS, W. L. Advanced soil physics. New York : Interscience, 1972. 584 p.
20. LANDA, E. R ; GAST, R. G. Evolution of crystallinity in hydrated ferrioxides Clays and clay mineralis. Clakson, v. 21, p. 121-130, 1973.
21. LIMA, J. M. ; CURI, N. ; RESENDE, M. ; SANTANA, D. P. Dispersão do material do solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. Revista Brasileira Ciência do Solo, Campinas, v. 14, p. 85-90, 1990.
22. LIMA, L. A. Polietileno, compactação e tratamento químico na redução das perdas de água por infiltração em canais de irrigação. Revista Agropecuária Brasileira, v. 22, n. 11/12, p. 1201-1207, nov./dez. 1987. *Perç.*
23. LOPES, A. S. Solos sob Cerrado. Características, propriedades e manejo. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, São Paulo : 1984. 162p.
24. MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo : Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

25. Mc NEAL, B. L. & COLEMAM, N. T. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v. 30, p. 308-312, 1966.
26. Mc NEAL, B. L.; LAYFIELD, D. A.; NORVELL, W. A.; RHODES, J. D. Factors influencing hydraulic conductivity of soils in the presence of mixed-salt solutions. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.32, p. 187-190, 1968.
27. MEDINA, H. P. & GROHMANN, F. Disponibilidade de água em alguns solos sob cerrado. Bragantia, Campinas, v. 25, n. 6, p. 65-75, 1966.
28. MENDES, J. F. Características físicas e químicas de alguns solos sob cerrado. IN: REUNIÃO BRASILEIRA DOS CERRADOS, Sete Lagoas, 1967. Anais... Sete Lagoas: IPEGO, 1967. p. 51-62.
29. MORAIS F. I.; PAGE, A. L.; LUND, L. J. The effect of pH, Salt Concentration, and Nature of Eletrolytes on the Charge Characteristics of Brazilian Tropical. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 40, p. 521-527, 1976.
30. OLIVEIRA, L. B. de. Determinação da unidade de murchamento de alguns solos do Nordeste. Recife: Instituto Agrônômico do Nordeste, 1959. 79 p. (Boletim Técnico, 14).
31. OLIVEIRA, L. B. Estudo do sistema solo-água-planta em solos do nordeste, Recife, Instituto Agrônômico do Nordeste, 1960. 76 p. (Boletim Técnico 15).
32. QUIRK, J. P. & SCHOFIELD, R. K. The effect of eletrolyte concentration on soil permeability. Journal of Soil Science, London, v. 5, p. 163-378, 1955.
33. RANZANI, G. Solos de Cerrado. In: FERRI, M.G (ed). Simpósio sobre Cerrado. São Paulo: Edgar Brucher, 1962. p. 51-92.
34. REICHARDT, K. Processos de transfeência no sistema solo-planta-atmosfera. 4ºed. rev. e ampl. Campinas: Fundação Cargil, 1985.
35. RUSSO, D.; BRESLER, E. Soil Water suction relationships as affected by soil solution composition and concentration. Bet Dagan, Institute of Soil and Water, Agricultural Resarch Organization, 1976. n. 176.
36. SHAINBERG, I.; LETEY, J. Response of Soil to Sodic and Saline conditions. A Journal of Agricultural Science Published by the California Agricultural experiment station. v.52, n. 2. 1984. 57 p.

37. US SALINITY LABORATORY STAFF . **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils** . Washington , U.S.D.A , (Agricultural Handbook, 60)
38. VAN RAIJ , B . **Fertilidade do solo e adubação** . São Paulo : Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Ed. Agronômica Ceres, 1991. 343 p.
39. VETTORI , L . **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro : Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo , 1969 . 24 p. (Boletim Técnico , 7).
40. WEAVER , R . M . **Soil of the central plateau of Brazil chemical and mineralogical properties agronomy mimeo**. Ithaca : Cornell University , 1974. 45 p.
41. WOLF , J. M. **Soil-water relations in oxisols of Puerto Rico and Brazil** . In: Bornemizsa , e Alvarado , A (ed). **Soil Management in tropical america** . Raleigh: North Carolina State University Raleigh , 1975. p.145-154.
42. WOLF , J . M . **Water constraints to corn production in central brazil** . Cornell University , Ithaca , New York , USA. (1975). (Tese de PhD).