

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
MESTRADO EM AGROECOLOGIA

**INDICADORES DE QUALIDADE DE UM PLINTOSSOLO E RELAÇÃO
COM A PRODUTIVIDADE DO MILHO SOB PLANTIO DIRETO EM
ALÉIAS**

ALBA LEONOR DA SILVA MARTINS

SÃO LUÍS
Maranhão – Brasil
Novembro -2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
MESTRADO EM AGROECOLOGIA

**INDICADORES DE QUALIDADE DE UM PLINTOSSOLO E RELAÇÃO
COM A PRODUTIVIDADE DO MILHO SOB PLANTIO DIRETO EM
ALÉIAS**

ALBA LEONOR DA SILVA MARTINS

Engenheira Agrônoma

Orientador: **Prof. Dr. EMANOEL GOMES DE MOURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

SÃO LUÍS
Maranhão – Brasil
Novembro -2006

**INDICADORES DE QUALIDADE DE UM PLINTOSSOLO E RELAÇÃO
COM A PRODUTIVIDADE DO MILHO SOB PLANTIO DIRETO EM
ALÉIAS**

ALBA LEONOR DA SILVA MARTINS

Aprovada em : 27/11/2006

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura (UEMA)

Orientador

Prof. Dr. Alessandro Costa da Silva (UEMA)

Prof. Dr. Paulo Roberto Saraiva Cavalcante (UFMA)

*As minhas filhas, Andiara, Klyssya e Klenda,
razão de toda minha vida e meu amor.*

*Aos meus pais, João Martins Filho e Raimunda
da Silva Martins e irmãs Aura Celeste e Ana
Odete e sobrinho Fernando, por acreditarem em
mim, sempre.*

ofereço

*Ao amigo e companheiro Tetsuo Tsuji, pelo apoio
e incentivo constante, nos momentos mais
difíceis.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida que me concedeu com suas maravilhosas dádivas.

Ao Prof. Emanuel Gomes de Moura, meu orientador, por ter confiado a mim o desafio deste trabalho, e ter-me feito superar limitações que achei não ser capaz de vencer.

A comunidade do Assentamento Tico-tico, por ter me recepcionado com tanto carinho, por tantas vezes. Pela admirável humildade de todos. Em especial, Adalto e família, que lá muito me ajudaram na coleta dos dados.

Ao pai das minhas filhas, Antônio Alves de Sá, pelos bons momentos durante nossa convivência.

A especial amiga de todos os momentos, Anida Claudia Dominici Soares.

Aos queridos amigos(as): Claudia Dominice, Jucivan, Raimundinho, Ana Margarida, Vera Lúcia, Lélío, Andréia, Paulo.

A amiga Maryzélia, pelo incentivo e ajuda com valiosas considerações.

A amiga Alana, exemplo de dedicação por um ideal.

A todos os colegas do mestrado, porque a gente não se encontrou por acaso.

Aos professores do mestrado, de cada saber ensinado, hoje um pedaço do meu ser.

Ao prof. Altamiro Ferraz, por sua inteligência, postura profissional e disposição para com todos os seus alunos. O exemplo que quero seguir.

A profa. Marlen Barros, pela classificação do solo de Miranda.

Ao prof. Ângelo Ottati pela disposição e ajuda na geoestatística.

A profa Lúcia Helena dos Anjos (UFRRJ), por suas importantes contribuições.

Ao prof. Ednaldo Guimarães (UFU) pela colaboração na geoestatística.

Ao prof. Sidney Vieira (IAC) pela ajuda com o permeâmetro de Guelph.

As bibliotecárias D. Glória e Rita, pela gentileza e pesquisas via Comut.

Aos colegas do laboratório de Solos e do mestrado, cada qual com sua colaboração, imprescindível para realização deste trabalho: Neto, João, Josael, Walter, seu Zé, Carmelita, Iolanda.

Ao Jonas da Seagro, pela ajuda no laboratório de física do solo.

À Fapema pela concessão de bolsa de estudo, muito útil.

Acima de tudo o amor
 Ainda que eu falasse
 línguas, as dos homens e
 dos anjos, se eu não tivesse o amor,
 seria como o sino ruidoso ou como
 címbalo estridente

*Ainda que eu tivesse o dom da
 profecia, o conhecimento de todos os
 mistérios e de toda a ciência; ainda
 que eu tivesse toda a fé, a ponto de
 transportar montanhas, se não tivesse
 o amor, eu não seria nada.*

Ainda que eu distribuísse todos os
 meus bens aos famintos, ainda que
 entregasse o meu corpo às chamas, se
 não tivesse o amor, nada disso me
 adiantaria.

*O amor é paciente, o amor é
 prestativo; não é invejoso, não se
 ostenta, não se incha de orgulho. Nada
 faz de inconveniente, não procura seu
 próprio interesse, não se irrita, não
 guarda rancor.*

Não se alegra com a injustiça, mas se
 regozija com a verdade. *Tudo
 desculpa tudo crê, tudo espera, tudo
 suporta.*

*O amor jamais passará. As profecias
 desaparecerão, as línguas cessarão, a
 ciência também desaparecerá. Pois o
 nosso conhecimento é limitado;
 limitada é também a nossa profecia.*

Mas, quando vier a perfeição,
 desaparecerá o que é limitado.

*Quando eu era criança, falava como
 criança, pensava como criança,
 raciocinava como criança. Depois que
 me tornei adulto, deixei o que era
 próprio de criança.*

Agora vemos como em espelho e de
 maneira confusa; mas depois veremos
 face a face. *Agora o meu
 conhecimento é limitado, mas depois
 conhecerei como sou conhecido.*

Agora, portanto, permanecem essas
 três coisas: a fé, a esperança e o amor.
 A maior delas, porém, é o amor.

I Coríntios 13, 1-13

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 O cultivo em aléias.....	18
2.2 Qualidade do solo.....	19
2.3 Indicadores da qualidade física do solo.....	21
2.3.1 Porosidade total, densidade e capacidade de aeração do solo.....	21
2.3.2 Infiltração da água no solo.....	24
2.4 Indicadores da qualidade química do solo.....	28
2.4.1 Teor de Fósforo (P).....	28
2.4.2 Teores de Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg).....	29
2.4.3 pH e Acidez Potencial (H+Al).....	30
2.4.4 Capacidade de troca catiônica (CTC) e Matéria Orgânica.....	31
2.5 Geoestatística e a variabilidade espacial em propriedades do solo.....	32
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1 Caracterização e histórico da área de estudo.....	34
3.2 Clima.....	37
3.3 Geologia.....	38
3.4 Solo.....	39

3.5 Vegetação e Hidrografia.....	40
3.6 Plantio do milho e tratos culturais.....	40
3.7 Avaliação do Agrossistema.....	41
3.7.1 Parâmetros avaliados.....	41
3.7.2 Análises de resultados.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1 Estatística descritiva.....	48
4.1.1 Análise descritiva da produtividade do milho.....	48
4.1.2 Análise descritiva dos indicadores físicos do solo.....	50
4.1.3 Análise descritiva dos indicadores químicos do solo.....	54
4.2 Análise geoestatística.....	63
4.2.1 Dependência espacial da produtividade do milho.....	63
4.2.2 Dependência espacial da densidade do solo.....	66
4.2.3 Dependência espacial da infiltração superficial da água no solo.....	68
4.2.4 Dependência espacial da Matéria Orgânica.....	69
4.2.5 Dependência espacial da Saturação por Bases (V%).....	71
5 CONCLUSÕES.....	74
REFERÊNCIAS.....	75
ANEXOS.....	88

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Assentamento Tico-Tico.....	34
2. Localização do assentamento Tico -Tico (mapa e imagem de satélite).....	35
3. Aléias com a leguminosa <i>Clitoria fairchildiana</i> na área do experimento.....	37
4. Precipitação na área do Assentamento Tico-tico durante o ciclo da cultura do milho acumulando um total de 1.137,5 mm.(Fonte: estação pluviométrica local).38	38
5. Plantio direto do milho com plantadeira manual na área do experimento.....	41
6. Plantação do milho, pontos do grid e aléias podadas no experimento.....	42
7. Croqui da área amostrada – amostragem tipo grade quadrada (113 pontos)....	42
8. Permeâmetro de Guelph (a), detalhe do anel e carga constante (b).....	44
9. Milho após dois meses de plantio.....	45
10. Detalhe da lavoura de milho durante o florescimento.....	45
11. Histograma de freqüência para peso de 100grãos(g).....	49
12. Histograma de freqüência para peso total dos grãos (Mg. ha ⁻¹).....	49
13. Histograma de freqüência para peso médio da espiga (g)	50
14. Histograma de freqüência para Porosidade total (dm ⁻³ . dm ⁻³).....	53
15. Histograma de freqüência para Densidade do solo (g.cm ⁻³).....	53
16. Histograma de freqüência para Capacidade de aeração (%).....	53
17. Histograma de freqüência para Infiltração do solo (mm.h ⁻¹).....	54

18. Histograma de frequência para matéria orgânica (g.dm ⁻³).....	60
19. Histograma de frequência para pH (CaCl ₂).....	60
20. Histograma de frequência para Fósforo (mg.dm ⁻³).....	60
21. Histograma de frequência para Potássio (mmolc.dm ³).....	61
22. Histograma de frequência para Cálcio (mmolc.dm ⁻³).....	61
23. Histograma de frequência para Magnésio (mmolc.dm ⁻³).....	61
24. Histograma de frequência para Acidez potencial (mmolc. dm ⁻³).....	62
25. Histograma de frequência para Soma de bases (mmolc.dm ⁻³).....	62
26. Histograma de frequência para CTC (pH 7) (mmolc.dm ⁻³).....	62
27. Histograma de frequência para V % (mmolc.dm ⁻³).....	63
28. Semivariograma da produtividade do milho (Mg.ha ⁻¹).....	65
29. Mapa de isolinhas da produtividade do milho (Mg.ha ⁻¹).....	65
30. Semivariograma da densidade do solo (g.cm ⁻³).....	67
31. Mapas de isolinhas da densidade do solo (g.cm ⁻³) e produtividade do milho (Mg.ha ⁻¹).....	67
32. Semivariograma da infiltração superficial da água no solo (mm.h ⁻¹).....	68
33. Mapas de isolinhas da infiltração superficial da água no solo (mm.h ⁻¹) e produtividade do milho (Mg.ha ⁻¹).....	69
34. Semivariograma da matéria orgânica do solo (g.dm ⁻³).....	70
35. Mapas de isolinhas da matéria orgânica do solo (g.dm ⁻³) e produtividade do milho (Mg.ha ⁻¹).....	71
36. Semivariograma da saturação por bases do solo (mmolc. dm ⁻³).....	72
37. Mapas de isolinhas da saturação por bases do solo (mmolc. dm ⁻³) e produtividade do milho(Mg.ha ⁻¹).....	73

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Características pedológicas de perfil de solo no assentamento Tico-tico, Miranda do Norte – MA.....	39
2. Medidas descritivas para a variável produtividade do milho.....	48
3. Medidas descritivas para os indicadores físicos.....	50
4. Correlação (coeficiente de Pearson r^2) entre a produtividade do milho e indicadores físicos do solo.....	52
5. Classificação dos indicadores físicos do solo com seus respectivos níveis.....	52
6. Medidas descritivas para os indicadores químicos do solo.....	54
7. Classificação dos indicadores químicos do solo com seus respectivos níveis...59	59
8. Correlação (coeficiente de Pearson r^2) entre a produtividade do milho e indicadores químicos do solo.....	59
9. Estimativa dos parâmetros efeito pepita (C_o), Patamar ($C_o + C$), alcance (A_o), relação efeito pepita/patamar (expressa em porcentagem) e coeficiente de determinação r^2 dos modelos ajustados aos Semivariogramas para peso total dos grãos, densidade, infiltração, matéria orgânica e saturação de bases.....	64

INDICADORES DE QUALIDADE DE UM PLINTOSSOLO E RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DO MILHO SOB PLANTIO DIRETO EM ALÉIAS

AUTOR: ALBA LEONOR DA SILVA MARTINS

Orientador: Prof. Dr. EMANOEL GOMES DE MOURA

RESUMO

A agricultura familiar itinerante, ou de derruba e queima, é praticada no município de Miranda do Norte, Maranhão, em solos que por consequência de adversidades climáticas, tais como os ciclos repetitivos de seca e chuva, apresentam-se com vários problemas como a formação de camadas impeditivas, encrostamento superficial e, conseqüentemente, má drenagem, limitando as condições de cultivo desses agricultores. Nestas circunstâncias, em 2002, em uma área de assentamento rural, foi implantado um agrossistema alternativo ao corte e queima, o “alley cropping” ou cultivo em aléias com uso da leguminosa *Clitoria fairchildiana*. Nesse sistema, anualmente, essas leguminosas são podadas e seus ramos espalhados para manutenção da cobertura do solo. Nas entrelinhas das fileiras das leguminosas são plantadas as culturas anuais: arroz, milho, feijão. Após essas culturas serem colhidas, são semeadas leguminosas rasteiras como guandu (*Cajanus cajan*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*). Em 2005, o milho foi plantado em plantio direto nesse agrossistema. Este trabalho teve por objetivo determinar, a partir desse plantio, os indicadores químicos e físicos de qualidade desse Plintossolo que foram sensíveis à produtividade do milho. Para a avaliação do agrossistema, a área foi demarcada, considerando as 44 fileiras da leguminosa, formando grids de 10 x 10 m, iniciando no centro das leguminosas, junto às fileiras do milho. Todos os pontos do grid foram georreferenciados num plano cartesiano, constituindo um total de 113 pontos. A amostragem foi do tipo grade quadrada. Os indicadores químicos determinados foram fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, carbono orgânico e pH em cloreto de

cálcio e os físicos foram densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), capacidade de aeração (Ca) e infiltração superficial da água pelo método do Permeômetro de Guelph. Os indicadores foram preliminarmente analisados por estatística descritiva e, posteriormente, por geoestatística. Em geral, os indicadores químicos foram mais significativos na relação com a produtividade do milho do que os físicos. E, dentre os indicadores físicos do solo, apesar das condições adversas de clima e solo da área estudada, a infiltração superficial foi o atributo mais significativo, na relação com a produtividade do milho. E a densidade do solo, apesar de ser considerada alta (acima de $1,4 \text{ g.cm}^{-3}$), foi pouco significativa na relação com a produtividade do milho. A geoestatística mostrou-se uma ferramenta útil, mais do que a estatística descritiva, para visualizar o comportamento dos indicadores e permitir identificar mudanças no manejo.

QUALITY INDICATORS ON PLINTHOSOLS AND ITS RELATIONS WITH MAIZE PRODUCTIVITY IN ALLEY CROPPING SYSTEM

Author: ALBA LEONOR DA SILVA MARTINS

Adviser: . Dr. EMANOEL GOMES DE MOURA

ABSTRACT

The slash and burn is practiced in Maranhao State, Brazil, which soils are affected by adverse climate conditions, as continuous cycles of rigorous rain and drought, with many problems of impeditive layers, superficial crust and, consequently, bad draining, affecting crops. In that conditions it was implanted on rural settlement area, in 2002, an alternative system, alley cropping with *Clitoria fairchildiana*, an leguminous. In that system, annually the leguminous are pruned, and its branches put on soil to maintain the covering of surface. In 2005, the maize was planted in no-tillage system. The aim of this study was to determine the chemical and physical quality indicators of the Plinthosols. The area of experiment was marked, using 44 lines of leguminous, forming grids of 10x10m, beginning in the center of leguminous, in joint the maize rows. All the grid points were geoferrered in cartesian plan, performing 113 points. The sample was "square grid" mode. The chemical indicators were phosphorus, potassium, calcium, magnesium, potential acidity, organic carbon and pH in KCl and the physical were bulk density, total porosity, aeration capacity and water superficial permeation capacity by Guelph permeameter method. Preliminarily the indicators were analysed by descriptive statistic and after, by geostatistic. Chemical indicators were more relevant to affect the maize productivity than physical indicators. Among the soil physical indicators the superficial

permeation was the more influenced maize productivity. Although the bulk density was high, (higher than $1,4\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), didn't affect that much the maize productivity. Geostatistic revealed as an useful instrument, better than descriptive statistic, to show indicators variability and to show better form in case to adopt new practice of cultivation.

Index Terms: **quality indicators, no-tillage system, alley cropping, geostatistic**

1 INTRODUÇÃO

A agricultura predominante praticada no Estado do Maranhão é a agricultura familiar itinerante ou de derruba e queima. Essa agricultura ocupa pequenas áreas que variam de 1 a 5 ha por família, que são cultivadas com milho, arroz, feijão, mandioca e outras, visando principalmente a sustentação das famílias. Porém, esse modelo produtivo encontra-se em decadência.

O Município de Miranda do Norte no Estado do Maranhão constitui uma amostra dessa realidade. Essa região geologicamente está inserida na Formação Itapecuru que se caracteriza pela presença de solos de estrutura frágil constituídos de areia fina e silte. Estes solos por consequência de adversidades climáticas, tais como os ciclos repetitivos de seca e chuva, apresentam-se com vários problemas como a formação de camadas impeditivas, encrostamento superficial e consequentemente má drenagem. Portanto, são solos de difícil manejo diante do atual modelo produtivo e que colocam os agricultores familiares em condições limitantes de cultivo.

Algumas pesquisas têm sido realizadas, em nível de Estado, para propor alternativas a essa agricultura. Dentre estas, destacam-se os sistemas de manejo conservacionistas com o uso de leguminosas de ciclo curto, plantio de espécies perenes com frutíferas, trituração de biomassa vegetal e aplicação na área, plantio direto na palha de leguminosas em aléias ou “alley cropping”. Entretanto, de acordo com Costa et al (2003), os sistemas de manejo devem contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequada produtividade das culturas em longo prazo.

A qualidade do solo por abranger os aspectos físicos, químicos e biológicos é considerada importante para avaliar a melhoria ou degradação das terras e para identificar as práticas de manejo visando o uso sustentável do solo (DEXTER, 2004).

Parr et al (1992), observaram que diferentes propriedades químicas, físicas e biológicas interagiram de forma complexa de tal forma a contribuir para a sustentabilidade

da capacidade agrícola do solo. Os autores determinaram em suas pesquisas que a melhoria da qualidade do solo poderia ser indicada pelo aumento da infiltração, da aeração, formação de macroporos, tamanho de agregados, estabilidade de agregados e matéria orgânica. Também, pela diminuição da densidade do solo, resistência à erosão e por evitar perda de nutrientes para as águas superficiais.

Entretanto, Kluthcouski et al (2000), afirmaram que no desafio de viabilizar sistemas agrícolas produtivos sustentáveis, a fertilidade ou “qualidade” do solo não deveria ser indicada apenas por parâmetros de acidez, disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica, mas também, por parâmetros físicos como armazenamento e conservação de água, armazenamento e difusão do calor e permeabilidade ao ar e água passariam a ter relevância nessa avaliação.

Considerando que muitos dos atributos do solo são sensíveis a variações no uso e manejo, ao determiná-los em um agrossistema específico, será possível avaliar suas contribuições para a produtividade das culturas, assim como indicar ou não mudanças no manejo.

Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo determinar indicadores químicos e físicos de qualidade de um Plintossolo que afetam a produtividade do milho no plantio direto na palha de leguminosas em aléias ou “alley cropping”, junto a agricultores familiares em uma área de assentamento no município de Miranda do Norte-Maranhão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O cultivo em aléias

O cultivo em aléias ou sistema “alley cropping” é um dos mais simples sistemas agroflorestais que combina em uma mesma área espécies arbóreas, preferencialmente leguminosas e culturas anuais ou perenes de interesse econômico. As leguminosas são plantadas em linhas simples ou duplas, espaçadas por 2 a 6m. Os ramos das leguminosas são periodicamente cortados a altura que variam de 0,1 a 0,5 m, e são adicionados às entrelinhas das culturas de interesse econômico, servindo como cobertura e adubo verde (KANG et al, 1990; SZOTT et al, 1991; COPPER et al 1996). As culturas de interesse econômico no sistema de cultivo em aléias podem ser cultivadas em plantio direto.

Essa prática, tradicionalmente empregada em regiões tropicais da África e Ásia, tem permitido melhoria nas características químicas do solo (carbono orgânico e nutrientes), especialmente na camada superficial, quando comparado ao monocultivo. A melhoria tem sido atribuída à reciclagem mais eficiente dos nutrientes pela fitomassa das podas ou pela serrapilheira. Além disso, a espécie florestal mostra efeitos benéficos por suas raízes mais profundas, que reduzem as perdas por lixiviação e pela maior cobertura do solo, que proporciona proteção contra a erosão (MAFRA et al, 1998).

De acordo com Kang (1997), o cultivo em aléias baseia-se nos seguintes princípios: regeneração da fertilidade do solo, formação de cobertura morta, supressão de ervas espontâneas, fixação de N, reciclagem de nutrientes, que em consequência proporciona melhoria da qualidade do solo.

Porém, Altieri (2001) afirma que pode haver limitação do cultivo em aléias na concorrência das espécies arbóreas ou arbustivas com as culturas agrícolas, por água, luz e nutrientes. Ferraz Junior (2004) também cita que há dois tipos de limitações aquelas inerentes ao sistema e as inerentes à estrutura disponível para a agricultura familiar. Porém, baseado em suas pesquisas credencia este sistema como uma alternativa ao

modelo de corte e queima usado por agricultores familiares maranhenses, devido ao mesmo possuir uma série de vantagens, apesar de algumas limitações.

Leite (2001) estudando o cultivo de milho em aléias concluiu que a *Clitoria fairchildiana* foi a leguminosa mais promissora nesse sistema, evidenciado por grandes aportes de biomassa e nitrogênio, ausência de competição com a cultivar do milho e maior elevação na produtividade ($5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) da cultura do milho.

A aplicação das podas aumentou a produção de grãos do milho solteiro em 38% e a produção de milho em consórcio com aléias em 104% (MULONGOY & VAN DER MERSCH, 1988). A adição da poda das árvores e dos resíduos da produção do “alley cropping” pode gerar uma significativa quantidade de material orgânico, resultando na manutenção ou aumento da matéria orgânica do solo.

Shannon e Vogel (1994) observaram que cinco estações são requeridas antes que o cultivo em aléias sozinho dê produção similar àquela obtida com aplicação de fertilizante, sem adição de resíduos orgânicos. Pela combinação de ambas as práticas, foi possível beneficiar em curto prazo com fertilizante, enquanto aumentou a produtividade em longo prazo. Incluindo a análise de biomassa e estimando o conteúdo de N é possível separar os benefícios do “alley cropping” em curto e longo prazo. Em curto prazo tem-se o aumento da produção, devido ao nitrogênio; em longo prazo há melhoria nas propriedades físicas do solo.

2.2 Qualidade do solo

Karlen et al. (1997) definiu o conceito de qualidade do solo como sendo: “a capacidade de um específico tipo de solo funcionar”, dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade biológica, manter ou aumentar a qualidade do ambiente e sustentar a saúde humana.

A capacidade do solo funcionar pode ser refletida por suas propriedades físicas, químicas e biológicas, também conhecidas como indicadores da qualidade do solo (SHUKLA; LAL; EBINGER, 2006)

Islam e Weil (2000) antes afirmaram que a qualidade do solo, sendo um estado funcional complexo, não pode ser medida diretamente, mas pode ser inferida a partir de

propriedades do solo, designadas propriedades indicadoras da qualidade do solo. Esses autores compararam o efeito de diferentes sistemas de manejo sobre a qualidade do solo, tendo o manejo conservacionista como padrão de comparação. A partir da avaliação do efeito dos manejos sobre treze propriedades indicadoras buscaram agregar aquelas mais consistentemente afetadas, em um índice de qualidade do solo. Sendo um índice um valor que integra muitas medidas de propriedades chaves do solo.

As três propriedades que se mostraram mais promissoras para inclusão em um índice de qualidade do solo foram biomassa microbiana total, biomassa microbiana ativa, quociente metabólico (ou taxa de respiração específica), sendo essas as mais significativamente influenciadas pelo manejo conservacionista, em mais de 75% das comparações. Uma quarta propriedade também fortemente influenciada pelo manejo conservacionista foi a estabilidade de agregados e os demais atributos físicos avaliados que têm forte relação com a matéria orgânica, tais como macroporosidade e densidade do solo.

Karlen et al (1994) explicam que as práticas de manejo que adicionam ou mantêm carbono orgânico no solo parecem estar entre as mais importantes para restabelecer, manter ou melhorar a qualidade do solo. Essa explicação é norteadora para a busca de indicadores de qualidade do solo, pois mostra que os atributos candidatos a indicadores devem estar relacionados com a matéria orgânica. Porém, os critérios de escolha do indicador de qualidade do solo devem ser dependentes dos objetivos que se tem e do contexto. Além do mais, deve-se considerar a realidade local e as experiências dos agricultores os quais podem ser importantes e ajudar na avaliação.

Os indicadores de qualidade do solo podem ser distinguidos em três grandes grupos: os *efêmeros* cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo como: densidade do solo, pH, disponibilidade de nutrientes; os *permanentes* que são inerentes ao solo, tais como profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia e, entre esses dois extremos, estão os indicadores *intermediários* que demonstram uma crítica influencia da capacidade do solo em desempenhar funções, tais como: agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono total e ativo. Sendo que estes últimos são os de maior importância para integrar um índice de qualidade do solo. (ISLAM; WEIL, 2000).

Ashad e Martin (2002) em suas pesquisas buscando limites críticos para indicadores de qualidade do solo em agroecossistemas concluíram que: a) Para quantificar e avaliar mudanças na qualidade do solo, várias combinações de práticas de manejo e suas interações com diferentes indicadores devem ser consideradas. b) Pesquisas devem ser conduzidas em diferentes locais. c) Devem ser realizados experimentos de longo prazo (10-30 anos) para estabelecer efeitos positivos ou negativos dos indicadores do solo em diferentes usos no sentido de desenvolver modelos e ações apropriadas d) Pesquisas devem ser empreendidas para o desenvolvimento de técnicas simples para uso dos agricultores e extensionistas.

2.3 Indicadores da qualidade física do solo

2.3.1. Porosidade total, densidade e capacidade de aeração do solo.

Algumas práticas de manejo e das culturas provocam alterações nas propriedades físicas do solo, as quais podem ser permanentes ou temporárias. Assim, o interesse em avaliar a qualidade física do solo tem sido incrementado por considerá-lo como um componente fundamental na manutenção e/ou sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (LIMA, 2004).

A relação entre a estrutura do solo e a produtividade das culturas ainda é pouco compreendida, em virtude das dificuldades em quantificar os vários atributos físicos do solo ligados à estrutura. A variabilidade espacial e temporal da estrutura do solo é um dos fatores que dificultam essa quantificação (DEXTER, 1988). Além disso, alguns atributos do solo variam conjuntamente (TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1998).

Para Letey (1985), os atributos físicos do solo relacionados com a produtividade das culturas podem ser divididos em duas categorias: (a) aqueles-diretamente relacionados com o desenvolvimento das plantas, isto é, água, oxigênio, resistência do solo à penetração das raízes e temperatura; e (b) os indiretamente relacionados, tais como textura, agregação, porosidade e densidade do solo.

Os atributos físicos do solo do item (a) afetam diferentes processos fisiológicos, como a fotossíntese e os crescimentos radicular e foliar, enquanto os mencionados no item

(b) afetam a produtividade das culturas devido a sua influência sobre a retenção de água, a aeração, a temperatura e a resistência do solo à penetração das raízes.

Topp et al (1997), Schoenholtz, Van Miegroet e Burger (2000) e Singer e Ewing (2000) confirmam que os atributos mais amplamente utilizados como indicadores de qualidade física do solo são aqueles que levam em conta: a profundidade efetiva de enraizamento, a porosidade total e a distribuição e tamanho dos poros, a distribuição do tamanho das partículas, a densidade do solo, a resistência do solo à penetração das raízes, o intervalo hídrico ótimo, o índice de compressão e a estabilidade dos agregados.

Alguns atributos físicos do solo, como densidade e espaço poroso, podem ser utilizados como indicadores da qualidade de acordo com o manejo a que o solo está sendo submetido. Uma avaliação contínua, no tempo, destes atributos físicos do solo permite monitorar a eficiência ou não desses sistemas de manejo quando se objetiva estabilidade estrutural (SECCO et al, 2005). As modificações nessas propriedades ocasionadas pelo manejo inadequado resultam em decréscimo da produção (RADFORD et al, 2001).

Porém, Costa et al (2003) consideram que independentemente do sistema de manejo utilizado, o uso do solo para fins agrícolas, promove alterações nas suas propriedades físicas. Esses autores ao avaliar os efeitos das propriedades físicas durante o desenvolvimento da cultura do milho e da soja, tanto em plantio direto quanto no plantio convencional, concluíram que no plantio direto ocorreram melhores condições estruturais. E, isto foi evidenciado pela redução da densidade do solo e também pela estabilidade dos agregados, menor temperatura e maior umidade volumétrica na camada superficial do solo, o que, juntamente com a melhoria nas demais propriedades físicas do solo, pode ter contribuído para os maiores rendimentos de soja e milho.

Resultados diferentes foram encontrados por Secco et al (2005) que ao estudarem a influência de cinco sistemas de manejo ao longo de três anos nos atributos físicos do solo e na produtividade das culturas da soja, trigo e milho concluíram que a densidade apresentou valor superior nos sistemas de manejo que sofreram menor mobilização. Porém, os valores de porosidade total do solo apresentaram comportamento inverso. As produtividades da soja e do milho não diferiram entre os sistemas de manejo utilizados, indicando que para essas culturas mudanças no estado estrutural do solo não comprometeram sua produtividade.

Estes resultados estão de acordo com Stone e Silveira (2001), ao afirmarem que o sistema de plantio direto proporcionou maiores valores de densidade e microporosidade e, em consequência, menor porosidade total e macroporosidade. Porém, esses mesmos autores observaram, também, que a densidade do solo influenciou em diversos atributos do solo que regulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, tais como: aeração, condutividade da água, temperatura, disponibilidade de nutrientes e resistência à penetração .

O solo sob plantio direto costuma apresentar maiores valores de densidade e microporosidade nas camadas superficiais do perfil em detrimento dos valores de porosidade total e macroporosidade (BAEUMER; BAKERMANS, 1973; VIEIRA et al,1978; DOUGLAS et al ,1980 apud VIEIRA & MUZILLI,1984). Isto ocorre principalmente em função do não revolvimento do solo em plantio direto.

O aumento da densidade aparente, nos primeiros anos de plantio direto, deve-se ao arranjo natural que o solo tende a apresentar quando deixa de sofrer manipulação mecânica. Entretanto, com o passar dos anos, é de se esperar que a densidade aparente decresça devido ao aumento da matéria orgânica na parte superficial, que favorece um melhor desenvolvimento da estrutura do solo (FERNANDES et al, 1983).

Souza, Leite e Beutler (2004) confirmam dizendo que essa diminuição da densidade nos sistemas de manejo não mecanizados, ocorre devido ao baixo peso específico da matéria orgânica. Para esses autores, esses solos apresentaram melhores condições de qualidade.

Albuquerque (1995) trabalhando com milho observou que a presença desta cultura, produzindo significativa soma de massa seca deixada na superfície do solo, pode ser um dos fatores para observação de menor densidade no solo sob sistema de plantio direto.

Vários autores têm estudado o comportamento da porosidade total e densidade do solo em diferentes sistemas de manejo e estabelecido alguns limites. Beutler et al (2001), observaram, na profundidade de 30 cm, que a densidade do solo apresentou valores de 1,07; 1,31 e 1,39 Mg m⁻³ respectivamente, para área preservada, plantio direto e manejo convencional, enquanto na profundidade de 0-5 a densidade variou na amplitude de 0,54 a 0,68 Mg m⁻³, não sendo verificadas diferenças significativas entre os sistemas, exceto o

plantio direto que apresentou em média valores mais elevados. Ainda para esses autores, a porosidade total variou inversamente com a densidade do solo.

Araújo, Tormena e Silva (2004) comparando um solo sob sistema convencional de preparo com aração e gradagem e a mata nativa, observaram que o solo sob cultivo apresentou maiores valores de densidade e menores valores de porosidade total. Arshad et al (1996), estabeleceram que valores de densidade para solos argilosos variando entre 1,35 a 1,67 Mg m⁻³ são considerados críticos e restritivo ao desenvolvimento radicular.

Ribon et al (2002) estabeleceram que independentemente do manejo empregado, para o limite crítico (10%) considerado como condição mínima para aeração, a densidade deverá ser inferior a 1,36 kg dm⁻³. Argenton et al (2005), também baseados no critério da porosidade de aeração mínima para as trocas gasosas, quando a densidade do solo for superior a 1,36 Mg m⁻³ sugeriram o uso de práticas de cultivo para reduzir a densidade e favorecer o crescimento radicular, principalmente pela introdução de culturas que aportam grande quantidade de resíduos orgânicos.

Voorhess e Lindstrom (1984) informaram que são necessários três a quatro anos, sob condições de manejo conservacionista, para desenvolver porosidade mais favorável na camada de 0-15 cm, comparado a solos arados e escarificados continuamente.

Munawar et al (1990) utilizando centeio seguido pela cultura de milho, observaram a produção de milho de 4,41 Mg ha⁻¹ para o sistema de plantio direto e de 2,26 Mg ha⁻¹ para o manejo convencional.

Albuquerque (1999) comparando o sistema de cultivo em aléias com milho e monocultivo com milho em solo mecanizado manualmente e em plantio direto alcançou uma expressiva produção de grãos de milho de 7,7 a 8,6 Mg ha⁻¹ no tratamento com plantio direto em sistema de aléias.

2.3.2. Infiltração da água no solo

Pott e Maria (2003) definiram que a infiltração de água é o processo pelo qual ocorre entrada de água no solo através da sua superfície. A entrada de água no solo decresce com o tempo, dependendo do umedecimento do perfil, e assume um valor constante denominado velocidade de infiltração básica (VIB).

Permeabilidade ou condutividade hidráulica é a capacidade que o solo apresenta de se deixar atravessar pela água e pelo ar, referindo-se à drenagem interna, estando fortemente ligada à textura, estrutura e porosidade que, associados, determinam a velocidade de infiltração e de movimentação da água e do ar através do solo. Koorevaar et al (1983) definiram condutividade hidráulica como a medida da habilidade do solo para conduzir o fluxo de água.

Reynolds e Elrick (1985) posteriormente adaptado por Vieira (1988) descreveram a teoria e a prática do método do permeâmetro de carga constante (Permeâmetro de Guelph) para medição da condutividade hidráulica saturada (K_{fs}) acima do lençol freático e infiltração tridimensional.

O conhecimento do processo de infiltração e suas relações com as propriedades do solo são de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água (BRANDÃO; PRUSK; SILVA, 2003).

De acordo com Fernández e Wilkinson (1965) diversos fatores influenciam a taxa de infiltração dos solos: (a) características das chuvas, tais como energia, intensidade e duração; (b) vegetação presente acima do solo, na superfície, e abaixo da mesma; (c) condição do solo, particularmente as propriedades físicas de sua superfície. Além disso, o processo de infiltração de água é, por natureza, um sistema de fluxo mutante, que varia no tempo e no espaço de maneira complexa. É por isso que o grau de interação destas fases e natureza do processo de infiltração pode produzir uma grande quantidade de resultados, às vezes conflitantes, de uma localidade para outra e, ainda, de um período para outro, no mesmo lugar.

Alves e Cabeda (1999) avaliaram a infiltração em um Podzólico Vermelho-Escuro sob preparo convencional e plantio direto, usando chuvas simuladas com intensidades médias constantes de 63 e 87 mm h^{-1} , e verificaram que a taxa de infiltração estável foi maior no plantio direto que no convencional e, no plantio direto, não houve diferença na taxa de infiltração (46,6 e 47,2 mm h^{-1}) para as duas intensidades. No entanto, para o preparo convencional, a taxa foi menor (17,3 mm h^{-1}) sob chuva de maior intensidade.

Medina e Leite (1985) avaliaram a influência de três sistemas de manejo e de duas coberturas vegetais na infiltração da água em Latossolo Amarelo textura muito argilosa e concluíram que as coberturas vegetais e os sistemas de manejo foram determinantes, por

meio de modificações estruturais (densidade, macro e microporosidade, porosidade total), na capacidade do solo absorver água. De acordo com esses autores, nos sistemas onde as coberturas vegetais eram mais densas, protegeram o solo criando condições ótimas para o movimento da água e difusão de gases e, portanto, para o crescimento das plantas e as maiores taxas de infiltração (28,5; 22,7 e 22,3 cm h⁻¹) foram consideradas no sistema seringueira com leguminosa (puerária) e nas coberturas capoeira e mata, respectivamente.

Souza, Leite e Beutler (2004) em uma de suas conclusões avaliando o efeito de sistemas de uso e manejo de Latossolo mediante avaliações de atributos físicos, afirmaram que no solo estudado, a infiltração de água refletiu bem as condições físicas do solo, tais como: estrutura, porosidade e a presença de camadas compactadas, onde, as taxas de infiltração inicial e básica decresceram nos sistemas de manejo em relação à floresta natural.

Para Kutílek (2004) a taxa de infiltração também é controlada pelo tamanho, distribuição e continuidade dos poros. Lipiec et al (2005) estudando a porosidade do solo e a infiltração da água em condições influenciadas pelos métodos de cultivo mostraram em seus resultados que os sistemas de poros sob cultivo convencional tiveram alta contribuição no fluxo ativo dos poros comparado à redução nos tratamentos sem cultivo e melhorou a infiltração e a capacidade de armazenamento de água. Porém com o tempo, essa infiltração diminuiu de 36-62% em relação ao tratamento sem cultivo. Outra observação foi em relação à profundidade: na camada superior (0-6cm) a infiltração foi mais elevada correlacionando-se positivamente ($r^2=0,82-0,95$) com a porosidade.

Segundo Lal (1989), dependendo da região ecológica, a compactação e o encrostamento do solo são os maiores constrangimentos à produção para uma agricultura intensiva - a formação de crosta limita a infiltração de água, inibe as trocas gasosas e a germinação das sementes.

A crosta superficial apresenta maior densidade, menor porosidade e, conseqüentemente, menor condutividade hidráulica do solo saturado do que a camada subjacente. Uma vez formada, a crosta superficial pode ocasionar forte impedimento à entrada de água no solo, mesmo sendo a crosta muito fina e o solo subjacente altamente permeável, e a desconsideração da formação do encrostamento superficial pode levar a uma grosseira superestimativa da infiltração (BRANDÃO; PRUSK; SILVA, 2003).

Os métodos de determinação também influenciam as taxas de infiltração. Pott e Maria (2003) comparando quatro métodos de determinação da velocidade de infiltração básica (VIB), considerando o tipo de solo sob sistema de plantio direto, verificaram que os métodos comportaram-se diferentemente em relação ao tipo de solo. Os menores valores de VIB foram determinados com infiltrômetro de aspersão. No infiltrômetro de pressão e no permeâmetro o movimento de água foi governado pela estrutura do solo e no infiltrômetro de aspersão onde é considerado o impacto das gotas de chuva, o processo de infiltração foi regido principalmente pela taxa de cobertura do solo e pelas suas características granulométricas.

Os valores mais altos no infiltrômetro de pressão, por este medir a infiltração em superfície, podem estar associados à menor mobilização do solo, pois com o uso do permeâmetro durante a abertura do orifício com um trado, este pode levar a uma descaracterização da estrutura do solo nas paredes do orifício. Outra observação foi a correlação negativa com a densidade do solo e positiva com a porosidade total, quando utilizados o permeâmetro e o infiltrômetro de pressão para determinação da VIB, pois, havendo maior espaço poroso, o volume de água que penetra no solo por unidade de tempo pode ser maior.

Outros fatores como a umidade inicial e a presença de lâmina de água na superfície, também vão influenciar a taxa de infiltração. Araújo Filho e Ribeiro (1996), estudando infiltração em Cambissolos argilosos e muito argilosos encontraram altas taxas de infiltração nesses solos com médias superiores a 260 mmh^{-1} sem diferenças significativas entre esses solos. Porém, as taxas de infiltração foram reduzidas cerca de 31% na área de Cambissolos muito argilosos, quando o processo de infiltração foi iniciado com o solo no estado úmido. Indicaram, portanto, que a umidade inicial do solo é importante fonte de variação da infiltração, devendo ser levada em conta no manejo sob irrigação.

Medina e Leite (1985) realizando testes de infiltração com altos teores de umidade, já afirmavam que eram esperados valores de infiltração bem mais altos em períodos de estiagem. Contudo, do ponto de vista da conservação do solo, é muito importante conhecer suas propriedades transmissoras de água durante o período chuvoso, posto que

sejam nessa época que as relações precipitação/ infiltração determinam a magnitude do processo erosivo.

Considerando a grande variação nas taxas de infiltração em relação aos diversos fatores citados acima, faz-se necessário conhecer alguma classificação que sirva de referência. No entanto deve-se observar o método a ser utilizado. Valores de condutividade hidráulica foram classificados segundo diferentes classes de permeabilidade adaptadas do Soil Survey Staff (1993) como lenta ($5 - 20 \text{ mm h}^{-1}$); lenta a moderada ($20 - 63,5 \text{ mm h}^{-1}$); moderada ($63,5 - 127 \text{ mm h}^{-1}$) e moderada a rápida ($127 - 254 \text{ mm h}^{-1}$).

Olson et al (1996) estipularam as classes de permeabilidade em baixa $< 5 \text{ mm h}^{-1}$; média de 5 a 15 mm h^{-1} e alta de 15 a 50 mm h^{-1} , sendo este um dos critérios usados para avaliação da qualidade do solo em relação à erosão hídrica.

2.4 Indicadores da qualidade química do solo

2.4.1. Teor de Fósforo (P)

O fósforo por ser um nutriente de baixa mobilidade, tem-se frequentemente constatado que, na semeadura direta, ocorre maior acúmulo desse elemento nos primeiros centímetros superficiais (BAYER; MIELNICZUK, 1997). Esta afirmativa está de acordo com Almeida et al (2005), que verificaram entre os sistemas de manejo, que as diferenças ocorreram apenas na camada superficial, onde os teores de P foram 10 vezes maiores na semeadura direta em relação ao preparo convencional.

Altas concentrações de P têm sido frequentemente observadas em sistemas de semeadura direta (ELTZ; PEIXOTO; JASTER, 1989; BAYER; MIELNICZUK, 1997), fato atribuído à não incorporação dos adubos fosfatados, à pequena mobilidade desse nutriente e ao menor contato desses adubos com a fração mineral do solo, que reduzem os processos de adsorção (MUZILLI, 1983).

Apesar das altas concentrações desse nutriente em sistema de semeadura direta, sua disponibilidade para as plantas pode ser comprometida. De acordo com Eltz, Peixoto e Jaster (1989), o fósforo, por déficit hídrico na superfície do solo, pode tornar-se pouco disponível para o sistema radicular, restando à planta extraí-lo de profundidades maiores.

Se houver deficiência de cálcio, porém, nas camadas mais profundas, a raiz terá dificuldade para crescer em profundidade, pois necessita desse elemento na sua zona de crescimento. Com isso, a planta pode sofrer estresse considerável por deficiência de água e outros nutrientes.

2.4.2. Teores de Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

A taxa de mineralização dos nutrientes contidos nos restos vegetais, deixados na superfície do solo no sistema de semeadura direta, de maneira geral, deveria ser semelhante à taxa de decomposição da matéria orgânica. Porém, para o K é exceção, pois este nutriente é totalmente liberado no solo, mesmo sem haver decomposição completa do tecido vegetal. Ou seja, o K é um nutriente absorvido em quantidade relativamente alta pelas plantas e não é constituinte estrutural de moléculas e tecidos, o que o torna passível de ser extraído com relativa facilidade da cobertura morta, sem haver necessariamente, decomposição e mineralização biológica (ROSOLEM et al , 2006).

Centurion, Dematê e Fernandez (1985) encontraram na semeadura direta os mais altos teores de K na camada superficial do que os encontrados no preparo convencional. Resultados semelhantes foram encontrados por Almeida et al (2005). Ambos os autores, diferiram de Falleiro et al (2003) que encontraram diminuição do K disponível na camada superficial do solo em semeadura direta, justificando que no momento da amostragem, não foi amostrada a palhada, pois nesse sistema o solo não é revolvido.

Entretanto, no processo de absorção desse nutriente, havendo competição entre Ca, Mg e K pelo mesmo sítio de troca, pode resultar no menor acúmulo de um desses elementos tendo como consequência menor produtividade de grãos de milho decorrente do menor desenvolvimento da planta (ANDREOTTI et al, 2001). Um exemplo dessa competição foi observado por Mascarenhas et al (2000), mostrando que quando a disponibilidade de Ca e Mg aumentam em relação à de K, devido à calagem, a absorção deste último pelas plantas é reduzida pela competição entre os três cátions.

Para melhor desenvolvimento de raízes e parte aérea das plantas em solos ácidos, recomenda-se a relação Ca: Mg de 3:1 (SILVA, 1980). Essa relação proporcionou maior teor de P nas plantas de milho, enquanto relações Ca: Mg maiores que 3:1 causaram

redução no crescimento e na produção das plantas em razão do efeito antagônico do Ca na absorção de Mg (HERNANDEZ; SILVEIRA,1998).

2.4.3. pH e Acidez Potencial (H+Al)

O pH é a propriedade que apresenta menor variação quando comparado a outros atributos químicos no solo. O conhecimento da variabilidade dessa propriedade é importante, principalmente para definir o manejo mais adequado a ser utilizado (CHAVES et al, 2004).

Almeida et al (2005) observaram que após seis anos de cultivo continuado do solo, o pH não apresentou diferença significativa entre os tratamentos sob preparo convencional e semeadura direta. Entretanto, observaram ligeira tendência a um decréscimo do pH no sistema de semeadura direta nas camadas mais superficiais, porém, Bayer (1992) justificou que esse fato teria sido atribuído a acidificação provocada pela decomposição de material orgânico deixado na superfície do solo nesse sistema, com provável liberação de ácidos orgânicos. Porém, de acordo com Bissani, Meurer e Boehen (2006) a acidificação do solo, nesse caso, não tem acentuada toxidez do alumínio, como poderia ser esperado, devido à sua complexação pelas substâncias orgânicas formadas no processo de decomposição do material vegetal, diminuindo a atividade do alumínio na solução do solo.

Estas observações estão de acordo com os resultados encontrados por Santos et al (2003) quando afirmaram que a acidificação do solo tende a reduzir a atividade microbiana para decomposição dos materiais orgânicos, liberação de nitrogênio mineral e absorção de N, que, por sua vez, limita o crescimento de plantas. Todavia, isso não foi verificado entre os sistemas de produção estudados em razão do acúmulo de material orgânico na superfície como efeito do plantio direto.

Canelas et al (2003) estudando propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar preservando o palhicho e a vinhaça por longo tempo, observaram que a acidez potencial (H+Al) foi dominada exclusivamente pelos íons H^+ , uma vez que não foi possível detectar o Al^{3+} . Essa acidez foi maior na camada superficial nas áreas com menor teor de carbono.

Estes resultados diferem de Almeida et al (2005) que no mesmo tipo de solo, em sistema de semeadura direta, encontrou na camada superficial teores mais elevados de acidez potencial, coincidindo com o maior teor de carbono orgânico, também verificado nessa camada. Desse modo, o carbono orgânico contribuiu para aumentar as fontes de acidez potencial do solo na camada superficial, reduzindo ligeiramente o pH, bem como para aumentar compostos orgânicos complexantes, diminuindo o Al^{+3} . Tais resultados, explicam nesse trabalho, em parte, os altos níveis de produtividade obtidos na semeadura direta.

2.4.4. Capacidade de troca catiônica (CTC) e Matéria Orgânica

A CTC é de grande importância no que diz respeito à fertilidade do solo, uma vez que indica a capacidade total de retenção de cátions, os quais, em geral, irão tornar-se disponíveis às plantas (CHAVES et al, 2004).

De acordo com Canelas et al (2003), nos solos de mineralogia 1:1, a matéria orgânica do solo comanda o desenvolvimento de cargas na superfície, sendo natural a maior capacidade de troca encontrada nas áreas de maior aporte de matéria orgânica. Falleiro et al (2003) verificaram o aumento da CTC a pH 7 na semeadura direta e atribuíram esse fato ao aumento da matéria orgânica. Entretanto, o aumento da CTC efetiva foi influenciado pela matéria orgânica, pH e cátions trocáveis do solo.

A utilização de sistemas de manejo do solo sem revolvimento e alta adição de resíduos culturais por cinco anos promoveu aumento nos teores de carbono orgânico total e na CTC do solo, com reflexos na maior retenção de cátions, indicando ser viável a recuperação de solos degradados por sistemas de manejo em médio prazo. Essas modificações se restringiram às camadas superficiais (BAYER; MIELNICZUK, 1997).

A adição de matéria orgânica na lavoura de cana-de-açúcar por um longo prazo, através da preservação da palhada por ocasião da colheita ou pela adição de vinhaça, alterou as propriedades químicas do solo e proporcionou melhoria na fertilidade do solo e na qualidade da matéria orgânica do solo com aumento do conteúdo de substâncias húmicas alcalino-solúveis mais condensadas. (CANELLAS et al , 2003).

Resultados semelhantes foram encontrados por Carneiro et al (2004) em que a adição de palhada, calcário e vinhaça corrigiram o pH e teve como consequência a diminuição do Al^{+3} livre, proporcionou também aumento da CTC e da disponibilidade de cátions básicos para a nutrição das plantas. Para esses autores, o solo estando em equilíbrio químico, favorece o restabelecimento microbiano, o que irá favorecer também a degradação da palhada, liberando assim constituintes orgânicos e inorgânicos que auxiliarão na manutenção desse equilíbrio, além de favorecer a estruturação do solo, condições necessárias para o bom desenvolvimento radicular e conseqüente desenvolvimento da planta.

2.5 Geoestatística e a variabilidade espacial em propriedades do solo

As propriedades do solo são variáveis contínuas, das quais se espera que variem de acordo com a direção e distância de separação e, portanto, existindo entre elas, dependência espacial (MOURA; VIEIRA; CARVALHO, 1992). O estudo da variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas dos solos é importante em áreas com diferentes manejos, pois pode indicar alternativas de manejo do solo para reduzir os efeitos da variabilidade horizontal e vertical do solo (SILVA et al, 2003)

A geoestatística verifica a presença de dependência espacial entre as propriedades do solo. Essa dependência espacial ou continuidade entre amostras vizinhas, pode ser estimada pelo semivariograma. O semivariograma é um gráfico que relaciona a semivariância de uma variável qualquer com uma distância (h). Os semivariogramas apresentam três importantes parâmetros: (1) o efeito pepita (C_0), que se refere ao valor da semivariância para a distância zero e representa o componente da variação ao acaso; (2) o patamar ($C_0 + C_1$), que é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante (é o máximo da semivariância). O patamar é atingido quando a variância dos dados se torna constante com as distâncias entre as amostras e esse parâmetro permite a determinação da distância limite entre a dependência e a independência entre as amostras; (3) o alcance (a), que é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, é considerado o limite da dependência espacial da grandeza medida. Após a seleção do semivariograma da variável em estudo e havendo dependência espacial, pode-se interpolar

valores em qualquer posição na área estudada, sem tendência e com variância mínima. (VIEIRA, 2000).

Gandah et al (2000) afirmam que o conhecimento da variação de atributos químicos é importante para o levantamento e manejo do solo, planejamento de esquemas de amostragem e gerenciamento de práticas agrícolas. A variabilidade desses atributos são alguns dos possíveis responsáveis pela influência na oscilação da produtividade. Antes de buscar qualquer relação desses elementos com a cultura, é importante avaliar a extensão e a intensidade da dependência espacial desta variação, isoladamente ou em conjunto com outros parâmetros.

Através da geoestatística, inúmeros trabalhos de campo têm mostrado a importância do estudo das variações das condições do solo como aspecto fundamental para se implementar uma agricultura mais eficiente e rentável, mostrando que a variabilidade do solo não é puramente aleatória, apresentando correlação ou dependência espacial (SOUZA et al, 2004).

Cichota, Lier e Van Rojas (2003) estudando a variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo, verificaram a existência de dependência espacial com alcance na ordem de 3,5m.

Silva et al (2003) estudando a variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em Argissolo, observaram que todos os atributos estudados apresentaram de moderada a forte dependência espacial. O alcance da dependência espacial foi de 4,5m para a produtividade do milho e foi muito próximo ao alcance da saturação por alumínio, H+Al e alumínio trocável. Para pH em água, potássio trocável, cálcio trocável, magnésio trocável, CTC efetiva e saturação por bases, o alcance foi 20m. É provável que o manejo recente da área tenha contribuído para o aumento da variabilidade dos atributos fósforo e potássio.

No estudo da variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em Argissolo sob diferentes usos, o semivariograma cruzado mostrou correlação espacial entre a espessura do horizonte A e a taxa de infiltração, em cultivo de café e na mata/capoeira (BERTOLANI; VIEIRA, 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização e histórico da área de estudo

A área em estudo localiza-se no assentamento do INCRA denominado Tico-tico e pertence ao Município de Miranda do Norte, a $3^{\circ} 36'$ de latitude sul e $45^{\circ} 24'$ de longitude oeste (Figuras 1 e 2).

O município de Miranda do Norte no Estado do Maranhão possui área territorial de 353,7 km², está localizado na Mesorregião Norte Maranhense e na Microrregião de Itapecuru-Mirim. Limita-se ao Norte com os municípios de Anajatuba e Itapecuru-Mirim, ao Sul com Matões do Norte, a Leste com Cantanhede e a Oeste com Arari. Distante 156 km da capital São Luís, a 60 m acima do nível do mar.



Figura 1. Assentamento Tico-Tico.

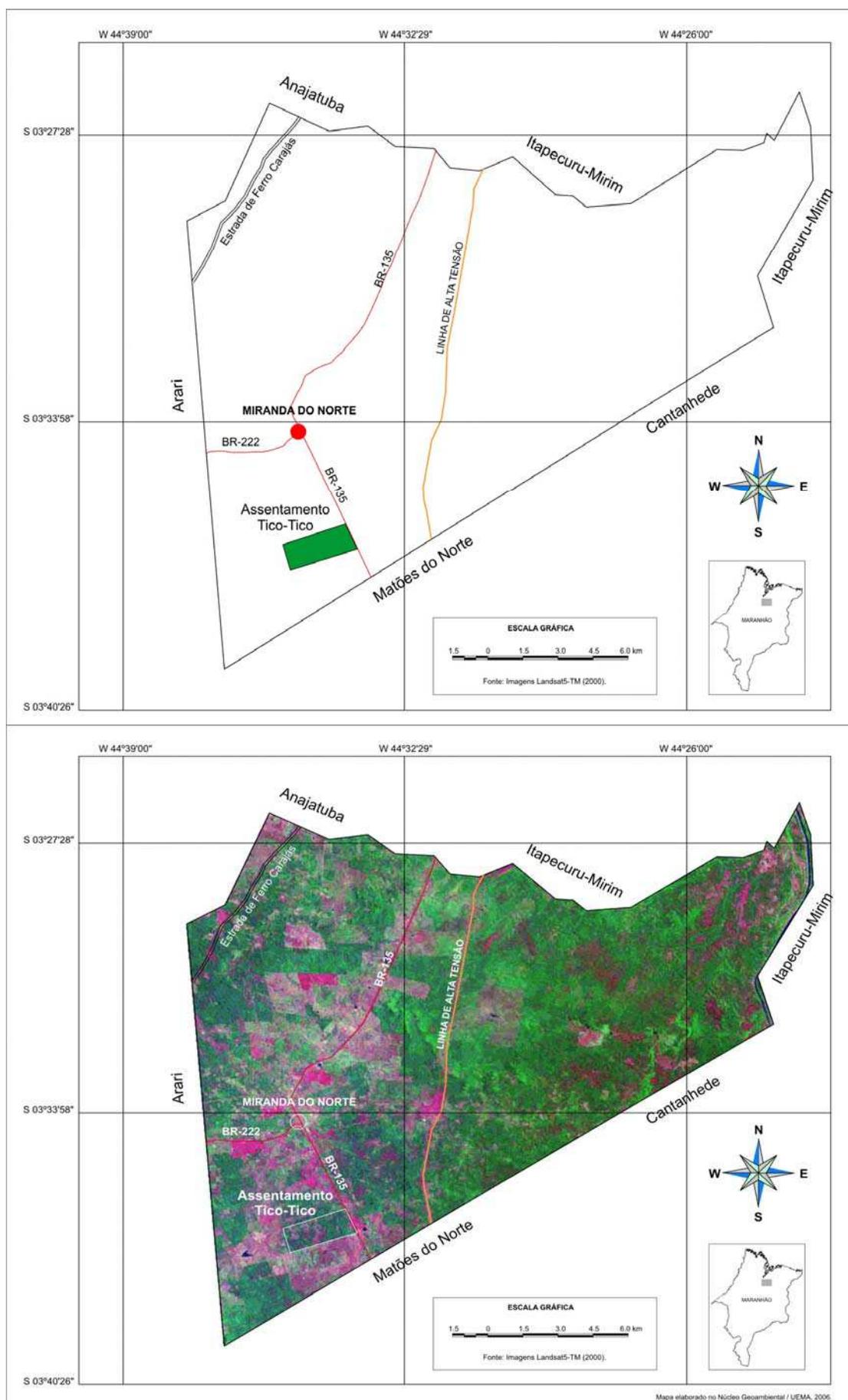


Figura 2. Localização do assentamento Tico -Tico (mapa e imagem de satélite).

O assentamento consta de 17 famílias e é representado pela Associação dos Pequenos Agricultores Rurais de Tico-Tico numa área de 332,43 ha. Sendo que desta utilizou-se 1 ha de área para instalação do experimento.

No início de 2002, a capoeira foi desmatada e aplicado calcário em superfície para implantação de um agrossistema: o “alley cropping” (cultivo em aléias) com *Clitoria fairchildiana* (Figura 3), uma leguminosa arborea. O espaçamento utilizado para plantio dessa leguminosa foi de 0,5m entre plantas e 2,6m entre fileiras, totalizando 44 fileiras. Nesse sistema, as leguminosas são podadas a 0,5m do solo e seus ramos espalhados para manutenção da cobertura do solo, anualmente. Nas entrelinhas das fileiras das leguminosas são plantadas as culturas anuais: arroz, milho, feijão. Após essas culturas serem colhidas, são semeadas leguminosas rasteiras como guandu (*Cajanus cajan*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*) para contribuir na construção da fertilidade do solo durante a estação seca, pois, nesse período o déficit hídrico na região não permite a produção de culturas anuais.

O primeiro plantio de cultura anual iniciou-se com milho e ocorreu em 2002 com plantadeira mecanizada, seguido de feijão caupi. Em 2003 a área foi plantada com milho, arroz e feijão caupi, porém em sistema de plantio direto. Sendo que o feijão caupi foi sempre plantado no final do período chuvoso, o mesmo ocorrendo em 2004. Em 2005, o milho foi plantado também em plantio direto, sendo avaliada a sua produtividade e os indicadores físicos e químicos do solo.



Figura 3. Aléias com a leguminosa *Clitoria fairchildiana* na área do experimento.

3.2 Clima

O clima do município de Miranda do Norte é caracterizado como sub-úmido (C₂), com temperatura média anual superior a 27°C, a umidade relativa (UR) do ar oscila entre 76% a 79% e a precipitação pluviométrica entre 1600 a 2000 mm anuais (IEASE, 2003), dos quais mais de 80% ocorrem de janeiro a maio. Essa irregularidade pluviométrica determina a ocorrência de deficiências e excessos hídricos, com duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa. Os dados locais referentes às precipitações durante o ciclo da cultura do milho até a colheita, nos meses iniciais de 2005, acumularam um total de 1.137,5 mm e encontram-se na Figura 4.

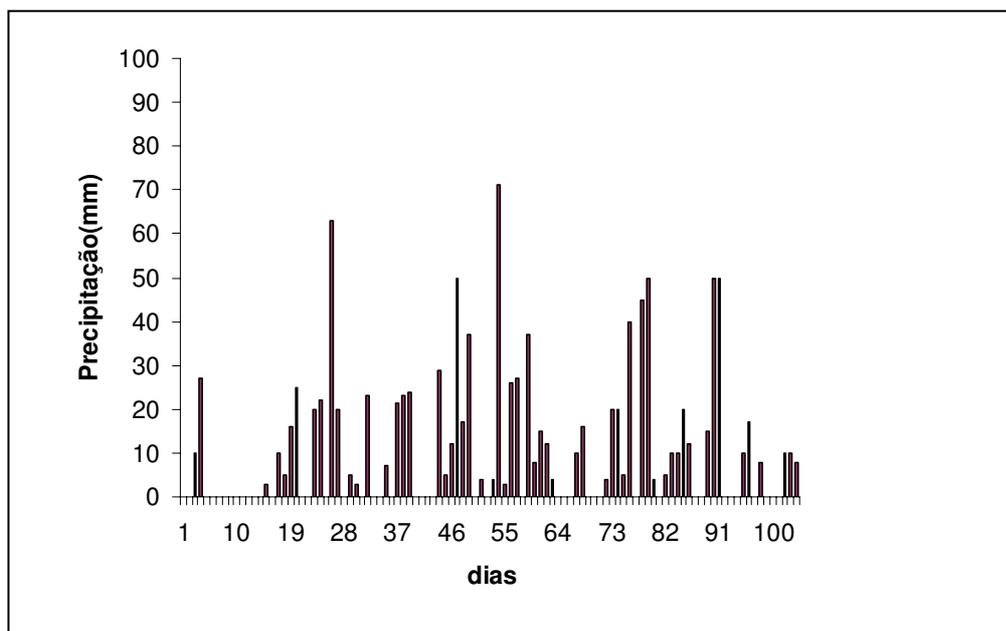


Figura 4. Precipitação na área do Assentamento Tico-tico durante o ciclo da cultura do milho, acumulando um total de 1.137,5 mm (Fonte: estação pluviométrica local).

3.3 Geologia

O município de Miranda do Norte está inserido numa zona de ocorrência de rochas pertencentes a duas unidades litoestratigráficas denominadas Formação Itapecuru e Cobertura Detrítico-Laterítica, de idades cretácica e terció-quaternária respectivamente (CPRM, 1995).

A Formação Itapecuru está representada, principalmente, por um conjunto de siltitos cinza-claro a cremes; argilitos avermelhados a cinza-esverdeados e arenitos finos avermelhados, correspondentes à subunidade inferior (Membro Psamítico) desta Formação, que são expostos apenas a oeste e sudoeste da sede do município (CPRM, op. Cit.).

Por sua vez, a Cobertura Detrítico-Laterítica ocupa a maior parte da área, recobrando os sedimentos areno-pelíticos da Formação Itapecuru, sendo constituída de lateritos argilo-arenosos de coloração marrom-avermelhada, argilitos variegados e cascalho amarelado que, geomorfologicamente, representam colinas de topos arredondados, com baixas altitudes e cotas ao redor de 30 a 60 metros (MOURA, 2004).

3.4 Solo

O solo na área onde foi implantado o experimento do assentamento Tico-tico foi classificado como PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico, Epiutrófico, típico, A moderado, textura média, relevo plano, fase floresta subperenifólia dicótilo palmácea com babaçu segundo a Embrapa (1999), cujas características morfológicas, físicas e químicas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características pedológicas de perfil de solo no assentamento Tico-tico, Miranda do Norte – MA.

Características Morfológicas											
Horiz.	Prof.(cm)		Cor		Textura						
Ap	0-10		Bruno acinzentado escuro		Franco-siltosa						
BA	10 a 20		Cinza claro		Franco-siltosa						
Btf1	20 a 35		Variegado de bruno		Franco-argilosa						
Btf2	35 a 120		Cinza-brunado claro		Franco-siltosa						
2Cf	140 +		Cinza claro		Franco-siltosa						
Características Físicas											
Horiz.	Granulometria %						Densidade Mg.m ⁻³				
	areia	silte	argila								
Ap	23	68	9	1,3							
BA	29	55	16	1,2							
Btf1	21	40	39	1,5							
Btf2	26	60	14	1,6							
2Cf	31	59	10	1,5							
Características Químicas											
Horiz.	pH	M.O	P	Al ³⁺	H +Al	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mmol.dm ⁻²							
Ap	4.3	31	8	5	56	2.7	11	7	21	77	27
BA	4.1	7	5	12	36	1.1	9	8	18	54	33
Btf1	4.1	7	4	28	101	1.9	13	19	34	135	25
Btf2	4.1	-	5	0	60	1.5	7	11	20	80	25
2Cf	6.7	1	4	1	8	1.1	30	63	94	102	92

Fonte: Laboratório de Solos da UEMA e UNESP -Botucatu, metodologia IAC (1983).

Perfil descrito e coletado por Marlen Barros e Silva.(Anexos).

Os Plintossolos do assentamento Tico-tico apresentam seqüência de horizontes A - BA - Bt_f- Cf, textura média ao longo do perfil, com predomínio de silte, drenagem imperfeita, ausência de pedregosidade e rochosidade. Do ponto de vista químico, apresentam baixa saturação de bases (caráter distrófico) no horizonte subsuperficial e pH ácido, enquanto que superficialmente são eutróficos.

3.5 Vegetação e Hidrografia

A formação vegetal do assentamento Tico-tico caracteriza-se pela ocorrência da Floresta subperenifólia dicótilo-palmácea com Babaçu (*Orbignya phalerata sp*), esta se constitui na principal espécie dominante.

O município de Miranda do Norte está inserido na Bacia Hidrográfica do Itapecuru, e por conseqüência, também o assentamento. Este é servido por apenas um pequeno córrego temporário, sendo a principal fonte de água superficial.

3.6 Plantio do milho e tratos culturais

A semeadura do milho foi realizada em 20 de janeiro de 2005, entre as fileiras das leguminosas (aléias), com plantadeira-adubadeira manual de dois bicos para plantio direto (Figura 5). Efetuou-se o controle de ervas espontâneas 20 dias antes do plantio com a aplicação dos herbicidas glifosato na dose de 5 litros ha⁻¹.

A adubação foi aplicada por ocasião da semeadura, utilizando-se 28 kg.ha⁻¹ de N, 96 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e 30 kg.ha⁻¹ de K₂O das fontes Sulfato de Amônio, MAP e Cloreto de Potássio, respectivamente e 2,5 kg ha⁻¹ de Zinco. Aos 30 dias da germinação realizou-se a adubação de cobertura correspondente a 50 kg ha⁻¹ de N, utilizando-se como fonte a Uréia.

A variedade de milho semeada foi o híbrido precoce A 4454, para obtenção de uma população de 55.000 plantas ha⁻¹. O corte das leguminosas foi realizado 10 dias após a germinação do milho à altura de 50 cm do solo e estas foram espalhadas entre as fileiras do milho.



Figura 5: Plantio direto do milho com plantadeira manual na área do experimento.

3.7 Avaliação do Agrossistema

3.7.1 Parâmetros avaliados

Para a avaliação do agrossistema, a área foi demarcada, considerando as 44 fileiras da leguminosa, formando grids de 10 x 10 m, iniciando no centro das leguminosas, junto às fileiras do milho (Figura 6). Todos os pontos do grid foram georreferenciados num plano cartesiano, constituindo um total de 113 pontos. A amostragem foi do tipo grade quadrada (Figura 7).



Figura 6. Plantação do milho, pontos do grid e aléias podadas no experimento

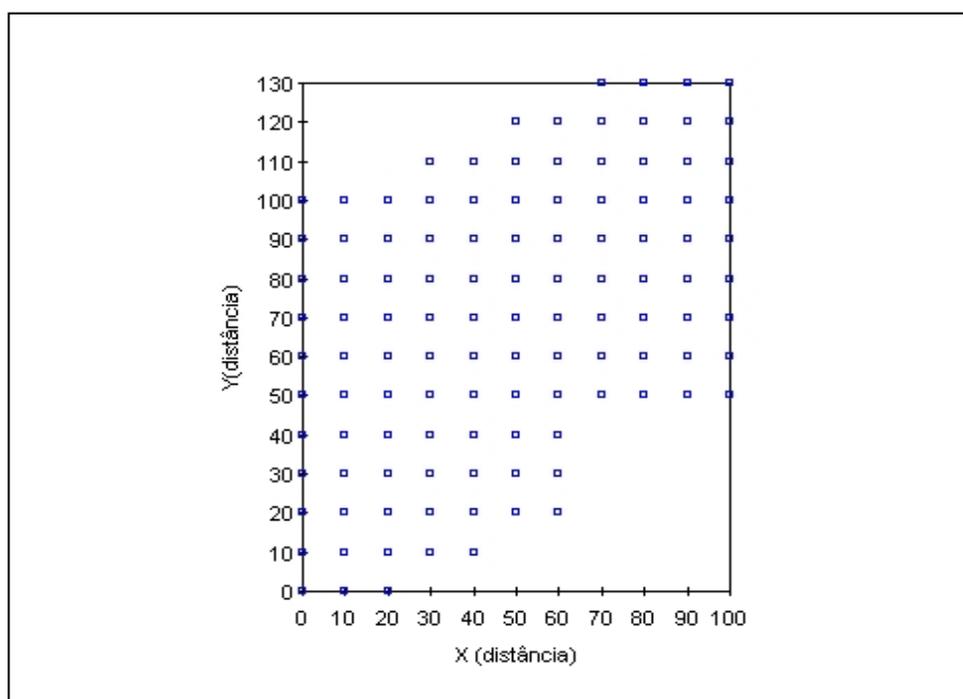


Figura 7. Croqui da área amostrada – amostragem tipo grade quadrada (113 pontos).

Para as análises químicas foram retiradas amostras de solo em todos os pontos do grid na profundidade de 0 a 20 cm para as determinações de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, carbono orgânico e pH em cloreto de cálcio foram realizadas de acordo com recomendações do IAC (1983).

Para a determinação da densidade do solo (D_s), porosidade total (Pt), capacidade de aeração (Ca) foram retiradas nos pontos do grid, na camada de 0 a 20cm de profundidade, 3 amostras de terra com estrutura indeformada, usando-se anéis cilíndricos de 100 cm^3 . A amostragem foi realizada na época de maturação do milho. Depois de preparadas, as amostras foram saturadas por meio de elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja até atingir $2/3$ da altura da amostra, durante 12 horas, e submetidas à aplicação de sucção à altura de 60 cm de coluna d'água na mesa de tensão.

A densidade do solo foi determinada pela equação 1:

$$D_s = \frac{M_s}{V} \quad (1)$$

Onde:

M_s = é a massa de solo (g) da amostra;

V = volume do solo (cm^3).

A porosidade total foi obtida pela equação 2 :

$$Pt = 1 - \left(\frac{D_s}{D_p} \right) \quad (2)$$

Onde:

D_s = densidade do solo (g. cm^{-3});

D_p = densidade de partículas (g. cm^{-3}), cujo valor considerado foi de $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$.

A capacidade de aeração, que corresponde ao volume de poros ou (espaço poroso) da amostra, foi calculada como sendo a diferença de massa entre a amostra saturada e equilibrada a 10 kPa em mesa de tensão.

As determinações de infiltração de água na superfície foram realizadas após a colheita do milho, nos pontos do grid, utilizando-se o Permeâmetro de Guelph, de carga

constante - modelo IAC (Figura 8) e foi calculada usando-se a equação 3 de Reynolds e Elrick (1985), adaptada por Vieira (1988) :

$$I = 60 \left(\frac{D_p}{D_a} \right)^2 \cdot Q \quad (3)$$

Em que:

I = taxa de infiltração de água em solo saturado (mm/h);

D_p = diâmetro do permeâmetro (9cm); D_a = diâmetro do anel (15cm) ;

Q = fluxo (mm/min) determinado na saturação.



Figura 8. Permeâmetro de Guelph (a), detalhe do anel e carga constante (b).

A produtividade dos grãos de milho foi avaliada no dia 26 de maio, colhendo-se as espigas de uma área útil de 8 m² em intervalos de 10 x10 m, da qual foi contabilizado o número de espigas, o peso médio das espigas (g), o peso total dos grãos (Mg. ha.⁻¹) e o peso de 100 grãos (g).



Figura 9. Milho após dois meses de plantio.

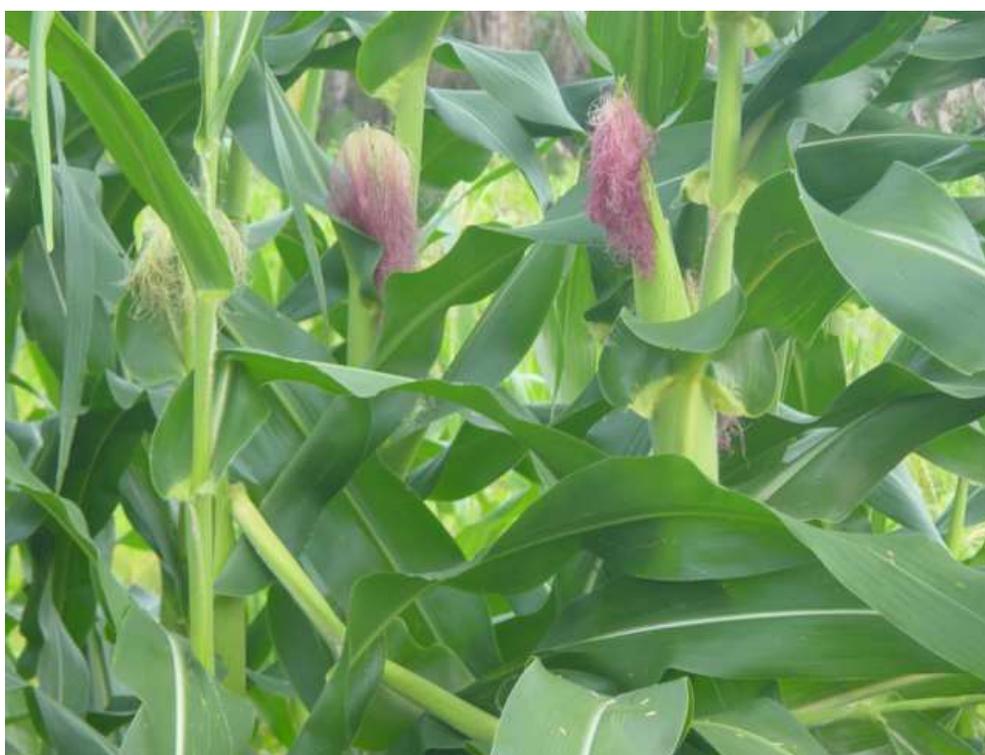


Figura 10. Detalhe da lavoura de milho durante o florescimento.

3.7.2 Análise de resultados

A partir da determinação dos dados, os indicadores químicos foram interpretados de acordo com Ribeiro et al. (1999). Os indicadores físicos: densidade do solo, porosidade e capacidade de aeração do solo, foram interpretados de acordo com Archer e Smith (1972) e a infiltração pela Soil Survey Staff (1993).

Os dados de produtividade do milho, indicadores físicos e químicos do solo foram avaliados por meio de estatística descritiva através do programa Statistic 6.0, tomando-se por base as seguintes medidas: média, mediana, valores máximo e mínimo, coeficiente de variação (CV), coeficiente de assimetria e curtose.

O coeficiente de Pearson (r^2) também foi determinado e expressa a correlação entre a produtividade do milho e os indicadores físicos e químicos do solo.

Avaliou-se, também, a distribuição de frequência dos dados. Para verificar a aderência ou não dos dados à distribuição normal, aplicou-se o teste Kolmogorov-Smirnov (KS) no nível de 5% de probabilidade, o qual consiste segundo Costa Neto (1997), no cálculo das diferenças entre as probabilidades da variável normal reduzida e as probabilidades acumuladas dos dados experimentais. Se o valor calculado em módulo for menor que o tabelado, a distribuição experimental é aceita como aderente à distribuição normal. Para um número de amostras (n) maior que 50, calcula-se KS pela equação 4:

$$KS = \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{p}{2}\right)}{2n}} \quad (4)$$

Onde:

KS = é a diferença máxima admitida entre a curva experimental e a teórica;

p = nível de significância escolhido;

n = número de dados amostrados.

A análise de dependência espacial para os dados de produtividade do milho e infiltração, densidade, matéria orgânica e saturação por bases do solo, foi feita por meio da geoestatística através do software Gs+(Gamma Design Software, 1998), utilizando-se o semivariograma, com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca, o qual pode ser estimado pela equação 5:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2 \quad (5)$$

Em que:

$\gamma(h)$ = é a função semivariograma;

$N(h)$ = é o número de pares experimentais de dados separados por uma distância h ;

$z(x_i)$ = valor determinado em cada ponto amostrado;

$z(x_{i+h})$ = valor medido num ponto mais uma distância h , informando quão diferentes se tornam os valores em função de h .

Os semivariogramas do tipo esférico, exponencial, linear e gaussiano foram testados. A escolha dos modelos matemáticos foi realizada observando-se o coeficiente de determinação (r^2) e a soma de quadrados de resíduos (RSS) foi obtida pela técnica de validação cruzada. Essa técnica consiste em retirar, individualmente, cada ponto medido da área estudada e o seu valor é estimado via krigagem como se ele nunca existisse.

Após o ajuste de um modelo matemático aos valores calculados do semivariograma, foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma, ou seja, o efeito pepita C_0 , o patamar C e o alcance da dependência espacial A_0 (COUTO; KLAMT; STEIN, 2000).

O efeito pepita refere-se ao valor do semivariograma na interceptação do eixo Y e representa o comportamento da variação ao acaso. Dividindo o efeito pepita pelo valor do patamar, o grau de dependência espacial das variáveis em estudo pode ser avaliado. Neste estudo, foi realizada para analisar o grau dessa dependência, uma modificação da classificação de Cambardella et al (1994), subtraindo-se de uma unidade o resultado da divisão entre C_0 e $C_0 + C$. Nesse caso, foram considerados de dependência espacial forte, os semivariogramas que tem efeito pepita maior ou igual a 0,75 do patamar; de dependência espacial moderada, quando o efeito pepita está entre 0,74 e 0,26 e de dependência fraca, quando o efeito pepita é menor ou igual a 0,25.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estatística Descritiva

4.1.1 Análise descritiva da Produtividade do milho

As medidas descritivas dos atributos relacionados à produtividade do milho podem ser observadas na tabela 2. O teste de normalidade Komolgorov-Sminorv (KS) avalia o ajuste dos dados à distribuição normal. Baseado neste teste, apenas a variável peso de 100 grãos (Figura 11) apresentou distribuição normal, as demais variáveis peso total dos grãos (Figura 12) e peso médio da espiga (Figura 13) comportaram-se com distribuição lognormal e nestas, a média não representa com segurança uma aferição de suas variabilidades.

Tabela 2. Medidas descritivas para a variável produtividade do milho.

Variáveis (n=113)	Média	Mediana	CV%	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose	KS% ⁽¹⁾
Peso total dos grãos (Mg. ha ⁻¹)	3,0	2,68	39,56	1,05	5,40	-0,32	0,42	0,12
Peso de 100 grãos (g)	25,73	25,77	6,27	20,28	29,38	0,63	-0,65	0,05*
Peso médio das espigas (g)	87,23	78,33	37,14	40,00	154,44	0,55	-0,64	0,13

(1) Teste de normalidade Komolgorov-Smirnov (KS) a 5% de significância, * variável com distribuição normal.

De acordo com tabela 2 para o peso total dos grãos observou-se neste sistema um rendimento médio de 3 Mg.ha⁻¹ e os valores extremos variando com o máximo 5,4Mg ha⁻¹ e mínimo de 1,05 Mg.ha⁻¹. Entretanto, os dados do IBGE (2005), mostram que o rendimento médio do milho no município de Miranda do Norte é de 0,48 Mg. ha⁻¹, no Maranhão 1,07 Mg.ha⁻¹, no Nordeste de 1,12 Mg.ha⁻¹ e no Brasil de 3,04 Mg.ha⁻¹.

Os resultados encontrados neste trabalho implicam em uma melhoria do rendimento médio local quando comparado com as referências do IBGE. Esta melhoria de

rendimento pode ser atribuída ao sistema de plantio direto do milho em aléias que provavelmente reduziu as restrições apresentadas pelo Plintossolo estudado. Para comprovação desse fato faz-se necessário a comparação de sistemas com manejo e sem manejo, que não foi objeto desta pesquisa.

No Brasil alguns estudos atestam que o grande problema associado à produção é a heterogeneidade dos sistemas de produção, os quais variam amplamente entre Estados e, principalmente, entre tipos de produtores, razão pela qual mesmo os indicadores nacionais são muito variáveis, o que indica uma necessidade de mais pesquisas em níveis locais.

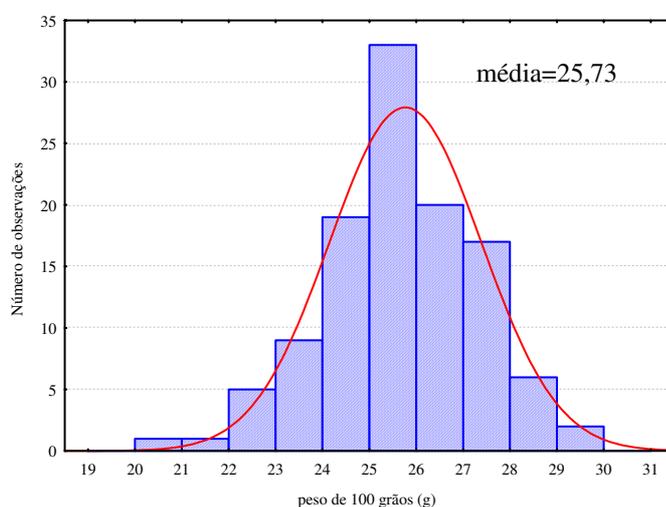


Figura 11. Histograma de frequência para peso de 100 grãos (g).

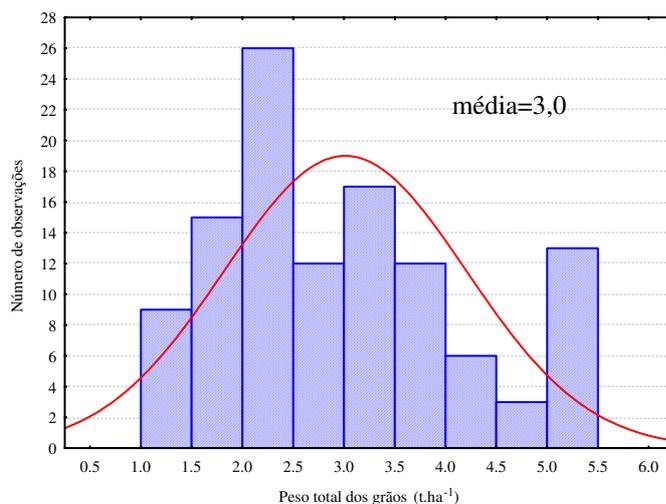


Figura 12. Histograma de frequência para peso total dos grãos (Mg. ha⁻¹).

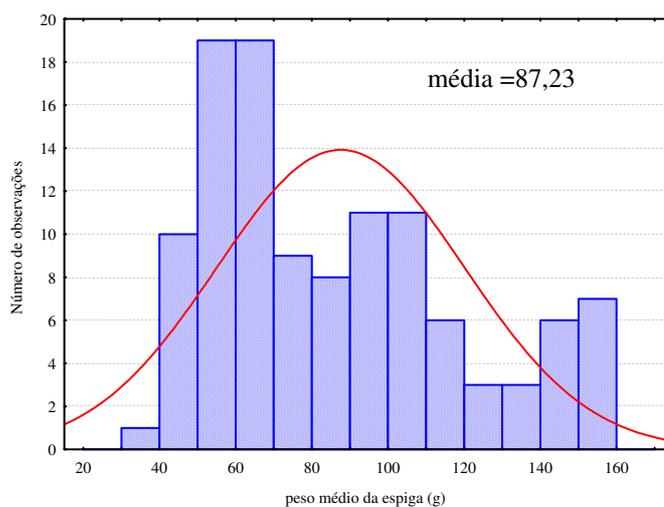


Figura 13. Histograma de frequência para peso médio da espiga (g).

4.1.2 Análise descritiva dos indicadores físicos do solo

As medidas descritivas dos indicadores físicos podem ser observadas na tabela 3. O teste de normalidade KS indicou que apenas as variáveis porosidade (Figura 14) e densidade do solo (Figura 15) apresentaram distribuição normal, podendo a média representar estas variáveis. Capacidade de aeração (Figura 16) e a infiltração (Figura 17) comportaram-se com distribuição lognormal.

Tabela 3. Medidas descritivas para os indicadores físicos.

Variáveis (n=113)	Média	Media na	CV%	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose	KS% ⁽¹⁾
Capacidade de aeração (%)	13,49	13,04	24,09	8,19	29,06	1,47	3,79	0,15
Densidade do solo (g.cm ⁻³)	1,41	1,41	4,96	1,25	1,61	-0,11	0,51	0,07*
Porosidade total (dm ⁻³ . dm ⁻³)	0,46	0,46	5,68	0,39	0,52	0,11	0,51	0,07*
Infiltração (mm.h ⁻¹)	38,07	30,00	58,67	12,00	90,00	0,81	-0,35	0,16

⁽¹⁾ Teste de normalidade Komolgorov-Smirnov (KS) a 5% de significância, * variável com distribuição normal.

Neste estudo, a maior variação foi verificada para infiltração (58,67%), Resultados semelhantes foram encontrados por Assis e Lanças (2005) e Souza, Leite e Beutler (2004) que também encontraram alta variação para infiltração. A alta variabilidade da infiltração

relaciona-se às propriedades do solo e da água. Outras decorrem do método utilizado no processo de medição da infiltração (ARAÚJO FILHO; RIBEIRO, 1996).

A infiltração foi o único indicador físico que se correlacionou com a produtividade do milho (Tabela 4), resultado coerente com a capacidade de aeração, pois 82% dos valores encontrados nesse sistema, classificaram-se na faixa de bom a muito bom (> 10%), de acordo com a classificação de Archer e Smith (1972) observada na tabela 5. É importante notar que maior quantidade de água infiltrada pode significar, no mínimo, menor escoamento superficial e menor erosão (ELTZ; PEIXOTO; JASTER.1989). Para as condições deste solo, maior quantidade de água infiltrada pode ter resultado nas melhores produtividades nesse sistema e no maior armazenamento potencial.

Nos resultados de Ribon et al (2002) foram observados que para o limite crítico (10%) considerado como condição mínima para aeração, a condição desse limite era estabelecida pelos valores de densidade do solo local, independente do manejo empregado. Neste estudo, o limite crítico provavelmente ocorreu nos locais de mais altas densidades, onde normalmente acontece o alagamento e pode ter sido a causa de alguns valores menores de produtividade.

A maioria dos valores de densidade (Figura 15) nesse sistema apresentou-se alta (>1,40 g.dm⁻³) pela referência de Archer e Smith, devido à textura siltosa. A maior densidade se reflete na porosidade total, que tende a diminuir. Os valores de porosidade total variaram de 0,39 a 0,53 dm⁻³. Estes resultados concordam com os encontrados por Sidiras e Pavan (1984); Stone e Silveira (2001) e Ribon et al (2002), os quais verificaram altos valores de densidade em sistemas de plantio direto, porém em classes de solos diferentes desse estudo.

O aumento da densidade do solo tem sido observado no sistema de plantio direto, nos primeiros anos de sua implantação na camada superficial, devido ao arranjo natural do solo quando este não é mobilizado, principalmente, em solos argilosos. No entanto, com o passar dos anos sua densidade pode vir a diminuir, devido, em parte, ao aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial, que favorece o melhor desenvolvimento da estrutura do solo (FERNANDES et al, 1983). Neste sistema, essa observação pode ser considerada em parte, pois o solo já era naturalmente adensado,

sendo constantemente submetido aos ciclos de umedecimento e secagem e apresentando dificuldades de drenagem nos meses de maior precipitação pluviométrica crítica.

Entretanto, Secco et al (2005) também encontraram altos valores de densidade no plantio direto e observaram não haver comprometimento da produtividade do milho, apesar das mudanças no estado estrutural do solo. Neste estudo, a não correlação dos dados de produtividade com os indicadores físicos poderia permitir a concordância com esses autores. No entanto, não é possível afirmar que o comprometimento da produtividade não tenha sido também devido a essa condição, uma vez que a análise descritiva não permite visualizar esta situação.

Tabela 4. Correlação (coeficiente de Pearson r^2) entre a produtividade do milho e indicadores físicos do solo.

Variáveis	Peso Total dos grãos(t. ha ⁻¹)	Peso de 100 grãos(g)	Peso médio da espiga(g)
Capacidade de aeração(%)	0,03	0,14	0,03
Densidade(g.cm ⁻³)	-0,12	0,00	-0,10
Porosidade(dm ⁻³ . dm ⁻³)	0,11	-0,00	0,10
Infiltração (mm.h ⁻¹)	0,34*	-0,01	0,12

*coeficiente de Pearson (r^2), significativo ao nível de 5%.

Tabela 5. Classificação dos indicadores físicos do solo com seus respectivos níveis.

Classificação e nível			
Indicadores físicos			
Densidade (g.cm ⁻³) ⁽¹⁾	Baixa < 1,36	Ótima (ideal) 1,36 -1,40	Alta > 1,40
Capacidade de aeração (%) ⁽¹⁾	Insuficiente < 10	Boa 10 - 15	Muito boa > 15
Infiltração (mm.h ⁻¹) ⁽²⁾	Lenta 5 - 20	Lenta a moderada 20 - 63,5	Moderada moderada a rápida 63,5 - 127 127 - 254

Fonte: ⁽¹⁾ Archer & Smith (1972) para solos franco -siltosos, ⁽²⁾ Soil Survey Staff (1993).

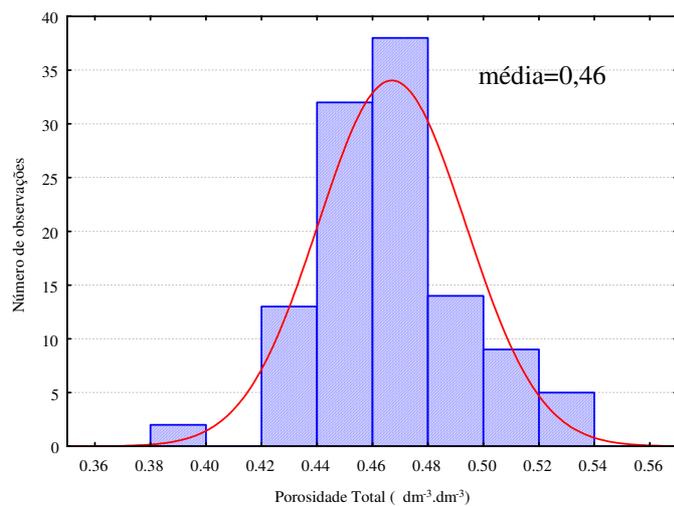


Figura 14. Histograma de frequência para Porosidade total ($\text{dm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$).

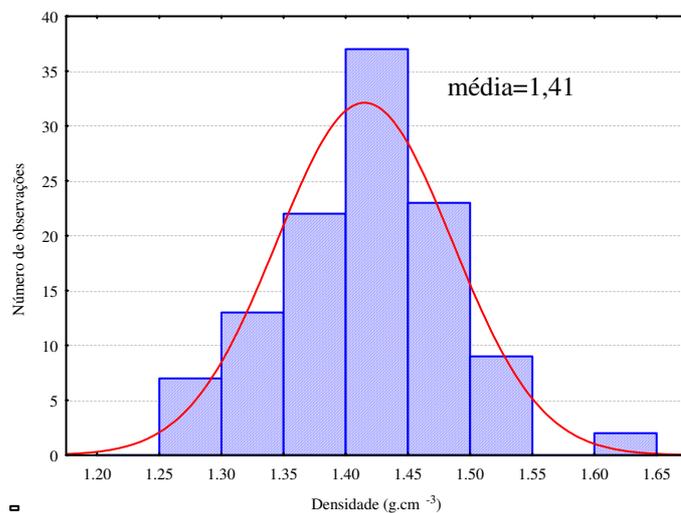


Figura 15. Histograma de frequência para Densidade do solo ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

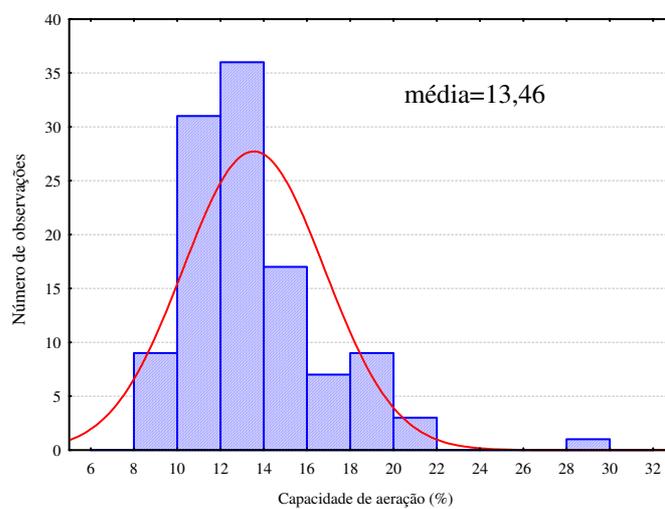


Figura 16. Histograma de frequência para Capacidade de aeração (%).

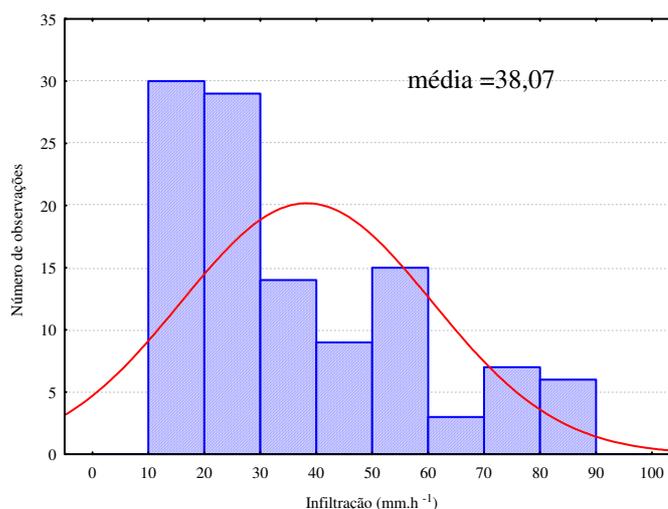


Figura 17. Histograma de frequência para Infiltração do solo

4.1.3. Análise descritiva dos indicadores químicos do solo

As medidas descritivas dos indicadores químicos podem ser observadas na tabela 6. Considerando o teste de normalidade KS, somente as variáveis Ca, Mg, H+Al e SB apresentaram distribuição normal. Os demais indicadores M.O., pH, P, K, C, CTC e V% apresentaram distribuição lognormal, não podendo ser estas representadas pela média.

Tabela 6. Medidas descritivas para os indicadores químicos do solo.

Variáveis (n=113)	Média	Mediana	CV%	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose	KS% ⁽¹⁾
M.O.(g.dm ⁻³)	38,38	38,00	19,33	25,00	60,00	0,65	0,19	0,10
pH	4,80	4,70	10,00	4,20	6,30	1,13	0,84	0,16
(CaCl ₂)								
P (mg.dm ⁻³)	19,04	15,60	64,35	5,20	82,00	2,15	6,57	0,14
K ⁺	1,99	2,00	50,67	0,10	7,60	1,46	7,71	0,10
(mmolc.dm ⁻³)								
Ca ²⁺	20,67	20,50	31,30	8,00	40,10	0,26	-0,29	0,05*
(mmolc.dm ⁻³)								
Mg ²⁺	22,16	21,90	20,43	9,70	38,30	0,52	1,38	0,08*
(mmolc.dm ⁻³)								
H+Al	34,25	34,00	31,99	13,00	64,00	0,30	-0,21	0,06*
(mmolc.dm ⁻³)								
C (g.dm ⁻³)	2,22	2,20	19,33	1,45	3,48	0,65	0,19	0,10
SB	44,83	44,50	18,50	26,40	66,00	0,05	-0,64	0,07*
(mmolc.dm ⁻³)								
CTC (pH 7)	79,66	77,60	15,14	58,10	111,80	0,65	-0,16	0,09
(mmolc.dm ⁻³)								
V % (mmolc.dm ⁻³)	57,18	56,04	17,98	36,61	81,30	0,38	-0,58	0,09

⁽¹⁾Teste de normalidade Komolgorov-Smirnov (KS) a 5% de significância, * variável com distribuição normal.

A interpretação dos indicadores químicos segue as recomendações de adubação pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (Ribeiro et al, 1999) referidas na tabela 7.

Observa-se neste sistema de plantio direto em aléias, que os teores de matéria orgânica (Figura 18) são muito altos ($> 7,0 \text{ g.dm}^{-3}$). Altos teores de M.O. podem ser explicados pela reação ácida do solo que favorece a atividade de fungos em detrimento da atividade bacteriana e conseqüentemente pela mineralização e humificação promovendo acúmulo de matéria orgânica (FASBENDER; BONEMIZSA, 1987). Para Falleiro et al (2003), os altos teores foram atribuídos ao não revolvimento do solo pelo plantio direto e à permanência dos resíduos na sua superfície. Neste estudo os altos teores de M.O. tiveram relação direta com a produtividade do milho, uma vez que houve correlação entre essas duas variáveis. (Tabela 8).

O pH (Figura 19) apresentou-se baixo (ácido) para a maioria dos valores encontrados na área, mesmo tendo sido feita a calagem há três anos atrás, quando da implantação do sistema. De acordo com Silva e Chaves (2001) o atributo químico do solo que sofre a menor variação nos sistemas de manejo é o pH. Neste estudo o coeficiente de variação encontrado para pH foi de 10%, a menor variação entre todos os atributos químicos. Ciotta et al (2002) também constataram valores mais baixos de pH em sistemas de semeadura direta, os quais têm sido atribuídos à acidificação provocada pela decomposição de material orgânico deixado na superfície do solo nesse sistema, com a provável liberação de ácidos orgânicos. A acidificação do solo tende a reduzir a atividade microbiana para decomposição dos materiais orgânicos, liberação de nitrogênio mineral e absorção de N, que por sua vez, limita o crescimento de plantas (SANTOS et al., 2003). Todavia, a limitação do crescimento de plantas, não foi verificada nesse sistema de produção estudado. A correlação do pH com a produção só foi verificada em relação ao tamanho da espiga (Tabela 8).

De acordo com Bayer e Mielniczuck (1997), o menor valor de pH nos sistemas que incluem leguminosas pode ser decorrente da fixação de N atmosférico pelas leguminosas, ocorrendo liberação de íons H^+ pelas raízes para manter o equilíbrio eletrostático da planta. Pode ser essa uma das razões dos baixos valores de pH nesse sistema de cultivo,

pela adição de várias leguminosas em aléias e onde o milho foi plantado em semeadura direta.

Em relação ao fósforo (Figura 20), verifica-se que seus valores são altos. Estes resultados concordam com Eltz, Peixoto e Jaster (1989) e Bayer e Mielniczuk, (1997), que observaram altas concentrações de P na camada mais superficial em sistemas de semeadura direta. De acordo com Sidiras e Pavan (1985), o acúmulo de P próximo à superfície do solo decorre das aplicações de fertilizantes fosfatados, da liberação de P durante a decomposição de resíduos vegetais e da menor fixação de P, em razão do menor contato desse elemento com os constituintes inorgânicos do solo, uma vez que não há incorporação de resíduos vegetais no plantio direto. De acordo com Falleiro et al. (2003), o P é um elemento pouco móvel, permanecendo no local onde foi depositado. A ausência de revolvimento e a manutenção dos resíduos na superfície do solo contribuem para o aumento dos teores do elemento na semeadura direta, principalmente na superfície. Outro fator que concorre para obtenção de altos teores é o suprimento via matéria orgânica, proporcionado com a liberação causada pela elevação do pH, além daquele adicionado pela adubação (THEODORO et al, 2003).

Neste trabalho, provavelmente os altos teores de P podem estar relacionados com as quantidades deste nutriente via adubação química e pela influência da adição de várias leguminosas (sombreiro, feijão de porco, feijão guandu) inseridas pelo sistema e conseqüentemente pelo suprimento de matéria orgânica. Esse indicador não se correlacionou com a produtividade do milho (Tabela 8), porém, sabe-se de sua essencialidade para esta cultura.

Os teores de potássio (Figura 21) variaram em sua maioria de médio a alto. Altos teores desse nutriente foram encontrados por Centurion, Dematê e Fernandes (1985) e Almeida et al (2005) e atribuíram esses valores à semeadura direta.

Em alguns casos pode-se encontrar diminuída a quantidade de potássio devido a sua permanência na palhada e, quando da amostragem, não é amostrada a palhada (FALLEIRO et al, 2003). Devido ao fato deste não ser constituinte estrutural de moléculas e tecidos (ROSOLEM et al, 2006). Ou, ainda, em razão da sua alta mobilidade (ALMEIDA et al, 2005), que o faz sofrer perdas por lixiviação. Nesse sistema, apesar dos

altos índices pluviométricos, esse fato não ocorreu, provavelmente devido à adição da adubação potássica, como também pelo incremento advindo do próprio sistema.

Os teores de Cálcio (Figura 22) variaram de médio a muito alto. Os teores de Magnésio (Figura 23) apresentaram-se com nível muito alto em toda área. Neste sistema os resultados assemelham-se aos obtidos por Falleiro et al (2003) que encontraram altos teores desses nutrientes em plantio direto e atribuíram-nos ao não revolvimento do solo e à reciclagem dos nutrientes pelas plantas no sistema. Centurion, Dematê e Fernandes (1985) atribuíram os altos teores de Ca e Mg ao aumento da CTC do solo, capaz de reter mais nutrientes. Neste estudo, a elevação desses teores pode ser proveniente da aplicação de calcário que ocorreu no ano de 2002. De acordo com Santos et al (2003), em seus experimentos, mesmo após oito anos, devido à aplicação de calcário, os teores de Ca e Mg permaneceram elevados.

Para melhor desenvolvimento de raízes e parte aérea das plantas de milho em solos ácidos, recomenda-se a relação Ca: Mg de 3:1 (SILVA, 1980). Nesse sistema de plantio direto do milho em aléias, o solo ainda é ácido e os teores desses nutrientes elevados, porém, em termos proporcionais a relação das médias Ca: Mg é de 1:1 (Tabela 6) e pode ter afetado a produtividade do milho por não atender a relação recomendada. Pode-se observar que houve correlação desses nutrientes com a produtividade do milho, sendo que o magnésio teve correlação negativa (Tabela 8).

A acidez potencial (Figura 24) apresentou 69% dos valores com nível médio Almeida et al (2005) encontraram teores mais elevados de H+Al em sistema de semeadura direta. Esses autores afirmaram que maiores teores de carbono orgânico encontrados contribuíram para aumentar as fontes de acidez potencial, reduzindo o pH e aumentando compostos orgânicos capazes de complexar o Al^{+3} e por isso encontraram altos níveis de produtividade no sistema. Neste estudo, não se pode afirmar essa condição, uma vez que não foram medidos os teores de Al^{+3} . Porém, pode-se observar apenas que houve correlação desse atributo com a produtividade do milho (Tabela 8).

A soma de bases (Figura 25) apresentou 80% dos seus valores com nível variando de alto a muito alto, refletindo o comportamento das bases (Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+}) no solo, provavelmente em resposta a esse manejo adotado (plantio direto em aléias). Theodoro et al (2003) encontraram altos teores de soma de bases com aplicação no solo de matéria

orgânica na forma de composto orgânico, esterco de galinha, húmus de minhoca e dejetos suínos.

A CTC a pH 7 (Figura 26) apresentou 70% dos seus valores com nível médio.. Ciotta et al (2002) verificou incremento significativo da CTC a pH 7 em plantio direto. Para Falleiro et al (2003), o aumento da CTC a pH 7 no plantio direto pode ser atribuído ao aumento da matéria orgânica, devido à formação de muitas cargas negativas na fração ácidos húmicos (BAYER; BERTOL, 1999). Enquanto que, Chaves et al (2004) afirmaram que a CTC é de grande importância no que diz respeito à fertilidade do solo, uma vez que indica a capacidade de retenção de cátions, os quais, em geral, irão tornar-se disponíveis às plantas. Neste estudo a CTC não apresentou correlação com a produtividade do milho, porém, essa relação pode ter ocorrido via matéria orgânica.

A saturação por bases (Figura 27) apresentou 98% dos valores com nível superior a 40% , caracterizando o caráter eutrófico ($V\% > 50$) no sistema estudado. A saturação por bases ($V\%$) reflete quantos por cento das partes potencias de troca de cátions do complexo coloidal do solo estão ocupados por bases, tais como Ca, Mg, K e às vezes Na, em comparação com aqueles ocupados por H+Al, e é utilizado para separar solos férteis ($V\% > 50$) de solos de menor fertilidade. Nesse sistema de plantio direto do milho com leguminosas em aléias a qualidade do solo pode ter sido refletida por elevados valores da produtividade do milho. Por esse critério, o solo em estudo pode ser considerado fértil e, portanto apresenta potencial para obtenção de melhores produtividades. Esse atributo apresentou correlação com a produtividade do milho (Tabela 8).

Tabela 7. Classificação dos indicadores químicos do solo com seus respectivos níveis.

Indicadores Químicos	Classificação e nível				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
M.O (g.dm ⁻³) ⁽¹⁾	< 0,7	0,71 - 2,0	2,1 - 4,0	4,01 - 7,0	> 7,0
pH (CaCl ₂) ⁽¹⁾	<4,5	4,5 - 5,4	5,5 - 6,0	6,1 - 7,0	
P (mg.dm ⁻³) ⁽¹⁾	< 6,6	6,7 - 12,0	12,1 - 20,0	20,1 - 30,0	> 30,0
K ⁺ (mmolc.dm ⁻³) ⁽¹⁾	0 - 0,3	0,4 - 1,0	1,1 - 1,8	1,81 - 3,0	> 3,0
Ca ²⁺ (mmolc.dm ⁻³) ⁽¹⁾	< 4,0	4,1 - 12,0	12,1 - 24	24,1 - 40,0	> 40,0
Mg ²⁺ (mmolc.dm ⁻³) ⁽¹⁾	< 1,5	1,6 - 4,5	4,6 - 9,0	9,1 - 15	> 15
H+Al (mmolc.dm ⁻³) ⁽¹⁾	< 10,0	10,1 - 25	25,1 - 50	50,1 - 90	> 90
SB (mmolc.dm ⁻³) ⁽¹⁾	< 6,0	6,1 - 18	18 - 36	36,1 - 60	> 60
CTC(pH 7) (mmolc.dm ⁻³) ⁽¹⁾	< 16	16,1 - 43	43,1 - 86	86,1 - 150	> 150
V % (mmolc.dm ⁻³) ⁽¹⁾	< 20	20,1 - 40	40,1 - 60	60,1 - 80	> 80

Fonte: ⁽¹⁾ Referências da Comissão de Fertilidade do Solo de Minas Gerais, Ribeiro et al. (1999).

Tabela 8. Correlação (coeficiente de Pearson r²) entre a produtividade do milho e indicadores químicos do solo.

Variáveis	PesoTotal dos grãos(Mg. ha ⁻¹)	Peso de 100 grãos(g)	Peso médio da espiga(g)
M.O.(g.dm ⁻³)	0,44*	-0,04	0,33*
pH (CaCl ₂)	-0,10	-0,12	0,44*
P (mg.dm ⁻³)	-0,00	0,04	-0,12
K ⁺ (mmolc.dm ⁻³)	0,25*	0,19	-0,02
Ca ²⁺ (mmolc.dm ⁻³)	-0,02	-0,12	0,24*
Mg ²⁺ (mmolc.dm ⁻³)	-0,40*	-0,18	-0,00
H+Al (mmolc.dm ⁻³)	0,34*	0,04	0,40*
SB (mmolc.dm ⁻³)	0,18	-0,17	0,33*
CTC(pH 7) (mmolc.dm ⁻³)	-0,18	-0,06	-0,19
V % (mmolc.dm ⁻³) ⁽¹⁾	0,38*	-0,14	0,39*

*coeficiente de Pearson (r²), significativo ao nível de 5%.

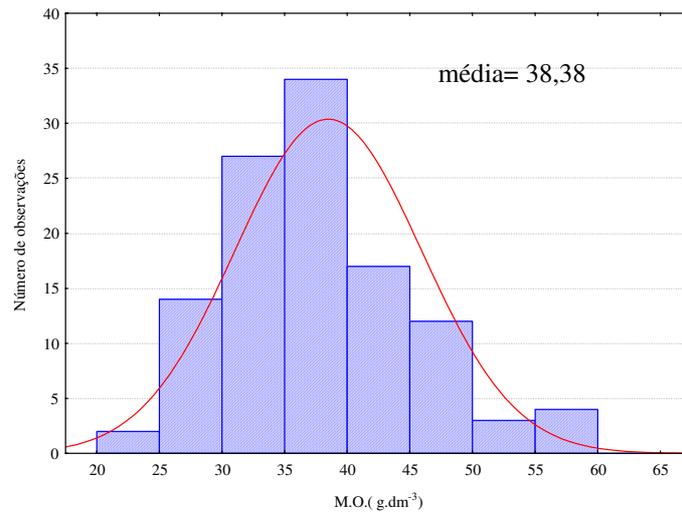


Figura 18. Histograma de frequência para matéria orgânica (g.dm⁻³).

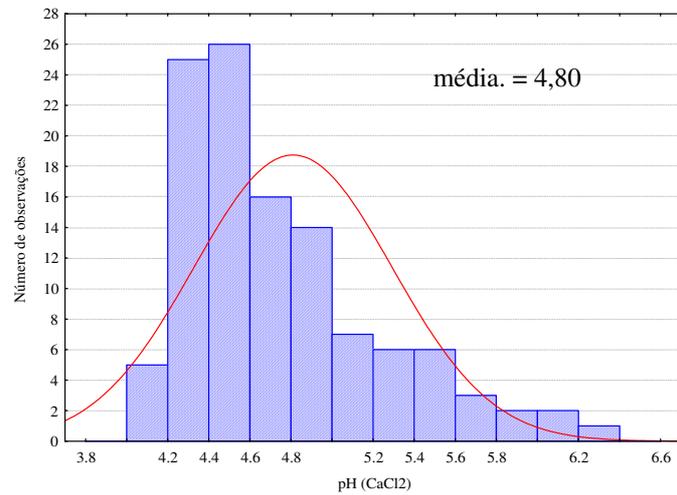


Figura 19. Histograma de frequência para pH (CaCl₂).

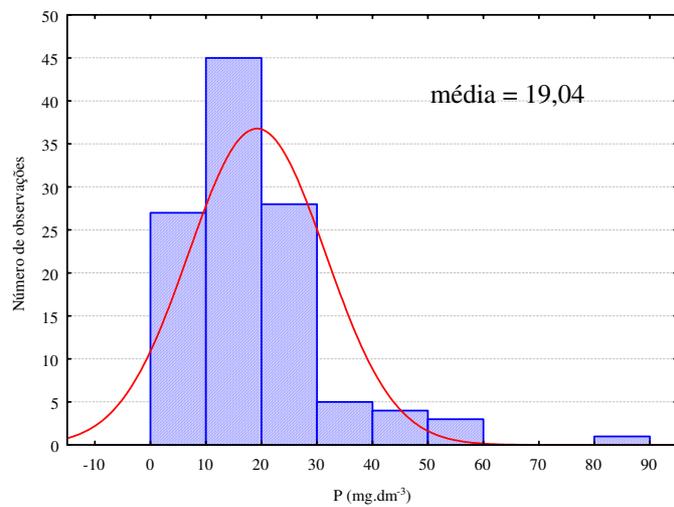


Figura 20. Histograma de frequência para Fósforo (mg.dm⁻³).

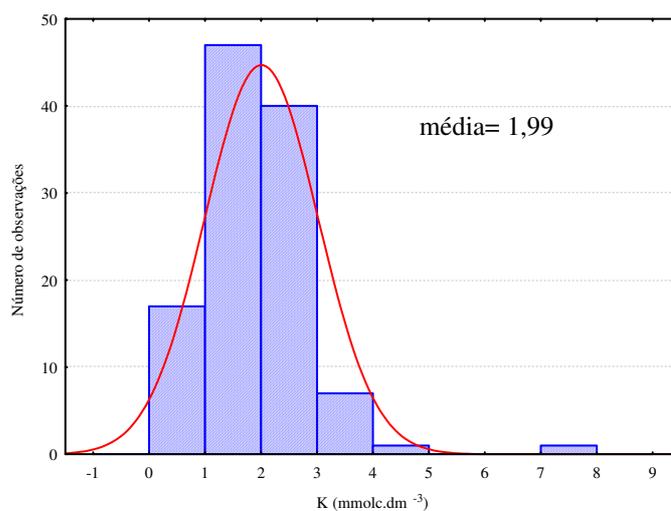


Figura 21. Histograma de frequência para Potássio (mmolc.dm⁻³).

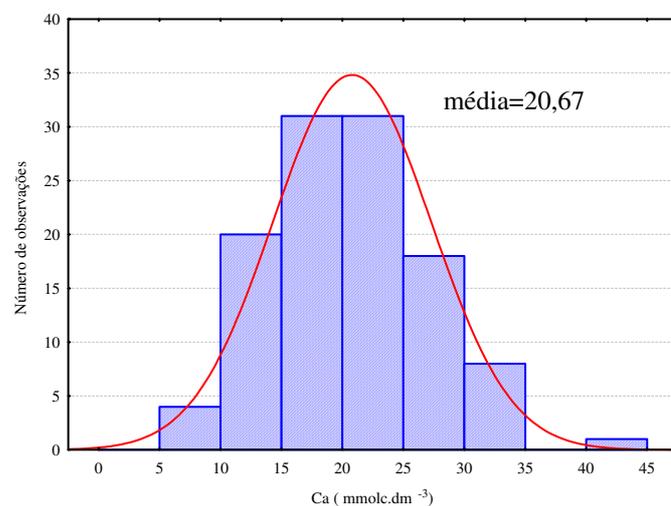


Figura 22. Histograma de frequência para Cálcio (mmolc.dm⁻³).

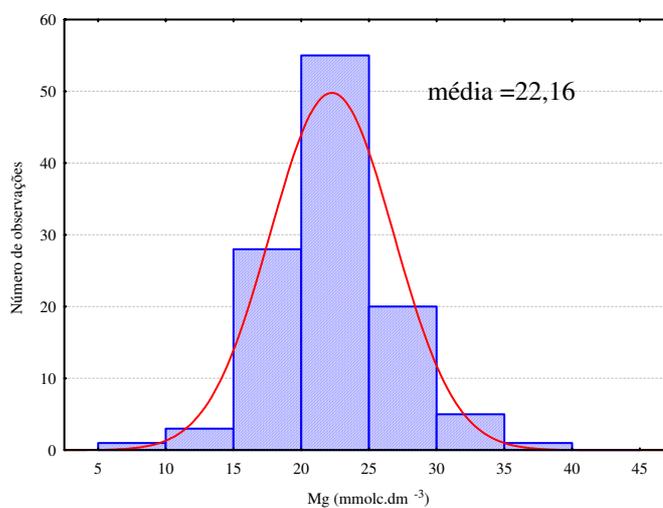


Figura 23. Histograma de frequência para Magnésio (mmolc.dm⁻³).

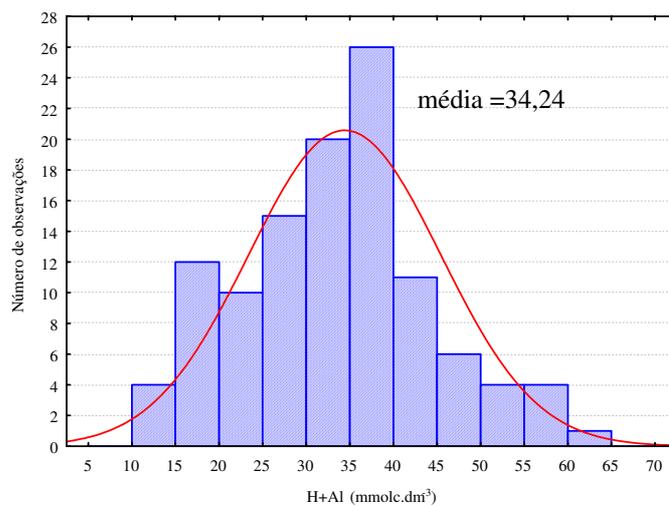


Figura 24. Histograma de frequência para Acidez potencial (mmolc. dm^{-3}).

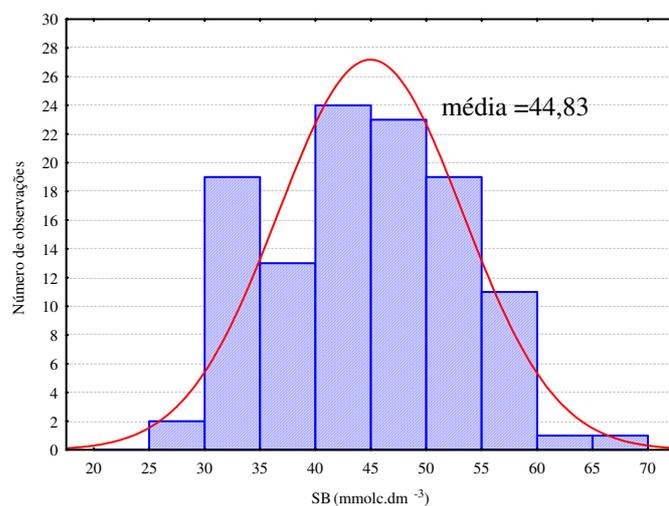


Figura 25. Histograma de frequência para Soma de bases (mmolc.dm^{-3}).

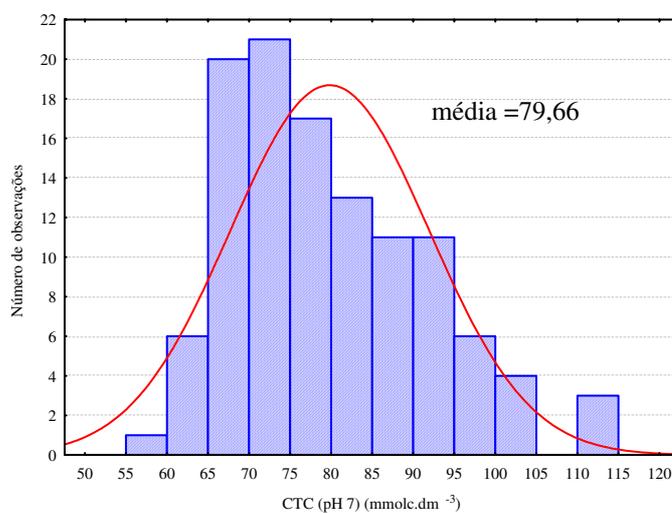


Figura 26. Histograma de frequência para CTC (pH 7) (mmolc.dm^{-3}).

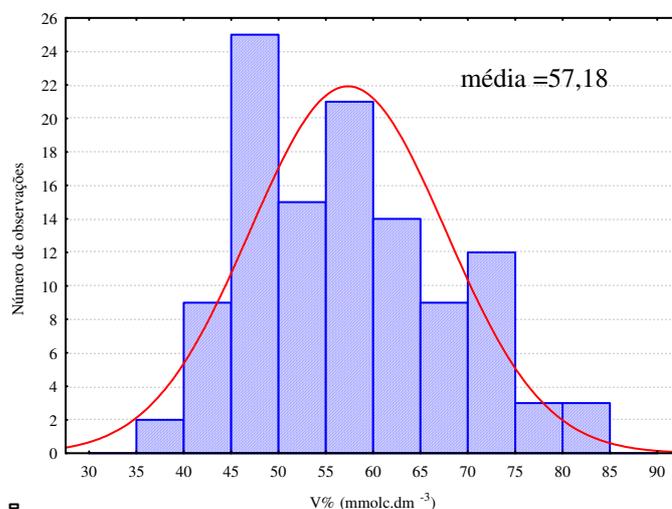


Figura 27. Histograma de frequência para V % (mmolc.dm⁻³).

4.2 Análise Geoestatística

4.2.1 Dependência espacial da produtividade do milho

A análise geoestatística mostrou que todas as variáveis (Tabela 9) apresentaram dependência espacial. Os semivariogramas foram definidos conforme melhor coeficiente de correlação entre os dados originais e os dados estimados pelo semivariograma escolhido, técnica chamada validação cruzada. De acordo com os semivariogramas escolhidos, foram estimados os parâmetros efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$), alcance (A_0) e a relação efeito pepita patamar (expressa em porcentagem).

Observando-se a tabela 9 e verificando-se o semivariograma para produtividade do milho (Figura 28), este se ajustou melhor ao modelo esférico com base no maior coeficiente de determinação (r^2). O alcance da dependência espacial foi de aproximadamente 102 m.

O alcance indica o limite da dependência espacial da variável, ou seja, determinações realizadas a distâncias maiores que o alcance tem distribuição espacial aleatória e, por isso, são independentes entre si, podendo ser aplicada a estatística clássica. Por outro lado, determinações realizadas em distâncias menores que o alcance são correlacionadas umas às outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores que os amostrados (SILVA et al, 2003). Dessa forma, todos os

vizinhos situados dentro de um círculo com esse raio (alcance) podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (VIEIRA e LOMBARDI, 1995).

Tabela 9. Estimativa dos parâmetros efeito pepita (C_0), Patamar ($C_0 + C$), alcance (A_0), relação efeito pepita/patamar (expressa em porcentagem) e coeficiente de determinação r^2 dos modelos ajustados aos Semivariogramas para peso total dos grãos, densidade, infiltração, matéria orgânica e saturação de bases.

Variável	C_0	$C_0 + C$	A_0	$C_0 / (C_0 + C) * 100$	r^2	Modelo
Peso total dos grãos (Mg.ha ⁻¹)	0,80418	1,65000	102	48	0,699	Esférico
Densidade (g.cm ⁻³)	0,0030	0,00484	*015	62	0,182	Gaussiano
Infiltração (mm.h ⁻¹)	380,0000	620,000	*110	61	0,779	Gaussiano
Matéria orgânica (g.dm ⁻³)	41,50000	68,27893	*218	61	0,645	Exponencial
Saturação de bases (mmolc. dm ⁻³)	34,10000	240,2000	240	14	0,965	Esférico

*Nos modelos exponencial e gaussiano, '1 o valor do alcance(A_0) considerado foi multiplicado por três vezes e raiz de três, respectivamente.

Na análise do grau de dependência espacial da variável em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al (1994). A relação $C_0 / (C_0 + C)$ foi de 0,48, ou seja 48%, mostrando grau de dependência moderado para a produtividade do milho. Portanto, com esse grau de dependência, o semivariograma explica a maior parte da variância desse dado (SILVA et al, 2003).

A figura 29 mostra o mapa de isolinhas, com os valores de produtividade agrupados em cinco classes em ordem crescente. Verifica-se uma tendência de valores altos de produtividade do milho no canto direito da área avaliada. Os valores mais baixos se encontram na parte inferior esquerda. O mapa de isolinhas é a forma de se visualizar áreas, que possuem variabilidade espacial comprovada (SILVA et al, 2003). Neste estudo pode-se observar que o coeficiente de variação para esta variável foi de 39,56%, considerado médio. Segundo Oliveira et al (1999) o conhecimento do alcance e as localizações das áreas onde estão concentrados os maiores e menores valores de determinada variável, são importantes para o manejo da fertilidade do solo, tanto na agricultura convencional como na agricultura de precisão.

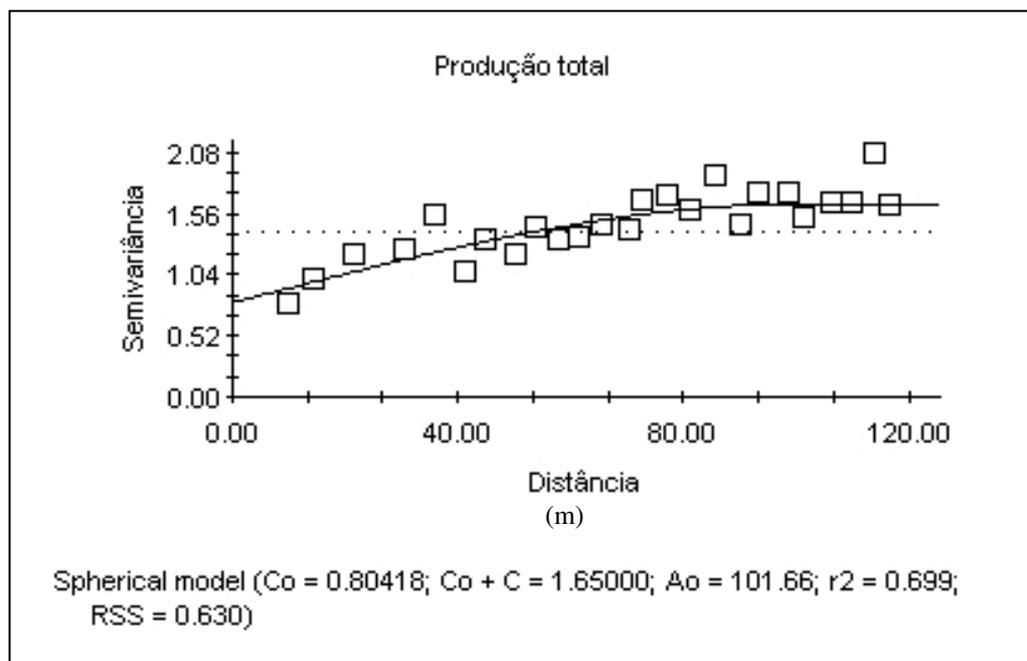


Figura 28. Semivariograma da produtividade do milho ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

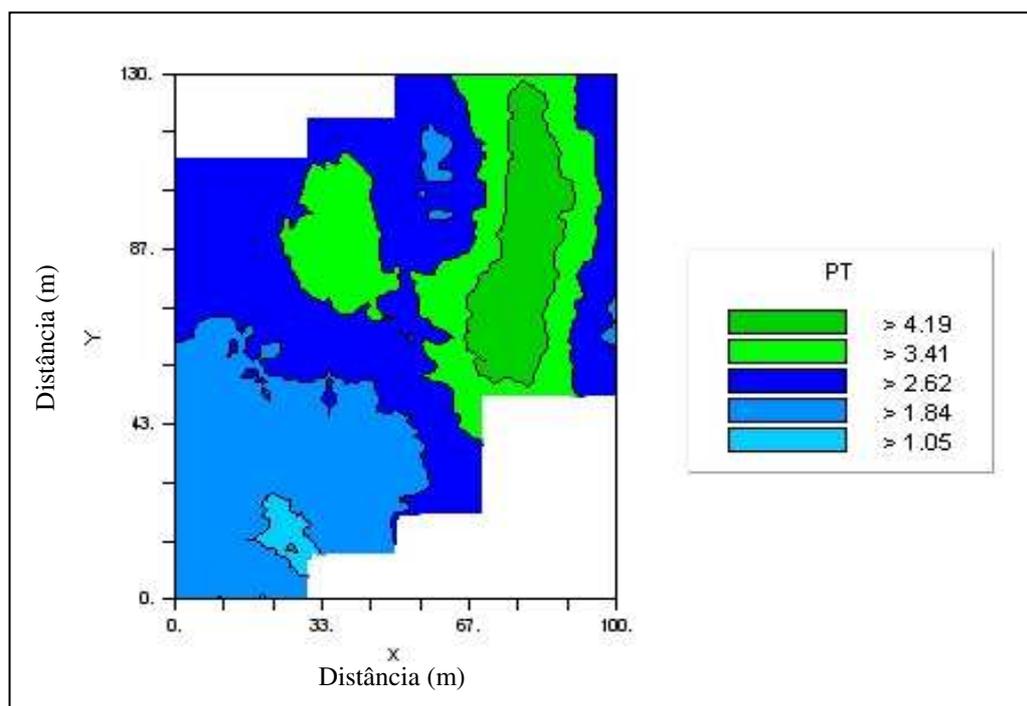


Figura 29. Mapa de isolinhas da produtividade do milho ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

4.2.2. Dependência espacial da Densidade do solo

Observando-se o semivariograma para a variável densidade do solo (Figura 30), verifica-se que este se ajustou melhor ao modelo gaussiano. O alcance da dependência espacial foi de 15 m. A relação $C_0/(C_0+C)$ de 62% tendeu para uma fraca dependência espacial de acordo com a classificação de Cambardella et al (1994). Indicando maior contribuição aleatória na variância, praticamente não há dependência espacial. Silva e Chaves (2001) justificam esse fato que com um ajuste menos restritivo, esta variável poderia ter sido adequada a um modelo do tipo “efeito pepita puro”, o qual garante a total aleatoriedade dos dados obtidos, ou seja, a média correspondente a esses dados poderia ser usada para descrever seu comportamento.

A variabilidade espacial dos atributos do solo pode ser afetada pelos seus fatores intrínsecos (fatores de formação, ou seja, material de origem, relevo, clima, organismo, tempo) e pelos fatores extrínsecos, normalmente compreendidos pelas práticas de manejo do solo (adubação, calagem, entre outras). Usualmente, uma forte dependência espacial dos atributos do solo é atribuída aos fatores intrínsecos, ao passo que os extrínsecos, podem-se atribuir à fraca dependência (CAMBARDELLA et al, 1994).

Nesse estudo, provavelmente, pode-se atribuir a fraca dependência ou descontinuidade na distribuição espacial, apresentada para densidade do solo, aos dois fatores citados. Os intrínsecos, devido à constituição textural desse solo, franco-siltoso, aliado ao clima, passando por ciclos de umedecimento e secagem e os extrínsecos devido ao próprio sistema de manejo, o plantio direto, contribuindo para o maior adensamento da área.

A figura 31 apresenta os mapas de isolinhas de densidade do solo e produtividade do milho. No mapa de densidade do solo, percebe-se uma distribuição mais uniforme dos valores, ou seja, valores altos e baixos são encontrados em toda área. Provavelmente não há tendência. Sendo condizente esta uniformidade, com o baixo valor de coeficiente de variação (4,96%) encontrado para esta variável. Observa-se também, que apesar de não ter havido correlação entre a produtividade e a densidade do solo (Tabela 4), no mapa de produtividade, as tendências para as menores produtividades apresentam relação com os maiores valores de densidade e vice-versa.

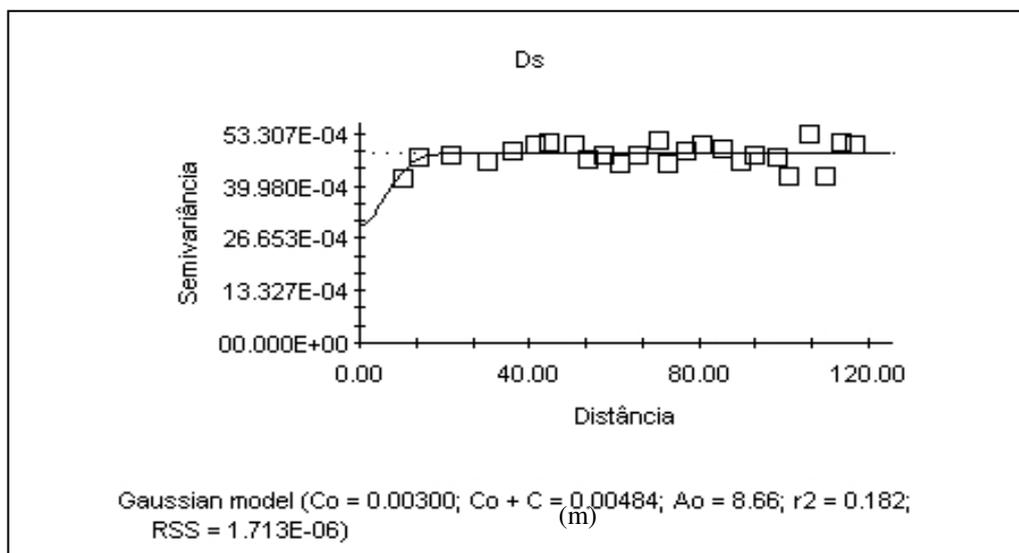


Figura 30. Semivariograma da densidade do solo (g.cm^{-3})

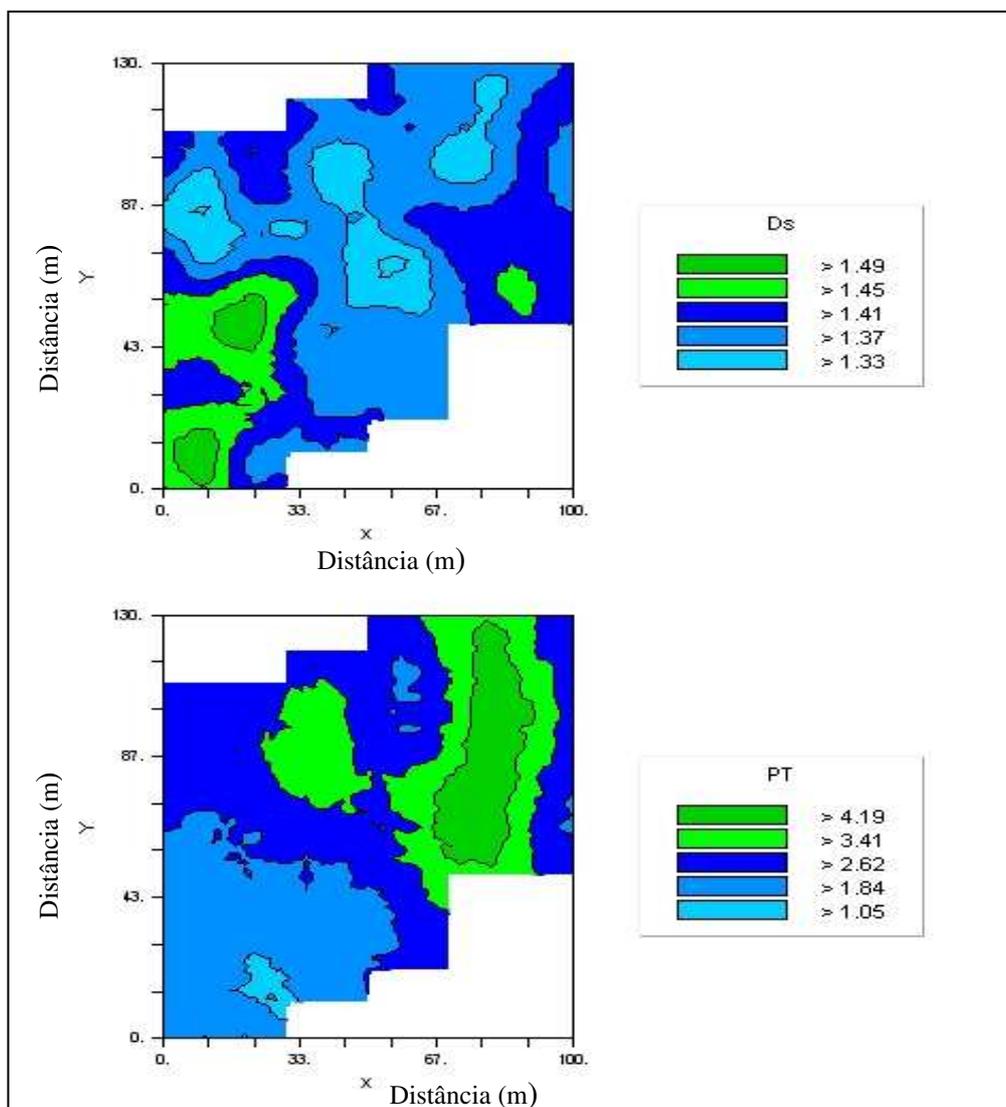


Figura 31. Mapas de isolinhas da densidade do solo (g.cm^{-3}) e produtividade do milho (Mg.ha^{-1}).

4.2.3. Dependência espacial da infiltração superficial da água no solo

Observando-se o semivariograma para a variável infiltração superficial do solo (Figura 32), verifica-se que este se ajustou melhor ao modelo gaussiano. O alcance da dependência espacial foi de 110 m. A relação $C_0/(C_0+C)$ de 61%, tendeu para uma fraca dependência espacial, de acordo com a classificação de Cambardella (1994). Ao contrário da densidade, esta variável apresentou maior coeficiente de variação (58,67%) verificando-se superestimativa de alguns valores, bem como subestimativa de outros.

Nos mapas de isolinhas (Figura 33), observa-se a coerência que há das áreas com maior densidade (Figura 31) e a menor infiltração e vice-versa, assim, também com a produtividade do milho onde as maiores produtividades relacionam-se com maior infiltração e vice-versa. De acordo com Silva et al. (2003), os valores de alcance muito próximos, como é o caso da produtividade (102 m) e infiltração (110 m), indicam que uma variável pode estar associada a outra. Isto é comprovado pela correlação que há entre essas duas variáveis pelo coeficiente de Pearson (Tabela 4).

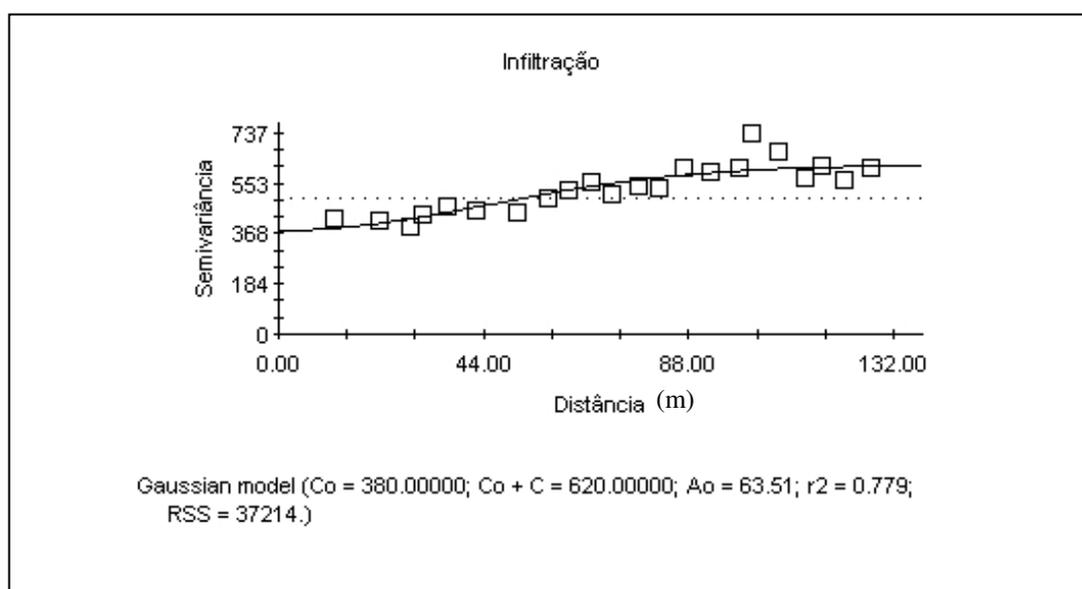


Figura 32. Semivariograma infiltração superficial da água no solo ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$).

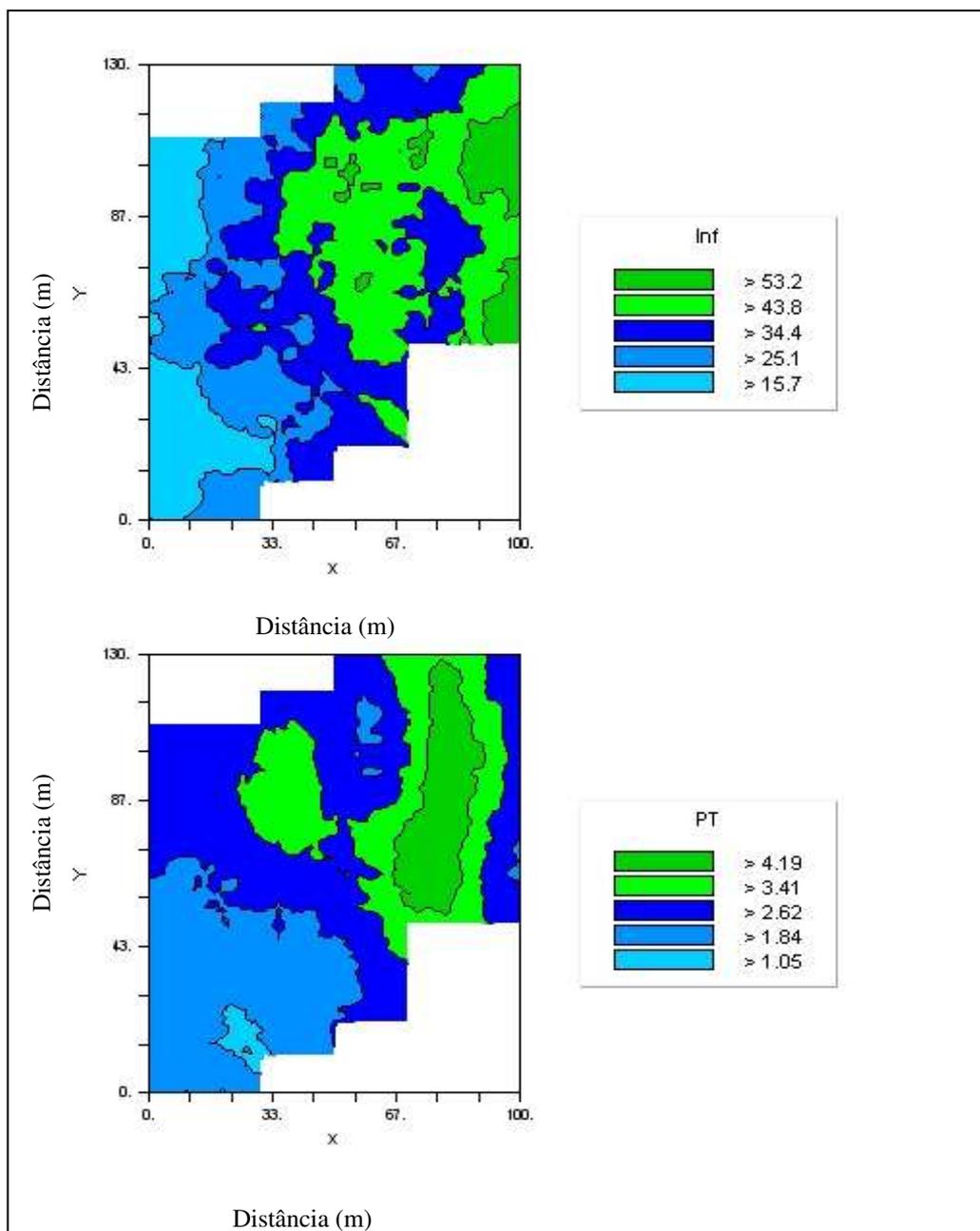


Figura 33. Mapas de isolinhas da infiltração superficial da água no solo (mm.h^{-1}) e produtividade do milho (Mg.ha^{-1}).

4.2.4. Dependência espacial da Matéria Orgânica

Observando-se o semivariograma para a variável matéria orgânica do solo (Figura 34), verifica-se que este se ajustou melhor ao modelo exponencial. O alcance da

dependência espacial foi de 218 m. A relação $Co/(Co+C)$ foi de 61% tendendo para uma fraca dependência espacial pela classificação de Cambardella (1994). Este resultado diverge de Silva e Chaves (2001) onde a M.O. apresentou forte dependência espacial atribuída às características intrínsecas do solo naquele estudo.

Nos mapas de isolinhas (Figura 35) a M.O. não apresenta muita variabilidade, o que pode ser confirmado pelo coeficiente de variação (19,33%) dessa variável. Este resultado diverge de Souza, Cogo e Vieira (1998) que encontraram maior variabilidade para matéria orgânica e atribuíram à manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo sob plantio direto, integrando esta variável a um grupo intermediário em termos de variabilidade. Entretanto, neste estudo, ocorreu menor variabilidade, que pode significar mais uniformidade na área, indicando que o manejo, plantio direto do milho com adição de leguminosas em aléias, está atuando na área como um todo. Podem ser observadas tendências relacionadas a maiores e menores produtividades do milho com esta variável e isso é confirmado pela correlação (44%) que há entre estes atributos (Tabela 8).

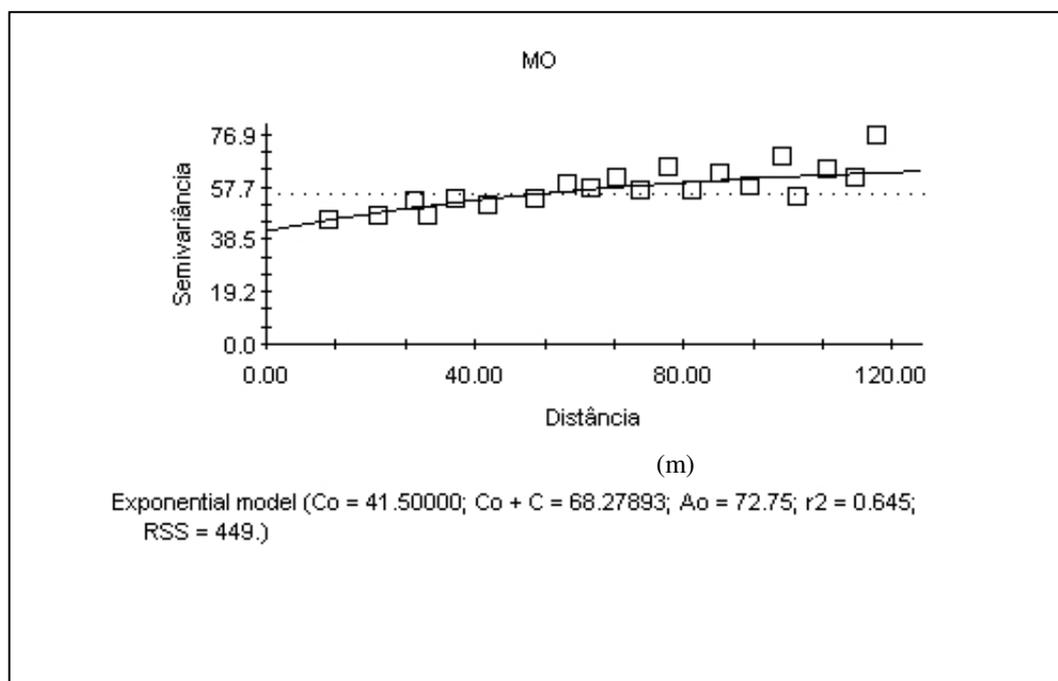


Figura 34. Semivariograma matéria orgânica do solo ($g.dm^{-3}$).

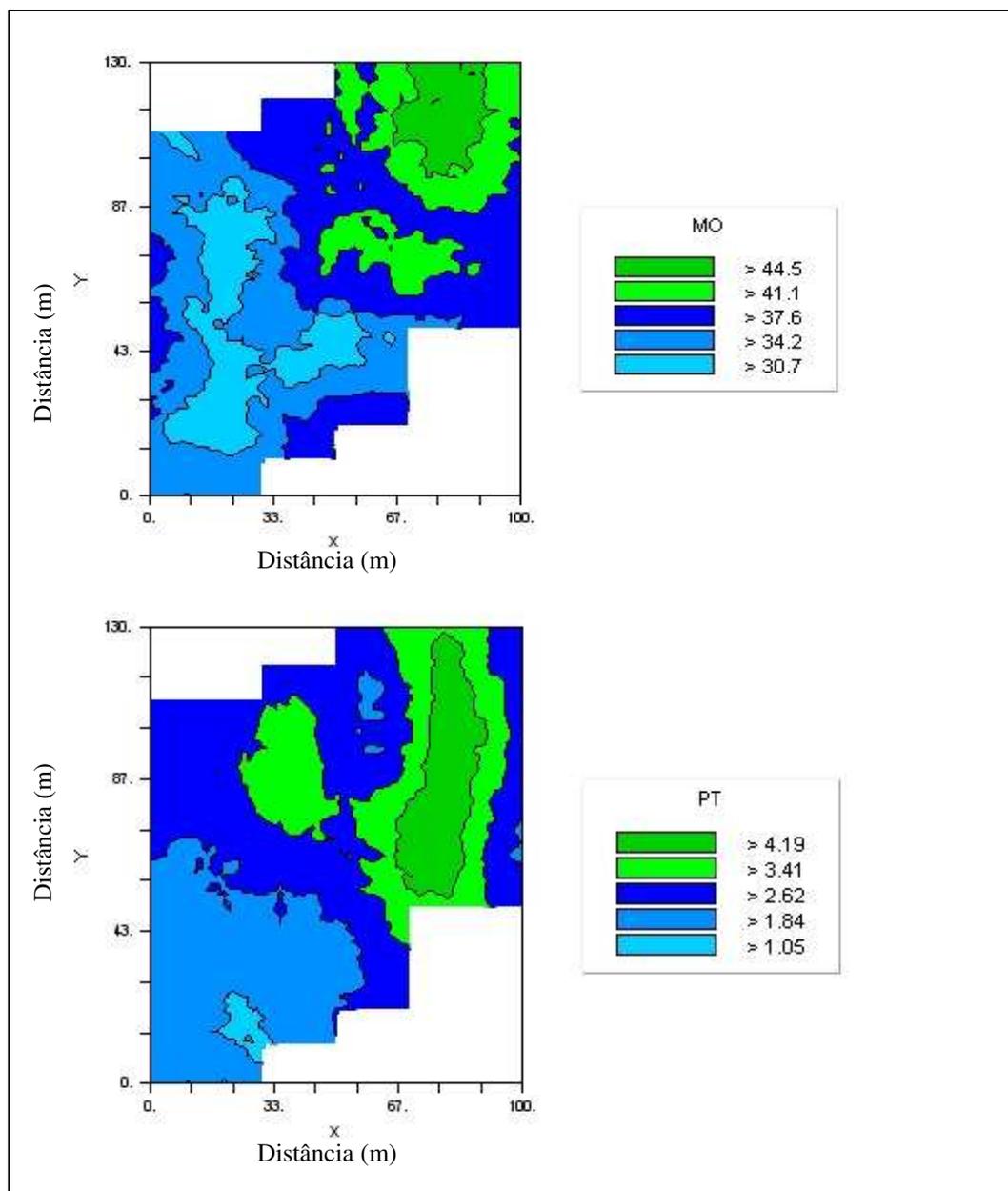


Figura 35. Mapa de isolinhas da matéria orgânica do solo (g.dm^{-3}) e produtividade do milho (Mg.ha^{-1}).

4.2.5. Dependência espacial da Saturação por Bases (V%)

Observando-se o semivariograma para a variável saturação por bases (Figura 36), verifica-se que este se ajustou melhor ao modelo esférico. No entanto, poder-se-ia dizer

que o modelo é linear sem patamar, pela tendência crescente observada para esta variável. Pois, neste caso, as semivariâncias crescem sem limites, para todos os valores de h , indicando também que a máxima distância h entre as amostras não foi capaz de exibir toda a variância dos dados. Provavelmente existe tendência dos dados para determinada direção, porém o que ocorreu é que se verificou a tendência e removeu-se para o melhor ajuste que é o modelo apresentado (esférico). Dessa forma, o alcance da dependência espacial foi de 240 m. A relação $C_0/(C_0 + C)$ foi de 14% tendendo para uma forte dependência espacial pela classificação de Cambardella (1994). Segundo Souza et al (2004), o modelo que se ajustou com maior frequência aos dados químicos foi o esférico, semelhante ao ajustado para esta variável.

Pode-se observar para esta variável o maior alcance (240 m), assim como a sua proximidade com a M.O. (218 m), caracterizando maior continuidade dessas variáveis na área em estudo e conseqüentemente maior fertilidade ou qualidade deste solo.

As observações de tendências nos mapas de isolinhas (Figura 37) também são válidas para maiores e menores produtividade com maiores e menores V%, respectivamente. A correlação que há entre V% e produtividade do milho é de 38% (Tabela 8)

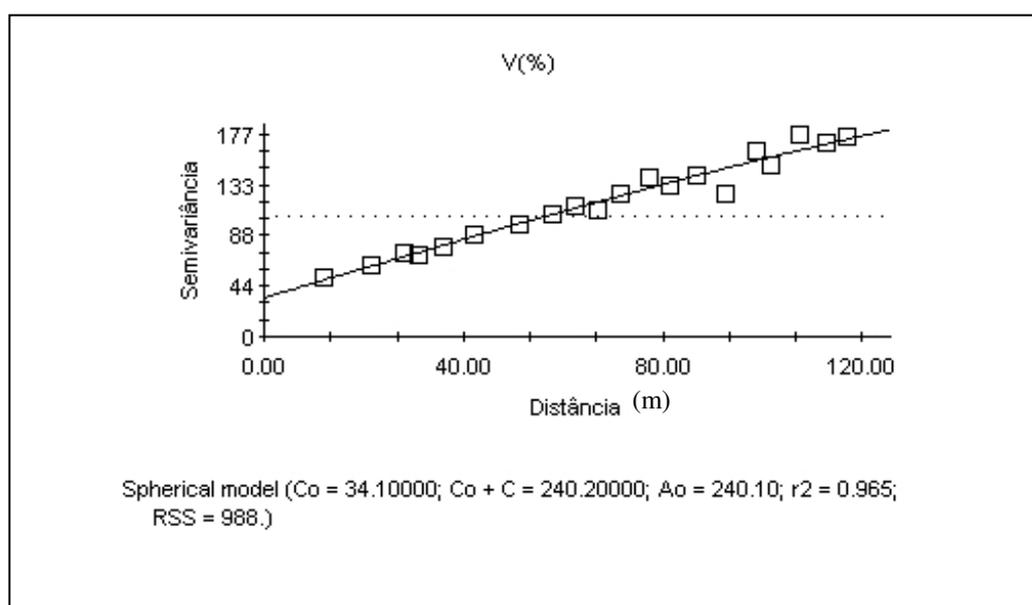


Figura 36. Semivariograma da saturação por bases do solo (mmolc. dm^{-3}).

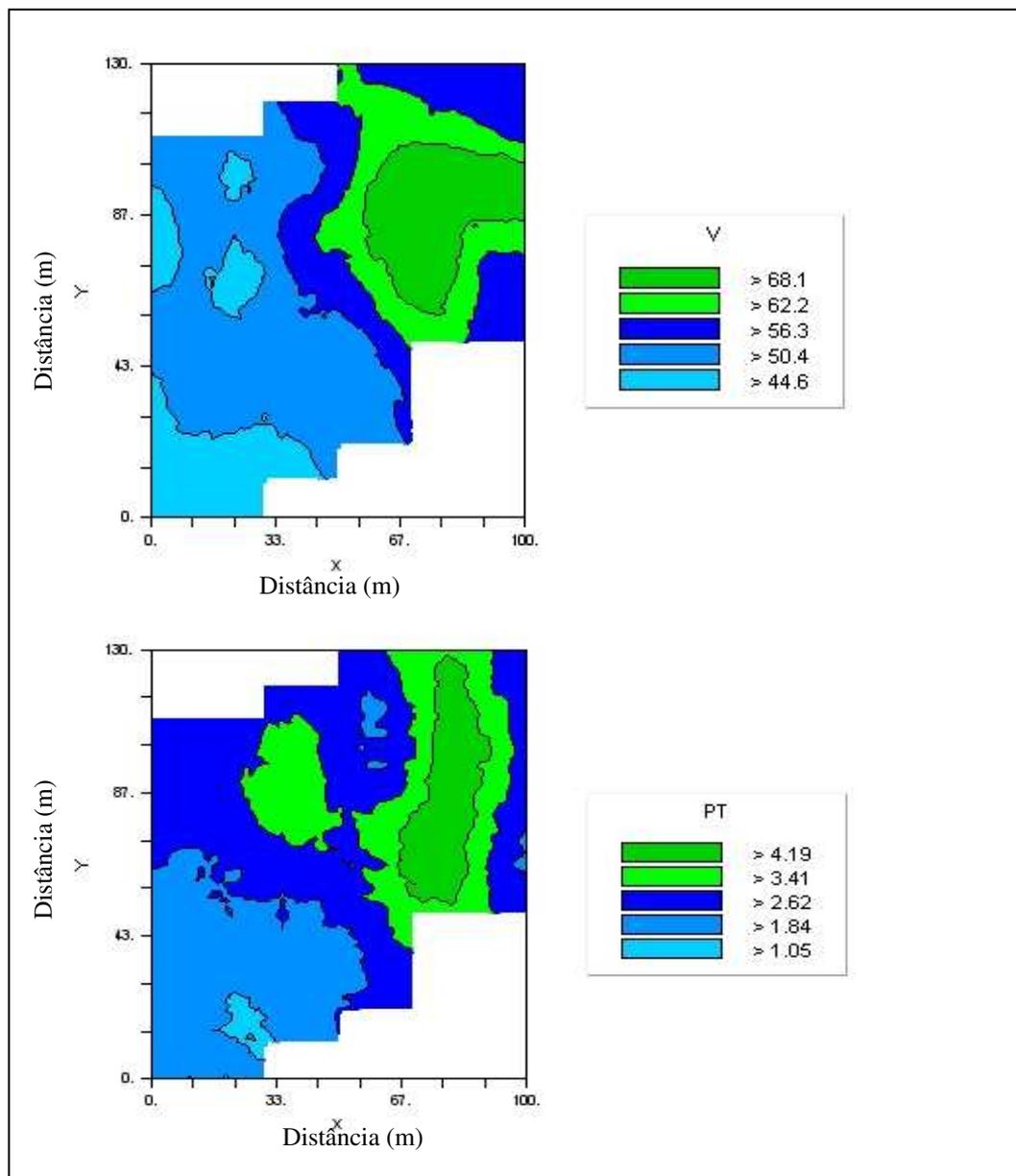


Figura 37. Mapa de isolinhas da saturação por bases do solo (mmolc. dm^{-3}) e produtividade do milho (Mg.ha^{-1}).

5 CONCLUSÕES

- Em geral, os indicadores químicos foram mais significativos na relação com a produtividade do milho do que os físicos.
- E, dentre os indicadores físicos do solo, apesar das condições adversas de clima e solo da área estudada, a infiltração superficial foi o atributo mais significativo, na relação com a produtividade do milho. E a densidade do solo, apesar de ser considerada alta, acima de $1,4 \text{ g.cm}^{-3}$, foi pouco significativa na relação com a produtividade do milho.
- A geoestatística mostrou-se como uma ferramenta útil, mais do que a estatística descritiva, para visualizar o comportamento dos indicadores e facilitar a identificação de mudanças no manejo.
- O cultivo em aléias pode ter reduzido as restrições apresentadas pelo Plintossolo estudado e, portanto, permitido melhores condições estruturais do solo, melhor fertilidade e maiores rendimentos do milho. Porém, para tal comprovação, faz-se necessária a comparação de sistemas de manejo. Neste estudo, os resultados apresentados referiram-se a avaliação de um único sistema.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J.M. **Níveis de preparo e de cobertura entre aléias de guandu com milho, como alternativas de melhoramento da qualidade física e do uso intensivo de um Argissolo da Formação Itapecuru-MA.** 66f.Dissertação (Mestrado em Agroecologia) Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 1999.

ALBUQUERQUE, J.A. et al. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: Efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **R.bras. Ci. Solo**, Campinas, v.19, p. 115-119, 1995.

ALMEIDA, J.A. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **R.bras.Ci.Solo**, Campinas, v.29, p.437-445, 2005.

ALTIERI, M.. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável.** 3ed. Porto Alegre:UFRGS.110p.2001.

ALVES, M.C. ; CABEDA, M.S.V. Infiltração em um Podzólico Vermelho escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada. **Soil and Tillage Research.** Amsterdam, v.23, p. 753-761, 1999.

ANDREOTI, M. et al.Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agrícola.** Piracicaba, v. 58, n.1, p.145-150, 2001.

ARAÚJO FILHO, J.C. de. ; RIBEIRO, M.R.. Infiltração da água em Cambissolos do Baixo Irecê(BA). **R.bras.Ci.Solo**, Campinas, v. 20, p.363-370, 1996.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **R.bras. Ci. Solo**, Campinas v..28, n.2, p. 1-16, março/abril, 2004.

ARSHAD, M.A. et al. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, J.W., JONES, A.J. (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: **Soil Science Society of America**, p. 123-141, 1996.

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 88, p.153-160. 2002.

ARCHER, J. R.; SMITH, P.D. The relation between bulk density, available water capacity of soils. **J. Soil. Science.**, vol.4, p. 475 -480, 1972.

ARGENTON, J.et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **R.bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 29, p.425-435, 2005.

ASSIS, R.L.;LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa.**R.bras.Ci.Solo**, Campinas, v.29, p.515-522, 2005.

BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. 172f. Dissertação (Mestrado),Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre , 1992.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **R.bras.Ci.Solo**, Campinas, v.23, p. 687-694,1999.

____.; MIELNICZUK, J.. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **R.bras.Ci.Solo**, Campinas, v. 21, p.105-112, 1997.

BERTOLANI, F.C. ; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. **R.bras. Ci. Solo**, Campinas, v.25, p.987-995, 2001.

BEUTLER, A.N. et al.Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados.**R.bras. Ci. Solo**. v.25, p.167-177, 2001.

BISSANI, C.A.; MEURER, E.G.; BOHEN, H. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E.J. (Org.). **Fundamentos de Química do Solo**. Porto Alegre: Gênese. p.163-183,2006.

BRANDÃO, V.S.; PRUSCK, F.F.; SILVA, D.D. Infiltração da água no solo. 2. ed Viçosa: UFV, 2003.

CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, v.48, p.1240 -1248, 1994.

CANELLAS, L.P.et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **R.bras. C.Solo**, Campinas, v.27, p. 935-944,2003.

CARNEIRO, C.E.A. et al. Alterações químicas no solo indicadas pela aplicação superficial de palha de cana-de-açúcar, calcário. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v.25, n.4, p.265-272, 2004.

CENTURION, J.F.; DEMATÊ, J.L.I.; FERNANDEZ, F.M.. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja **.R.bras.Ci.Solo**, Campinas, v.9, p.267-270, 1985.

CHAVES, L.H.G. et al. Propriedades químicas do solo aluvial da ilha de Assunção – Cobrobó (Pernambuco). **R.bras.Ci.Solo**, Campinas, v. 28, p.431-437, 2004.

CICHOTA, R.; LIER, Q.J. van; ROJAS, C.A.L.. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho. **R.bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 27, p.789-798, 2003.

CIOTTA, M.N. et al. Acidificação de um latossolo sob plantio direto. **R.bras. Ci. Solo**. v.26, p.1055-1064, 2002.

COOPER, P.J.M. et al. Agroforestry and the mitigation of land degradation in the humid and sub-humid tropics of Africa. **Experimental Agriculture**. Cambridge, v.21, p. 235-290, 1996.

COSTA, F.S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **R.bras. Ci. Solo**, Campinas v. 27, p.527-535, 2003.

COSTA NETO, P.L. Estatística. 15 ed. São Paulo: Edgard Blucher. 468 p. 1997.

COUTO, E.G.; KLAMT, E.; STEIN, A. Estimativa do teor de argila e do potássio trocável em solos esparsamente amostrados no sul do estado do Mato Grosso. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 24, p.129-139, 2000.

CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. Ministério de Minas e Energia/Serviço Geológico do Brasil. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha SA.23-Z-C. Brasília 1995. Organizado por Olinto Gabriel Lovato e outros.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam v.11, p.199-238, 1988.

DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**,n.120, p.201-214, 2004.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno Álico. **R.bras.Ci.Solo**, Campinas, v.13, p.259-267, 1989.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 412 p., 1999.

FALLEIRO, R.M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **R.bras.Ci.Solo**, Campinas, v.27, p. 1097-1104, 2003.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMIZSA, E. Química de suelos con énfasis em suelos de América Latina. 2. ed., San José, Costa Rica. IICA, 1987.

FERNANDES, B. et al. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros em dois solos. **R.bras. Ci. Solo**, Campinas, v.7, p.329-333, 1983.

FERNÁNDEZ, B.; WILKINSON, G.E. Effect of crop cultures on the infiltration of water into chestnut soil. **Soil Sci.Soc.Am.Proc.**, v. 29, p.748-752, 1965.

FERRAZ JR., A.S.L. O cultivo em aléias como alternativa para produção de alimentos na agricultura familiar do trópico úmido. In: MOURA, E.G.(org.) **Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil: atributos, alternativas; uso na produção familiar**. São Luís: UEMA, 2004.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. 1998.. Geostatistics for the environmental sciences (version 5.1 for windows). In: [http:// www.famat.ufu.br/ednaldo/ednaldo.htm](http://www.famat.ufu.br/ednaldo/ednaldo.htm).

GANDAH, M. et al. Dynamics of spatial variability of millet growth and yields at three sites in Niger, west África and implications for precision agriculture research. **Agricultural Systems**. Oxon, v.63, n.2, p.123-140, 2000.

HERNANDEZ, R.J.M. ; SILVEIRA, R.L. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.55, n.1, p. 1-11, 1998.

IAC. **Boletim Técnico**.n.48. Campinas.São Paulo.1983.

IBGE. **Pesquisa Agropecuária Municipal**.2005.

IEASE. Instituto de Estudos e Análises Socioeconômicas do Maranhão. GEPLAN. Gerência de Estado de Planejamento, Orçamento e Gestão. **Maranhão em Dados**. p.99, 2003.

ISLAM, K.R. ; WEIL, R.R.. Soil quality properties in mid-Atlantic soil as influenced by management. **Journal of Soil and Water Conservation**. v. 55 , p.69, 2000.

KANG, B.T. Alley cropping – soil productivity and nutrient recycling. **Forest Ecology and Management**, v. 91, p.75-82, 1997.

KANG, B.T.; REYNOLDS, L.; ATTA-KRAH, A.N. Alley farming. **Advances in Agronomy**, New York, v.43,p. 315-359, 1990.

KANG, B.T. ; WILSON, G.F.. The development of alley cropping as a promising technology, in: *Agroforestry: A Decade of Development* (Eds. STEPPLER, H.A.; NAIR, P.K.R.) ICRA, p.227-243, 1997.

KARLEN, D.L.et al. Soil Quality: A concept, Definition and Framework for Evaluation. **Soil Science Society of America Journal**. v. 61, p.4-10,1997.

KARLEN, D.L.et al. Crop residue effects on soil quality following 10- years of no- till corn. **Soil and Tillage Research**. v. 31, n.2/3, p.149-167, 1994.

KOOREVAAR, P.; MENELIK, G.; DIRKSEN, C. Elements of soil physics. Elsevier, Amsterdam, 1983.

KUTÍLEK, M. Soil hydraulic properties as related to soil structure. **Soil and Tillage Research**. v.79, p. 175-184, 2004.

KLUTHCOUSKI, J. et al. Manejo do solo e rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia agricola**. Piracicaba, v.27, n.1, p. 1-15, 2000.

LAL, R. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperature environments. **Advances in Agronomy**, v.12, p.85-197, 1989.

LEITE, A.A. **Cultivo de milho em aléias de leguminosas como alternativa à agricultura de corte e queima**. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Estadual do Maranhão, 2001.

LETEY, J.. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v.1, p.277-291, 1985.

LIPIEC, J. et al. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods.. **Soil and Tillage Research**. Article in press. 2005.

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solo versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004, 70f. Tese (Doutorado em Agronomia). Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

MAFRA, A.L. et al. Produção de fitomassa e atributos químicos do solo sob cultivo em aléias e sob vegetação nativa de cerrado. **R.bras.Ci.Solo**, Campinas, v.22, p.43-48, 1998.

MASCARENHAS, H.A.A. et al. Calcário e Potássio para cultura da soja. **Scientia Agrícola**, v.57, n.3, p.445-449, 2000.

MEDINA, B.F; LEITE, J.A.. Influência de três sistemas de manejo e duas coberturas vegetais na infiltração de água em um Latossolo Amarelo em Manaus –AM.**Pesq. agropec.bras**, Brasília, v.20, n. 11,p. 1323-1331,1985.

MOURA, E.G. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. In: MOURA, E.G. (Org.). **Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**: atributos; alternativas; uso na produção.São Luís: UEMA, p.15-51, 2004.

MOURA, E.G.; VIEIRA, S.R.; CARVALHO, A.M.. Avaliação da capacidade de aeração e de água disponível dos solos de duas transecções na Baixada Ocidental Maranhense. **R.bras. Ci. Solo**, Campinas, v.16,p.7-18,1992.

MULONGOY,K. ; VAN DER MEERSCH, H.K. Nitrogen contribution by leucena(*Leucaen leucocephala*) prunings to maize in an alley cropping system. **Biology Fertility and Soils**, Berlin, n.6, 282p, 1988.

MUNAWAR, A. et al. Tillage and cover crop management for soil water conservation. **Agronomy journal**, Madison,v. 82,p. 773-777, 1990.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **R.Bras.Ci. Solo**, Campinas, v.7, p.95-102, 1983.

OLSON, G.L. et al. Quantifying soil condition and productivity in Nebraska. In:DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, **Soil Science Society of America**, 1996, p. 357-369 (SSSA Special Publication, 49).

OLIVEIRA, J.J. et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino sódico. *R.bras.Ci.Solo*, Campinas, v. 23,p. 783-789, 1999.

PARR, J.F.et al. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*. v.7, n.1-2, p.5-11, 1992.

POTT, C.A.; MARIA, I.C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. *R.bras. Ci. Solo*. v. 27, 19-27. 2003.

RADFORD, B.J. et al. Crop response to applied soil compaction and to compaction repair treatment. *Soil and Tillage Research*., v.26, n.3/4, p.155-170, 2001.

RIBON, A.A. et al. Propriedades físicas de um Latossolo e Argissolo em função de práticas de manejo aplicadas na entrelinha da cultura da seringueira(*Hevea brasiliensis*). *R.bras. Ci. Solo*, Campinas, v.26, p.781-787, 2002.

RIBEIRO et al., COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS-CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.. 5ª. Aproximação. Viçosa. 359p. 1999.

ROSOLEM, C.A. et al. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. *Pesq.agrop.bras*, Brasília, v.41, n.6, p.1033-1040, 2006.

SANTOS, H.P. et al. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. *R.bras.C.Solo*, Campinas, v. 57, p.545-552, 2003.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K. & FLORIN, J.E.. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **R.bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 29, p.407-414, 2005.

SCHOENHOLTZ, S.H.; VAN MIEGROET, H.& BURGER, J.A.. A Review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Wageningen, v.138, p.335-356, 2000.

SIDIRAS, N. ; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **R.bras.Ci.Solo**, Campinas, vol.9, p.249-254, 1985.

SINGER, M. & EWING, S. Soil quality In: SUMNER, M.E. **Handbook of soil Science**. Boca Raton: CRC Press. 271-298. 2000.

SILVA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas. v.54, p.405-412, 1995.

SILVA, P.C.M. ; CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.5, n.3, p.431-436, 2001.

SILVA, V.R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **R.bras. Ci. Solo**. v. 27, p.1013-1020, 2003.

SILVA, J.E. Balanço de cálcio e magnésio e desenvolvimento do milho em solos sob cerrado. **Pesq.Agropec.bras**, Campinas, v.15, p.329-333, 1980.

SHANON, D.A.; VOGEL, W.O.. The effects of alley cropping and fertilizer application on continuously cropped maize. **Tropical Agriculture**, Trindade, n.71, v.3,p.163-169,1994.

SHUKLA, M.K.; LAL, R. ; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil and Tillage Research**,v. 87,p.194-204,2006.

SOIL SURVEY STAFF. Soil survey manual. Washington, USDA, (Handbook, 18), 437p. 1993,

SOUZA, L.da S.; COGO, N.P. ; VIEIRA, S.R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. **R.bras.Ci.Solo**, Campinas, v.22, p.77-86, 1998.

SOUZA, Z.; LEITE, J.A.; BEUTLER, A.N. Comportamento de atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob agroecossistemas do Amazonas.**Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. v.24, n. 3, 654-662. 2004.

_____ et al. Variabilidade espacial de pH, Ca, Mg e V% do solo sob diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar.**Ciência Rural**,Santa Maria,v.34, n.6, p.1763-1771, 2004.

STONE, L.F. ; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **R.bras. Ci.Solo**. v.25, 395-401. 2001.

SZOTT, L.T.; PALM, C.A. ; SANCHEZ, P.A. Agroforestry in acid soils of humid tropics. **Advances in Agronomy**, Washington, 45: 275-301, 1991.

THEODORO, V.C.A. et al. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **R.bras. Ci. Solo**, Campinas, v.27, p.1039-1047, 2003.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **R.bras. Ci. Solo**. v. 22, 573-581. 1998.

TOPP, G.C. et al. Physical attributes of soil quality. In: GREGORICH, E.G. & CARTER, M.R. Soil quality for crop production and ecosystem health. Amsterdam: **Elsevier Science**, Amsterdam, p.21-58. 1997.

VIEIRA, S.R. ; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas. v.54, p. 405-412, 1995.

VIEIRA, M.J. ; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesq. agropec.bras**, Brasília, v.19, n.7, p.873-882. 1984.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial. In: Tópicos em Ciência do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.1, 352p, 2000.

VIEIRA, S.R.. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. **O agrônomo**, v. 47/50, p.32-33, 1988.

VOOHRHEES, W.B. ; LINDSTROM, M.J. Long term effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. **Soil Sci.Soc.Am.J.**, Madison, 48: 152-156, 1984.

ANEXOS

PERFIL DE SOLO DO ASSENTAMENTO TICO-TICO –MIRANDA –MA

DATA: 13/12/2004

CLASSIFICAÇÃO – PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico, Epieutrófico, típico, A moderado, textura média, fase floresta tropical subperenifólia dicótilo- palmácea com babaçu, relevo plano.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PT

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Assentamento Tico-Tico, Município Miranda (Ma).

SITUAÇÃO E DECLIVE: Trincheira situada do lado direito da estrada que corta o assentamento a aproximadamente 100m da sede, em área de relevo plano, com declive de 0 a 3%.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Siltitos, arenitos e argilitos da Formação Itapecuru do Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Materiais areno-siltosos provenientes da alteração das rochas supracitadas, da Formação Itapecuru.

PEDREGOSIDADE: Ausente.

ROCHOSIDADE: Ausente.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano

EROSÃO : Laminar aparente

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia dicótilo-palmácea com babaçu.

USO ATUAL: Capoeira

DESCRITO E COLETADO POR: Marlen Barros e Silva.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0-10cm, bruno-acinzentado escuro (10YR 4/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); franco-siltosa; grãos simples e fraca, pequena, granular; plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.
- BA 10-20cm, cinza claro (10YR 7/2, úmido), branco (10YR 8/2, seco) e bruno-amarelado escuro (10YR 4/4, seco), mosqueado amarelo brunado (10YR 6/8, úmido) e amarelo (10YR 7/8, seco); franco-siltosa; fraca a moderada, pequena, blocos subangulares; plástico e pegajoso; transição plana e clara.
- Btf1 20-35cm, variegado de bruno (10YR 5/3, úmido) e bruno-amarelado escuro (10YR 4/6, úmido); franco-argilosa; forte, pequena a média, blocos angulares; muito plástico e muito pegajoso; transição plana e gradual.
- Btf2 35-120cm, cinza-brunado claro (10YR 6/2, úmido), mosqueados bruno-amarelados (10YR 5/6, úmido) franco-siltosa; maciça; plástico e muito pegajoso; transição plana e clara.
- 2Cf 120-140cm+, cinza claro (10 YR 7/2, úmido); mosqueados vermelho escuros (2,5 YR 3/6, úmido) franco-siltosa; fraca, pequena a média, blocos angulares, muito plástico e pegajoso.

RAÍZES Abundantes, finas a médias no Ap; muito finas a médias no BA e Btf1, poucas, finas a médias no Btf2 e raras e finas no 2Cf.

OBSERVAÇÕES:

- Presença de características vérticas a partir dos 45cm de profundidade.
- Coleta de todos os horizontes.