

**INFLUÊNCIA DA COBERTURA MORTA SOBRE ATRIBUTOS  
FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO CULTIVADO COM MILHO NA  
CHAPADA DO APODI-CE**

**ARILENE FRANKLIN CHAVES**

**JUNHO – 2004  
FORTALEZA – CEARÁ  
BRASIL**

**INFLUÊNCIA DA COBERTURA MORTA SOBRE ATRIBUTOS  
FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO CULTIVADO COM MILHO NA  
CHAPADA DO APODI-CE**

**ARILENE FRANKLIN CHAVES**

Dissertação submetida à  
Coordenação do curso de Pós-  
Graduação em Agronomia, Área de  
Concentração em Solos e Nutrição  
de Plantas, como requisito para a  
obtenção do grau de Mestre.

**JUNHO – 2004  
FORTALEZA – CEARÁ  
BRASIL**

C438i

Chaves, Arilene Franklin

Influência da cobertura morta sobre atributos físicos e químicos do solo cultivado com milho na Chapada do Apodi - Ce/ Arilene Franklin Chaves. - Fortaleza, 2004.

56f.: il.-

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior.

Dissertação (Mestrado) em Solos e Nutrição de Plantas - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

1. Cobertura Morta. 2. Atributos físicos. 3. Atributos químicos. 4. Chapada do Apodi – CE. 5. Milho. I. Título.

C.D.D. 631.4  
C.D.U. 631.41

Esta dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará. Uma via do presente estudo encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca de Tecnologia da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

---

Arlene Franklin chaves

Dissertação aprovada em 30 /06 /2004

---

Prof. Raimundo Nonato de Assis Júnior – D. Sc.  
(Orientador)

---

Prof. Ricardo Luiz Lange Ness – D. Sc.  
(Co-Orientador)

---

Prof. Ricardo Espíndola Romero – D. Sc.  
(Examinador)

“Que os esforços superem as impossibilidades, pois as grandes proezas dos homens surgiram daquilo que parecia ser impossível”.

Charles Chaplin

DEDICO

Aos meus pais Ariston Brito Chaves e  
Marilena Franklin dos Santos, e a minha  
filha

Maria Eduarda, que a pesar da  
pouca idade, tem ensinado que  
podemos fazer sempre o melhor.

## AGRADECIMENTOS

Sou grata primeiramente a Deus que torna possível os nossos desafios.

Sou grata aos meus pais, pelos esforços de uma vida inteira.

Aos meus tios, Antônio Deusimar Silva e Ana Rosa Chaves Silva, pelo carinho e incentivo, e principalmente por cuidar de minha filha com dedicação para que eu pudesse conduzir os trabalhos de campo, dando-me força para realizar mais um sonho, pois sem esse apoio incondicional não teria sido possível a realização do presente estudo.

Aos diversos obstáculos que desafiaram a minha determinação e persistência;

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de tornar possível um sonho;

À Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa (FUNCAP), pela concessão da bolsa de estudo tornando possível a nossa qualificação profissional.

À Fundação CAPES, por meio do programa PROCAD 0095/00-1 CAPES/ESALQ/UFC, pelo apoio financeiro à pesquisa.

Ao Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC), do município de Limoeiro do Norte (CE) pela permissão de realizarmos o trabalho de campo na sua Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE)..

Ao Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior, pela orientação, paciência, amizade, convívio e compreensão nos momentos difíceis, além de acreditar com entusiasmo no nosso sucesso profissional.

Ao Prof. Dr. Ricardo Lange Ness, pelo apoio, confiança e amizade, pela orientação na condução do experimento em campo, bem como o uso do laboratório do Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC) – Limoeiro do Norte (CE).

Ao Prof. Ricardo Espíndola Romero se fez presente com seus ensinamentos, amizade e sugestões valiosas.

A todos os professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas/UFC que contribuíram para o meu crescimento profissional com os ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo e da FUNCEME, com os quais convivi, pela amizade.

Ao Francisco José (Franzé) pelo apoio e colaboração na realização das análises, no laboratório de Física do solo, do departamento de Ciências do Solo.

Ao Enilson, Conceição, Antônio, Assis e Dedé pelo apoio na condução do experimento no campo, viabilizando o trabalho.

Aos amigos, Zacarias Ribeiro Junior e Zulene, pela amizade e apoio na realização das análises laboratoriais, bem como Ana Paula e Regina e os demais alunos do curso de Irrigação e drenagem do CENTEC, pela participação em algumas etapas do experimento em campo.

Aos funcionários do laboratório de análises de solo e água do Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC) – Limoeiro do Norte (CE).

Aos amigos do Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas/UFC, pelo harmonioso convívio e amizade: Cícero Pereira Cordão Terceiro Neto, Elibernon Alves da Silva, Francisco Alisson da Silva Xavier, Francisco Reinaldo Rodrigues Leal, Jaedson Cláudio Anunciato Mota e Stoécio Malta Ferreira Maia;

Quero registrar a minha profunda gratidão a todos que de algum modo contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho se tornasse uma realidade visível.



## ÍNDICE

	Pág.
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Justificativas para a utilização do Cambissolo e da cultura do milho no presente estudo.....	3
2.2. Uso de cobertura morta.....	5
2.3. Atributos físicos .....	8
2.3.1. Estrutura.....	8
2.3.2. Densidade de partículas.....	12
2.3.3. Densidade do solo.....	13
2.3.4. Porosidade .....	14
2.3.5. Retenção de água .....	15
2.4. Atributos químicos .....	16
2.4.1. Reação do solo .....	17
2.4.2. Complexo sortivo.....	18
2.4.3. Fósforo assimilável.....	19

2.4.4. Carbono orgânico, nitrogênio, relação C/N e matéria orgânica.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	26
3.1. Descrição da área de estudo .....	26
3.1.1. Solo .....	26
3.1.2. Relevo .....	26
3.1.3. Clima .....	27
3.1.4. Vegetação.....	28
3.2. Histórico da área.....	28
3.3. Metodologia de trabalho .....	28
3.3.1. Trabalhos de campo.....	28
3.3.2. Delineamento experimental.....	30
3.3.3. Trabalhos de laboratório .....	30
3.3.3.1. Análises físicas .....	31
3.3.3.2. Análises químicas .....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
4.1. Atributos físicos.....	35
4.2. Atributos químicos.....	42
5. CONCLUSÃO .....	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50
ANEXOS .....	60

## LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1. Caracterização física do solo sob seis tratamentos.....	37
Tabela 2. Estabilidade de agregados em água (tratamentos em função das classes).....	39
Tabela 3. Estabilidade de agregados em água (classes em função de tratamentos).....	40
Tabela 4. Caracterização química do solo sob seis tratamentos.....	44

## LISTA DAS FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localização geográfica da área experimental.....	28
Figura 2. Foto do plantio na área experimental, sobre a palha da cultura anterior.....	30
Figura 3. Esquema experimental representativo da área experimental.	31
Figura 4. Representação da relação palha adicionada, densidade do solo, porosidade total e macro e microporosidade. tratamentos.....	38
Figura 5. Representação da relação do diâmetro médio ponderado com o carbono orgânico.	41
Figura 6. Curvas características de umidade do solo nos diferentes tratamentos.....	
Figura 7. Relação entre a quantidade de palha adicionada, pH e a quantidade de fósforo por tratamento.....	45
Figura 8. Correlação entre os teores de potássio e a quantidade de palha adicionada, nos seis tratamentos avaliados.....	47
Figura 9. Comparação dos teores de carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N nos seis tratamentos avaliados.....	48

## RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar se a cobertura do solo com resíduos vegetais da cultura do milho provoca modificações nos atributos físicos e químicos de um cambissolo na Chapada do Apodi-CE. As amostras foram submetidas às análises físicas e químicas. Quanto aos aspectos físicos, foram observados valores altos para o grau de floculação, sem, no entanto mostrar diferença significativa entre eles; foram obtidos valores de densidade do solo dentro de uma faixa considerada normal; resultados de porosidade total foram satisfatórios, apresentando uma relação de macro: microporos ideal, revelando boas condições de aeração e armazenamento de água. Na avaliação da densidade de partículas os resultados foram bem inferiores aos comumente adotados para solos minerais; a estabilidade de agregados é relativamente boa para todos os tratamentos e a capacidade de retenção de água não revelou a atuação direta da matéria orgânica. Em geral, não houve diferença significativa entre os tratamentos para estes atributos avaliados. Em relação à química, o solo sob os diferentes tratamentos apresenta uma boa disponibilidade de nutrientes; com vista aos teores de carbono orgânico, matéria orgânica e nitrogênio houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados. Os tratamentos que tiveram maior cobertura do solo apresentaram maiores teores de carbono orgânico e matéria orgânica, e menores teores de nitrogênio, evidenciando a dinâmica desse elemento no solo.

## ABSTRACT

This work was accomplished with the objective of evaluating the covering of the soil with vegetable residues of the culture of the corn it provokes modifications in the physical and chemical attributes of a cambissolo in the Plated of Apodi, in the Ceará State. The collected samples were submitted the physical and chemical analyses. With relationship to the physical aspects, high values were observed for the flocculation degree, without, however to show significant difference among them; they were obtained values of density of the soil inside of a strip considered normal; the results of total porosity were satisfactory, presenting a relation of ideal macropores and:micropores, revealing good aeration conditions and storage of water; in the evaluation of the density of particles the results were lower than that commonly adopted for mineral soils; the aggregates stability is relatively good for all the treatments and the water retention capacity didn't reveal the direct effect of the organic matter. In general, there was not significant difference among the treatments for these appraised attributes. In relation to the chemistry, the soil under the different treatments presents a good availability of nutrients; with view to the tenors of organic carbon, organic matter and nitrogen had significant difference among the appraised treatments. The treatments that had larger covering of the soil, presented larger tenors of carbon and organic matter, and smaller tenors of nitrogen, evidencing the dynamics of that element in the soil.

## 1. INTRODUÇÃO

A exploração da cultura do milho (*Zea mays* L.) estabeleceu-se no Nordeste brasileiro em todos os níveis de propriedades agrícolas – desde a agricultura familiar, onde é cultivado em consórcio e com baixo nível tecnológico e de produtividade, produzindo apenas o suficiente para o consumo da família, até o nível empresarial, com insumos tecnológicos e produtividade relativamente alta – e representa uma atividade agrícola essencial à economia regional. Assume papel de destaque na alimentação humana e animal, principalmente de suínos e aves. Sua crescente utilização tem causado problemas no abastecimento regional, pois a quantidade de grãos produzida é pequena para atender à demanda, tornando necessária à busca do produto em outras regiões do país, onerando o preço de seus derivados diretos e indiretos.

No Estado do Ceará, os produtores que adotam técnicas de irrigação e adubação – e, por isso, os de maior produtividade – dedicam-se quase que exclusivamente à produção de milho verde para o consumo *in natura* ou na forma de seus derivados, que vão desde a tradicional pamonha até sorvetes. Nas propriedades rurais onde o milho é cultivado para a produção de grãos, verifica-se, na maioria das vezes, que a adoção de tecnologias avançadas não é uma praxe e, dessa forma, a produtividade média da cultura é baixa.

O quadro de baixa produtividade da cultura do milho também se deve em grande parte ao atual sistema de exploração agrícola que tem induzido o solo a um processo de degradação, com desequilíbrio de suas características físicas, químicas e biológicas, afetando, progressivamente, o seu potencial produtivo.

Em condições normais, sem a influência do homem, os restos vegetais são devolvidos ao solo pela sua queda e decomposição. Portanto, sempre que o agricultor retira da terra os produtos vegetais, ele além de exportar certa quantidade de elementos nutritivos essenciais às plantas, também deixa o solo exposto, e a produtividade e conservação do solo são comprometidas pelo excesso ou inadequação de práticas a que é submetido, desde o seu preparo até a colheita da cultura que nele se estabeleceu.

Desta forma, taxas altas de adição de resíduos orgânicos podem deter o declínio da qualidade estrutural dos solos cultivados, bem como promover a recuperação daqueles já degradados.

Este trabalho teve como objetivo avaliar se a cobertura do solo com resíduos vegetais da cultura do milho provocam modificações em seus atributos físicos e químicos.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Justificativas para a utilização do Cambissolo e da cultura do milho (*Zea mays* L.) no presente estudo.

A região da chapada do Apodi, a ocorrência de solos com boa fertilidade natural, desenvolvidos sobre calcário, tem um papel relevante na agricultura da área. Entretanto, nessa região observa-se a ocorrência de várias classes de solos, dentre os quais se destacam os Cambissolos, pela área de abrangência e pelo uso. Com a atividade agrícola, o uso desses solos e o desenvolvimento produtivo não se realizam com base nas características edafoambientais.

Nessas condições, a ação antrópica tem sido um dos fatores que muito vem contribuindo para o desequilíbrio do ecossistema, e seus efeitos degradativos se fazem presente pelo uso indiscriminado, desmatamento, queimadas, da mecanização agrícola, altas doses de fertilizantes minerais, agroquímicos, promovendo assim o declínio da fertilidade natural desses solos.

Por outro lado, as informações disponíveis, do ponto de vista de utilização agrícola e manejo desses solos, são relativamente escassas, sendo assim, estudos que proporcionem meios para um planejamento mais adequado se faz necessário para contribuir com uma atividade agrícola racional e sustentável.

Quanto ao milho, é o principal cereal produzido no mundo, seguido do arroz e trigo. A importância desse cereal não se restringe ao fato de ser produzido em grande volume e sobre imensa área cultivada, mas, também pelo papel sócio-econômico que representa (CONAB, 2004a).

No âmbito nacional, esse aspecto é evidenciado e sua importância social respalda-se basicamente em duas evidências. A primeira, por ser componente básico da dieta, principalmente nas camadas menos favorecidas da população; a segunda, por ser produto típico do pequeno produtor rural. Outra característica marcante da cultura do milho é sua importância agrônômica, por ser componente indispensável do sistema de produção de grãos, sendo uma das mais importantes culturas utilizadas na rotação de culturas (Moreira,2001).

O milho é cultivado para a produção de grãos, forragem na forma de feno e silagem, milho doce em conserva, milho de pipoca, milho verde e seus derivados, dependendo da região produtora e do nível tecnológico empregado (Pitombeira, 2004). Nos países desenvolvidos, grande parte da produção de grãos é usada na alimentação animal, na forma de rações, sendo, portanto, muito pequeno o seu uso no consumo direto pelo o homem. Nos países menos desenvolvidos das regiões tropicais do globo, o milho é largamente utilizado no consumo direto pelo o homem. O maior consumo "per capita" de milho, na forma direta, está na América do Sul (CONAB, 2004a).

No Brasil, o Paraná se destaca como o maior produtor com 9.797.816 toneladas seguidas de Minas Gerais (4.808.170 ton), São Paulo (3.943.470 ton), Rio Grande do Sul (3.901.171ton) e Goiás (3.389.532 ton). A produtividade média nacional na safra 2002 foi de 3,0 t/ha e nos estados de Goiás e Minas Gerais foram obtidas as maiores produtividades, respectivamente 4,6 e 3,9 t/ha. O Ceará ocupa a 10<sup>a</sup> posição em quantidade produzida, apresentando na safra de 2002/2003 cerca de 630 toneladas de grãos de milho, com uma área plantada de 702.962 hectares (CONAB, 2004b).

A região Nordeste tem apresentado grandes variações na área plantada e produção. Na produção de milho em grãos no Estado do Ceará no período de 1997/2001 se destaca uma variação anual que pode ser atribuída à irregular distribuição pluviométrica que predomina no estado, e o cultivo do milho ser realizado na sua totalidade sob condições de sequeiro. A elevada produtividade, cerca de 3.942 kg ha<sup>-1</sup> registrada para o município de Limoeiro do Norte no ano de 2001, pode ser atribuída ao plantio concentrado no perímetro de irrigação Jaguaribe/Apodi, predominando o plantio de milho verde irrigado o híbrido AG 1051 (Pitombeira, 2004).

## 2.2. Uso da cobertura morta

A importância da matéria orgânica sobre as propriedades do solo, refletindo diretamente sobre a produção das culturas, é amplamente reconhecida para a sustentação de uma agricultura produtiva e ecologicamente correta, porém a fração orgânica do solo representa um sistema complexo, composto de diversas substâncias, sendo sua dinâmica determinada pela incorporação ou não de material vegetal e animal ao solo e pela transformação destes, via ação de distintos grupos de microrganismos, de enzimas e da fauna do solo (Mendonça e Oliveira, 2000).

Vários autores relacionam inúmeros benefícios da matéria orgânica, tais quais: formação e estabilização dos agregados; aumenta a capacidade de retenção de água; favorece a atividade biológica; responsável pela retenção e liberação lenta de nitrogênio, enxofre, e solubilização de outros elementos; absorve produtos tóxicos; apresentam cargas elétricas negativas, atraindo com isso certos nutrientes como o cálcio, magnésio e potássio aumentando o aporte deles no solo; liga-se ao ferro, manganês, zinco e cobre, formando quelatos, protegendo e liberando aos poucos esses micronutrientes (Kiehl, 1979; Buckman & Brady, 1983; Casanellas et al., 1999).

A matéria orgânica do solo representa um acervo de resíduos animais e vegetais parcialmente decompostos e também parcialmente sintetizados, em contínua decomposição resultante do trabalho de microrganismos do solo. É, portanto, um componente do solo de sobremodo transitório e que deverá ser constantemente renovado pela adição de resíduos vegetais (Buckman & Brady, 1983).

Segundo Jorge (1983), a matéria orgânica incorporada ao solo ou aplicada em cobertura (mulch), exerce nele inúmeras influências de natureza química, física ou biológica. E ainda, com a decomposição de toda a massa orgânica, de origem animal ou vegetal, ocorre do ponto de vista químico, o desdobramento de compostos complexos, como a proteína, em substâncias simples, resultando em última análise, os elementos minerais.

Pesquisas têm evidenciado que é mais vantajoso, do ponto de vista de agregação, manter os resíduos culturais na superfície do solo que incorporá-los. Segundo Alvarenga et al. (1986), os restos culturais deixados em cobertura favorecem o aumento do diâmetro dos agregados. Os resíduos culturais deixados na superfície do solo serão decompostos em presença do ar (decomposição aeróbia), resultando em certos produtos (os ácidos poliurônicos) que formam grumos e melhoram a estrutura do

solo. Ao contrário, se a matéria orgânica for enterrada a uma profundidade maior, a decomposição se dará sem ar (decomposição anaeróbia), produzindo ácidos que não beneficiam o solo (Moreira, 2001).

A rapidez com que um dado resíduo de planta é oxidado depende da sua composição química e condições físicas do ambiente que o cerca. Os fatores principais são temperatura, suprimento de oxigênio, umidade, pH, disponibilidade de nutrientes tais como o P e o N, e relação C/N do resíduo da planta (Oades, 1988). Outros fatores que afetam a decomposição são a comunidade de microrganismos e a mesofauna presentes (Bastardo et al., 1982). A idade da planta, seu conteúdo de lignina e o grau de desintegração dos materiais apresentados à microflora também governam a decomposição (Abd-el-Malek et al., 1977).

A humificação bem como a decomposição de resíduo, é mediada primeiramente por processo microbiológico, controlado principalmente por variáveis locais específicas, tais como temperatura, regime de água no solo, pH e disponibilidade de nutrientes. Ao lado destas variáveis externas, fatores internos como qualidade dos recursos de origem, são importantes. As principais transformações que ocorrem durante a decomposição de resíduo e a humificação, são a perda de polissacarídeos e componentes fenólicos, modificação das estruturas de lignina, e enriquecimento em estruturas aromáticas não lignínicas recalcitrantes (Zech et al., 1997).

De maneira geral, a não incorporação diminui o contato da palha com os microrganismos do solo, resultando em menor velocidade de decomposição. Por outro lado, como os resíduos ficam na superfície do solo, as substâncias mineralizadoras são liberadas na camada superior do solo, favorecendo o aumento da população de microorganismo no local, onde são mais desejáveis do ponto de vista de liberação de nutrientes (Moreira, 2001).

Os produtos da decomposição da palha, que são os ácidos poliurônicos – juntam-se com a argila, formam torrões, grumos estáveis e resistentes à erosão. Os solos pesados (argilosos) ficam mais soltos e mais fáceis de serem trabalhados, porque os grumos formados pela matéria orgânica deixam a terra menos pegajosa e com poros entre os grãos. Solos arenosos por sua vez são beneficiados com a união das partículas, não ficando excessivamente soltos e sujeitos à erosão (Bertoni et al, 1999).

Os sistemas de manejo sem revolvimento do solo e com elevado aporte de resíduos vegetais ao solo, como o sistema plantio direto e alguns sistemas agroflorestais,

favorecem o acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS) e induzem a uma diminuição no seu grau de humificação (Bayer et al., 1999).

No sistema plantio direto a deposição superficial de resíduos vegetais e a não-incorporação desses resíduos ao solo contribuem para a redução das perdas de matéria orgânica do solo por erosão e oxidação microbiológica, tendo, como consequência, um aumento expressivo dos teores de matéria orgânica e nutriente, principalmente nos primeiros 5 cm de profundidade. Esses incrementos diminuem à medida que se aprofunda no perfil do solo (Rheinheimer et al., 1998; Bayer & Mielniczuk, 1997b; Santos et al., 1995; Sdiras & Pavan, 1985).

A adição de materiais orgânicos é fundamental à qualidade do solo, caracterizando-se pela liberação gradativa de nutrientes, que reduz processos como lixiviação, fixação e volatilização, embora dependam essencialmente da taxa de decomposição (Shang & Tiessen, 1997).

Porém, a matéria orgânica do solo não pode ser considerada homogênea olhando sob o ponto de vista do potencial para a mineralização (Zech et al., 1997). Importantes fatores ambientais que controlam o retorno de nutrientes e ciclagem através das fontes de matéria orgânica do solo, incluem propriedades químicas e mineralógicas do solo, manejo da vegetação e do solo, fatores climáticos, tais como temperatura e umidade, e variações ambientais sazonais e de curto período (Theng et al., 1989). Embora 55 a 70% de C de todo resíduo de plantas e animais que retornam para o solo sejam liberados para a atmosfera como CO<sub>2</sub> depois de 1 ano, diferentes taxas de mineralização ocorrem entre diferentes constituintes (Zech et al., 1997).

Segundo Moreira (2001) o plantio direto proporciona um aporte de matéria orgânica na camada superficial do solo, que provoca profundas alterações na dinâmica dos nutrientes e suas relações solo-planta. O autor diz, ainda, que as condições ambientais criadas pelo acúmulo de resíduos modificam a velocidade e a intensidade das reações que controlam a disponibilidade da maioria dos nutrientes no solo.

Diversas pesquisas têm demonstrado o efeito positivo do sistema plantio direto no acúmulo de matéria orgânica do solo, em comparação ao preparo convencional (Testa et al., 1992; Bayer, 1996; Burle et al., 1997; Amado et al., 2000; Bayer & Mielniczuk, 1997a). Em sistemas agrícolas, a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) pode ser influenciada não só pelo manejo por meio da seleção de culturas e de formas de preparo do solo, mas também pela adição de fertilizantes químicos e

materiais orgânicos, que influem positivamente nos processos biológicos de decomposição e mineralização da MOS (Amado & Mielniczuk, 2000).

A magnitude dos efeitos da matéria orgânica é variável, provavelmente em decorrência do histórico da área, do tempo de duração dos experimentos, dos sistemas de cultura utilizados, das condições climáticas locais e do tipo de solo. Desta forma, a diminuição dos estoques de matéria orgânica em decorrência do manejo inadequado do solo resulta num processo acelerado de degradações físicas, químicas e biológicas, com reflexos negativos na sua capacidade produtiva (Mielniczuk, 1998).

### 2.3. Atributos físicos

Dentre os atributos físicos serão destacados a estrutura, densidade do solo e partículas, porosidade e a retenção de água, incluindo necessariamente o espaço poroso.

#### 2.3.1. Estrutura

A estrutura do solo é definida como o arranjo, orientação e organização das partículas do solo, e que tais padrões incluem a geometria dos espaços porosos (Baver et al., 1973). Segundo Lemos (1996), a forma, define o tipo de estrutura, o tamanho, caracteriza a classe, e o grau das unidades estruturais (agregados), traduz seu desenvolvimento, fundamentando a designação da estrutura.

A agregação dessas partículas do solo que a estruturação descreve, são formadas a partir de processos de floculação, que é a aproximação entre as partículas primárias do solo mantidas por uma força de natureza qualquer, e a cimentação, que é a ligação dessas partículas, através de agentes cimentantes realizando a união firme das partículas sem que ocorra a dispersão em água, promovendo a estabilidade dos agregados (Kiehl, 1979).

A degradação da estrutura do solo causa perda de condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal e predispõe o solo à erosão hídrica acelerada (Albuquerque et al., 1995). De acordo com Da Ros et al. (1997), quando o solo passa de uma condição natural, mata ou campo nativo, para o cultivo anual, ocorrem modificações em suas características físicas, sendo estas mais afetadas quanto maior a intensidade de preparo do solo.

Segundo Casanellas et al. (1999), o manejo adequado da estrutura implica no conhecimento dos mecanismos envolvidos na formação dos agregados, que por sua vez são controlados por fatores do tipo físico, químico e biológico. Logo o cultivo intensivo do solo e o seu preparo em condições inadequadas são os principais responsáveis pela degradação de sua estrutura.

Cintra et al. (1983) verificaram que solos cultivados convencionalmente apresentaram, em profundidades próximas à superfície, níveis bastante elevados de densidade do solo, resistência à penetração e microporosidade, menor porosidade total, macroporosidade e taxa de infiltração da água no solo, quando comparados aos mesmos solos sob mata nativa. Para Vieira & Muzilli (1984), o excesso de operações do preparo convencional pode causar desagregação da superfície do solo, o que também foi determinado por outros autores como Carpenedo & Miellniczuk (1990), ao estudarem o preparo convencional e o plantio direto na sucessão trigo-soja.

A argila, matéria orgânica e sesquióxidos de ferro e alumínio são tidos como fatores que atuam na formação dos agregados. Para Kiehl (1979), solos de regiões tropicais, onde o aporte de matéria orgânica é geralmente baixo, deve-se ressaltar a importância de se representar os sesquióxidos de ferro e alumínio na forma coloidal como agente cimentante, principalmente devido ao fato de que eles, uma vez precipitados e desidratados, dificilmente se reidratam entrando em suspensão promovendo elevada estabilidade.

Buckman & Brady (1983) afirmam que cátions polivalentes inorgânicos funcionam como pontes entre a matéria orgânica e as argilas do solo, concluindo que de maneira geral, nos solos onde há predominância de caulinita e de argilas óxido-hidratadas, os agregados possuem mais alta estabilidade.

Oades (1988) comenta que muitos pesquisadores concordam que a argila exerce um papel na estabilização da MOS, e que isto se deveria ao mecanismo pelo qual os cátions se unem ao Ca, e que a argila se junta com compostos de Ca escassamente solúveis, agindo como fonte de Ca em equilíbrio com a solução do solo. As argilas mudam o microambiente dos microrganismos. Elas têm influência no pH, energia iônica e disponibilidade de substrato, bem como na produção e atividade de enzimas. Entretanto nos primeiros estágios da decomposição, as argilas geralmente aumentam o número e atividade dos microrganismos. O consumo de oxigênio é aumentado, enquanto a perda de CO<sub>2</sub> é diminuída (Zech et al., 1997).

Goldberg (1989), estudando a interação dos óxidos de ferro e alumínio em propriedades físicas do solo, evidencia o papel dos óxidos na estabilização da estrutura do solo correlacionando com o pH. Para o autor, esses óxidos em pH baixo precipitam sobre a superfície das argilas, cimentando as partículas floculadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Resende et al. (1995), afirmando que os Latossolos sob cerrado em seu estado natural caracterizam-se, em geral, pela elevada estabilidade estrutural devido à atuação dos óxidos de ferro e alumínio.

Para Zech et al. (1997), os sesquióxidos (de Fe, Al, Mn) também têm influência na estabilização da MOS, exercendo um papel importante na dinâmica da MOS de muitos solos de clima tropical, por causa da sua abundância nestes solos. Eles também exercem proteção física aos compostos orgânicos, causando perda de solubilidade e envolvendo estes compostos em ferro insolúvel ou hidróxidos de alumínio. Assim como os minerais de argila, os sesquióxidos influenciam o microambiente dos microorganismos alterando o pH e disponibilidade de substrato. Além do mais a solubilidade extremamente baixa dos complexos de Al e Fe da matéria orgânica, torna impossível a utilização desta matéria orgânica como substrato para os microrganismos.

Vários pesquisadores relatam sobre a relação das plantas na formação e estabilidade dos agregados. Allison (1973) afirma que as plantas exercem influência na agregação e estabilidade de agregados por meio da grande massa de raízes que se ramificam no solo, da remoção de água que faz com que aumente a coesão entre as partículas e do fornecimento de alimento para os microrganismos. Entre elas, as gramíneas têm recebido atenção especial, em face do grande efeito, que estas representam na melhor agregação e maior estabilização dos agregados devido ao seu extenso sistema radicular (Tisdall & Oades, 1982; Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Paladini & Mielniczuk, 1991).

Pereira et al. (1996) explica que o fato das gramíneas serem mais eficientes na estruturação do solo, está relacionado com a maior capacidade de regeneração, produção de matéria seca, comprimento e densidade do sistema radicular, bem como com os compostos orgânicos resultantes de sua decomposição, revelando efeitos mais duradouros.

Segundo Tisdall & Oades (1982), o aumento da estabilidade de agregados por ação das raízes de gramíneas se deve à liberação de polissacarídeos por hifas de



micorrizas associadas. Além desses aspectos manifestam-se também os efeitos mecânicos e físicos das raízes sobre a formação, manutenção e tamanho dos agregados.

Haynes & Swift (1991) afirmam que, em curto espaço de tempo, ocorrem modificações na estabilidade dos agregados de um solo submetido a diferentes tratamentos de cultivo devido a mudanças nos constituintes orgânicos do que no conteúdo total da matéria orgânica. O material orgânico em si, sem transformações biológicas, tem efeito reduzido, porém, à medida que esse material vai sendo utilizado como fonte de energia para a atividade microbiana, essa é intensificada, resultando em produtos que desempenham função na formação e estabilização dos agregados (Baver et al., 1973).

Eltz et al. (1989) afirmam que embora não tenham encontrado alterações significativas com o emprego contínuo do preparo convencional, verificaram que a continuidade dos ciclos de plantio direto aumentou a estabilidade de agregados na camada superficial de 0-5 cm, provavelmente devido a não destruição mecânica dos agregados pelos implementos de preparo do solo e à proteção que a palha oferece à superfície do solo no plantio direto.

Vários trabalhos têm demonstrado que existe uma variação na estabilidade das unidades estruturais, agregados, dependendo do tipo de manejo do solo e tipo de culturas adotadas. Carpenedo & Mielniczuk (1990), estudando a estabilidade estrutural em condições de mata, campo nativo e cultivo convencional, verificaram que houve redução da agregação quando os solos foram submetidos a lavração e gradagens e que esses eram menos estáveis. Campos et al. (1995), constataram que no sistema de plantio direto o diâmetro médio geométrico dos agregados foi cerca de duas vezes maior que no sistema de plantio convencional.

Segundo Da Ros et al. (1997), após cinco anos de cultivo, o diâmetro médio ponderado dos agregados no tratamento com plantio direto foi estatisticamente semelhante ao do campo nativo, diminuindo com o aumento da intensidade de preparo do solo, com valores de 2,96 vezes menores no preparo convencional comparado ao campo nativo. Correia (1985), comparando os métodos convencionais, enxada rotativa e plantio direto, observou que os dois primeiros afetaram negativamente a estabilidade de agregados na profundidade de 0-10 cm. Em relação aos demais sistemas de preparo do solo, Silva & Mielniczuk (1998), concluíram que solos submetidos ao plantio direto predominam agregados de maior tamanho.

O uso de implementos agrícolas no preparo do solo provoca alterações na distribuição e na estabilidade dos agregados, diminuindo a percentagem de macroagregados e aumentando a dos microagregados (Machado et al., 1981; Elliott, 1986; Gupta & Germida, 1988; Coleman et al., 1994; Castro Filho et al., 2002). A quebra dos macroagregados expõe a matéria orgânica armazenada no seu interior ao ataque dos microrganismos, promovendo sua perda (Elliott, 1986; Gupta & Germida, 1988; Pereira et al., 1996).

A relação entre a floculação e estabilidade dos agregados é muito importante nos solos, pois a formação dos agregados estáveis está intimamente relacionada com as argilas que floculam. Segundo Santos & Muraoka (1997), geralmente se observa em solos argilosos um sistema disperso devido a predominância de cargas negativas, de íons sódio e magnésio, e a reduzida concentração de eletrólitos. As forças repulsivas na dupla camada difusa bem como os altos raios hidratados do sódio e magnésio explicam seus efeitos nesse processo.

Quando as partículas de argila interagem, dependendo das condições físicas e químicas, podem atuar tanto forças de atração quanto de repulsão. Se a dupla camada difusa possui espessura maior que a distância sobre a qual as forças de Van der Waals atuam, a força repulsiva dos cátions irá prevalecer e as partículas de argilas serão mantidas dispersas. Por outro lado, se a dupla camada difusa for delgada, a força de Van der Waals prevalecerão, ocorrendo à sobreposição das camadas dupla e as partículas de argila agregam-se formando flocos (Ferreira, 1997). As forças repulsivas podem ser reduzidas pelo aumento da concentração de eletrólitos, com isso pode-se concluir que a dispersão e floculação das argilas dependem da espessura da dupla camada difusa ao redor das partículas e, portanto da concentração de cátions que estão próximos a sua superfície (Santos & Muraoka, 1997).

A estrutura do solo é relacionada a importantes propriedades físicas, especialmente as que se referem à retenção e transporte de soluções, gases e calor. A estrutura do solo pode ser avaliada através da estabilidade dos agregados em água como também pela porosidade e densidade do solo (Danielson & Sutherland, 1986).

### 2.3.2. Densidade de partículas

Entende-se densidade das partículas como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas. Os

valores médios para efeito de cálculos estão em torno de  $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ . Vale ressaltar que o resultado obtido na determinação da densidade das partículas de um solo representa a média ponderada da densidade real de todos os seus componentes minerais e orgânicos (Kiehl, 1979).

Interrelações de porosidade, densidade do solo e taxas de sedimentação de partículas em fluidos dependem da densidade de partícula, a qual é usada na maioria das expressões matemáticas onde volume ou peso de uma amostra estão sendo considerados (Blake & Hartge, 1986b). A densidade das partículas do solo é essencialmente constante por período de tempo razoável (Buckman & Brady, 1983).

De acordo com Kiehl (1979), a relação da densidade das partículas com as plantas é indireta, pois seus valores informam sobre a presença de certos componentes minerais ou orgânicos, que por sua vez podem influenciar mais diretamente no comportamento das plantas.

### 2.3.3. Densidade do solo

A densidade do solo representa o estado atual do solo no que diz respeito ao volume ocupado pelos sólidos e o espaço poroso em conjunto. (Buckman & Brady, 1983). Segundo Kiehl (1979), os valores de densidade do solo situam-se entre  $1,00$  a  $1,25 \text{ g.cm}^{-3}$  para solos argilosos e  $1,25$  a  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$  para arenosos.

A densidade do solo é uma variável qualitativa, variando com a condição estrutural do solo, por isto é freqüentemente usado como uma medida de estrutura do solo (Blake & Hartge, 1986a). Vale ressaltar que o valor obtido para porosidade total variará com variações de densidade do solo (Danielson & Sutherland, 1986).

Sendo assim, é um importante atributo físico dos solos, por fornecer indicações a respeito do estado de sua conservação, sendo uma das primeiras propriedades a ser alterada dependendo do manejo ao qual o solo está submetido. Tem sido largamente utilizada na avaliação da compactação e/ou adensamento dos solos (Camargo, 1983), sendo seu conhecimento necessário para conversão de resultados obtidos em base gravimétrica para volumétrica.

De acordo com McGarry et al. (2000), a densidade do solo tem sido o atributo mais comum de avaliação de compactação de solos em ensaios sobre plantio direto e preparo convencional de solo. Os preparos de solo em bases conservacionista, tal como a semeadura direta, com menor revolvimento, e o plantio direto mantêm, parciais ou

totalmente, os resíduos vegetais na superfície do solo e aportam continuamente matéria orgânica ao solo, a qual é responsável pela manutenção e melhoria das propriedades físicas do solo (Castro Filho et al., 1998).

O sistema de cultivo com rotação ou sucessão também altera as propriedades físicas do solo. Em Latossolos Vermelho-Escuros, Campos et al. (1995) observaram maior atividade microbiana e estabilidade dos agregados, enquanto Albuquerque et al. (1995) observaram maior volume de macroporos e menor densidade do solo, nos sistemas de rotações de culturas comparados às sucessões.

#### 2.3.4. Porosidade

Diretamente ligada à definição de densidade das partículas e do solo, está a porosidade, que é a medida do espaço poroso refletindo o estado estrutural do solo (Reichardt, 1985).

A distribuição dos poros por tamanho proporciona maiores informações acerca dos processos de transferência dos fluidos, que o valor numérico da porosidade. Dessa forma, estabeleceram-se dois tipos específicos de espaços porosos, os macroporos, também denominados de poros de aeração ou poros livres de água. Segundo Casanellas et al. (1999), os macroporos compreendem poros com diâmetro  $\geq 50 \mu\text{m}$ , e microporos ou poros capilares, que possuem diâmetro  $< 50 \mu\text{m}$ . Vale ressaltar que a especificação dos limites para a classificação em macro e microporos não tem sido unânime entre os pesquisadores.

A porosidade regula as relações entre as fases sólida, líquida e gasosa dos solos. Daí a importância do conhecimento da macroporosidade e microporosidade nos estudos do movimento da água e do ar no solo, na retenção de água, no desenvolvimento do sistema radicular das plantas, nas relações de fluxo e retenção de calor (Danielson & Sutherland, 1986).

Resende (1997), destaca que a presença de uma rede ideal de poros, com ampla variação de diâmetros, é fator decisivo na produtividade das culturas, pois interferem nas relações entre drenagem, teor de água disponível para as plantas, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura.

Vieira & Muzilli (1984), observaram que o plantio direto proporcionou redução da macroporosidade e porosidade total na camada de 0-10 cm de um Latossolo Vermelho Escuro. Correia (1985) verificou que o plantio direto foi o que mais afetou a

camada superficial, reduzindo a macroporosidade, comparando com o plantio convencional. Segundo Vieira et al. (1978), solos sob plantio direto costumam apresentar maiores valores de densidade de solo e microporosidade nas camadas superficiais do solo em detrimento dos valores de porosidade total e macroporosidade. Para esses autores, isto se dá principalmente em função do não-revolvimento do solo em plantio direto; no entanto, essas diferenças são mais evidentes nas camadas superficiais diminuindo com a profundidade.

### 2.3.5. Retenção de Água

Provém do solo o fornecimento da água que satisfaz as exigências de evapotranspiração dos vegetais, a qual deve estar disponível quando as plantas necessitarem, que juntamente com os íons em dissolução compõem a solução do solo. Daí o grande interesse nas relações solo-água, pois, a água participa diretamente de inúmeras reações do solo e dos vegetais, exercendo também influência indireta sobre muitas outras (Bucknan & Brady, 1983). Em regiões onde a deficiência e irregularidade das chuvas, fazem com que a exploração agrícola dependa essencialmente da implantação de sistema de irrigação, o conhecimento desse parâmetro é de grande relevância.

Por ser o solo um meio poroso, a água pode ocupar e movimentar-se através dele, entrando assim em contato com a superfície das partículas do solo. A princípio se poderia esperar que em solos com igual conteúdo de água, uma mesma cultura tivesse o mesmo desenvolvimento. Porém, este fato pode não ser observado, pois, a disponibilidade de água para as plantas depende do seu estado energético (Casanelas et al., 1999).

De maneira geral, podemos dizer que a retenção de água pelos solos, basicamente é o resultado combinado de dois fenômenos: o de capilaridade, onde a água fica retida nos microporos do solo e o de adsorção onde a retenção de água se manifesta na superfície das partículas do solo. (Reichardt, 1985)

Como o conteúdo de água no solo é função do tamanho e volume dos poros que contém água e, portanto, é função do potencial mátrico ( $\psi_m$ ). Para cada amostra de solo, o potencial mátrico tem valor característico para cada valor de umidade ( $\theta$ ). (Reichardt, 1985). Sob ação de elevados potenciais de água, os fenômenos capilares predominam e dependem da textura e estrutura. À medida que os potenciais decrescem,

o fenômeno de adsorção torna-se mais atuante e menos afetado pela distribuição de poros (Klar, 1982). Logo, o potencial mátrico do solo, é função de sua umidade, portanto, se o arranjo poroso não mudar, a relação  $\psi_m$  e  $\theta$  é uma característica física do solo (Reichardt, 1985). Tal função é avaliada experimentalmente e representada graficamente pela curva característica de umidade (Hillel, 1972). Segundo Casanelas et al., (1999) a curva característica de umidade pode ser elaborada a partir de medidas experimentais e ajustadas por equações empíricas, como a de Van Genuchten.

Por ser sensivelmente afetada pela textura do solo, a curva característica terá uma inclinação suave, quanto maior o teor de argila, maior o conteúdo de água sob dada tensão. Isto se deve a distribuição do tamanho de poros em solos argilosos serem mais uniformes, determinando a adsorção de maior quantidade de água, ocasionando assim um decréscimo gradual do teor de água motivado pelo aumento da tensão (Hillel, 1972).

Em virtude da forma da curva que define esta relação, em alguns pontos, grandes variações do potencial hídrico estão associadas com pequenas variações no conteúdo de água no solo (Ferreira, 1988).

Silva & Kay (1997), argumentam que o efeito negativo da densidade do solo sobre a retenção de água a elevados potenciais é devido à influência da redução da porosidade total refletindo no aumento da densidade do solo, e que em baixos potenciais a retenção é controlada pelo volume de microporos que mantem correlação positiva com a densidade do solo. Segundo eles em solos tropicais, com elevado teor de ferro, a forte microagregação do solo minimiza os efeitos da matéria orgânica sob baixos potenciais, a maior retenção de água, com o aumento da densidade do solo, se dá pela maior quantidade de partículas minerais disponíveis para a adsorção de água.

#### 2.4. Atributos químicos

A dinâmica dos atributos químicos no solo é um processo de relevante importância, pois ela determina os níveis de nutrientes disponíveis para as plantas nas diversas camadas do solo. Para o entendimento dessa dinâmica, é necessário conhecer cada atributo químico, os fenômenos envolvidos, bem como suas interações com o solo.

A condutividade elétrica, o pH, as bases trocáveis, fósforo assimilável e nitrogênio compreendem alguns dos atributos químicos que serão discutidos.

### 2.4.1. Reação do solo

A reação do solo em seu conceito se refere as relações de acidez e basicidade do mesmo, influenciando nas características químicas e físicas, tendo impacto sobre a vida microbiana deste meio. A reação do solo tem efeitos diretos ou indiretos na disponibilidade dos nutrientes e em diversos elementos que participam da nutrição vegetal. Ela pode ser avaliada através da determinação do pH em uma suspensão de solo em água, KCl ou CaCl<sub>2</sub> (Fassbender, 1994).

Segundo Raij, (1991), devido às posições dos íons H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> e suas relações de troca que se estabelecem entre a solução livre e a fase sólida do solo, a acidez pode ser dividida em acidez ativa, potencial e trocável. A acidez ativa é representada por uma pequena concentração de íons H<sup>+</sup> que se encontra dissociada na solução do solo e em equilíbrio com a maior porção, ainda ligada às partículas do solo. Os íons H<sup>+</sup> presentes na solução do solo são quimicamente ativos e a atividade desses íons será tanto maior quanto menor for a quantidade de bases presentes na solução do solo. Por essa razão, pode-se dizer que o pH é reflexo do conteúdo de bases que o solo possui. Logo, espera-se que exista uma estreita correlação entre pH e o grau de saturação de bases do solo.

A acidez potencial é constituída parte pelos íons H<sup>+</sup> não dissociáveis, portanto, não podem ser deslocados para a solução do solo através da troca iônica, e parte pelos íons Al<sup>3+</sup> que estão ligados através de força eletrostática, sendo capazes de serem deslocados por um outro cátion. A essa parte da acidez potencial, constituída pelo H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>, dá-se o nome de acidez trocável. (Quaggio, 1986).

O solo é considerado quimicamente neutro quando ele possui pH 7,0. Nesta condição, é de se esperar que todas as cargas negativas do complexo coloidal do solo estejam ocupadas por cátions como cálcio, magnésio, potássio e sódio. O solo abaixo desse valor apresenta-se sob condições de acidez, nesse caso inicia-se considerável solubilização do alumínio do solo, afetando diretamente o crescimento das raízes das plantas (Raij, 1991). Alguns autores não observaram efeitos do manejo do solo nos teores de pH e Al<sup>3+</sup> mesmo nas camadas superficiais (Klepker & Anghinomi, 1995; Bertol & Bayer 1999).

A partir do pH 7,0 ocorrem os solos alcalinaos. Solos com pH em torno de 8,0 podem ser calcários, com presença de carbonato de cálcio livre. O pH bem acima de 8,0 indica presença de sódio trocável, cátion que pode ter efeito deletério sobre a estrutura do solo, visto que causa a dispersão dos colóides do solo.

Santos & Muraoka (1997) afirmam que o pH elevado reduz a taxa de mineralização da matéria orgânica, que por sua vez, afeta a disponibilidade dos nutrientes essenciais às plantas, ocorrendo geralmente a precipitação de micronutrientes como Zn, Cu, Fe, Mn e B. Quaggio (1986), afirma que os mecanismos responsáveis pela melhoria das características químicas do solo após a aplicação de resíduos vegetais, são a adsorção de  $H^+$  e  $Al^{3+}$  na superfície do material vegetal, a complexação do Al por compostos orgânicos e troca de ligantes entre grupos OH e terminais óxidos de ferro e alumínio.

Franchini et al. (1999) verificaram que o pH, tanto em água como em KCl independente do tipo de solo, aumentou com a aplicação dos resíduos vegetais. Desse modo a acidez total ( $H + Al$ ) diminuiu e foi proporcional ao aumento do pH. Para a maioria das culturas um bom desenvolvimento ocorre com um pH em torno de 6,5.

O sistema de preparo do solo também afeta o pH do solo, como foi constatado por Faleiro et al. (2003). Os autores verificaram que os valores de pH do solo foram maiores na camada superficial do sistema de preparo em semeadura direta, decrescendo com a profundidade. Observaram ainda que os teores de Ca e Mg foram maiores nas camadas superficiais e atribuí o resultado ao não revolvimento do solo e à reciclagem dos nutrientes pelas plantas.

Para a cultura do milho, embora possa ser cultivado em solos com pH entre 5,0 e 8,0, o recomendado situa-se entre 6,0 e 7,0.

#### 2.4.2. Complexo sortivo

A determinação do conteúdo, natureza e capacidade de troca iônica de um solo constituem uma boa indicação da atividade do seu complexo sortivo. Sendo assim a determinação da soma de bases ( $SB = Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ), capacidade de troca de cátions ( $CTC = SB + (H^+ + Al^{3+})$ ) e saturação por bases ( $V = (SB/CTC) \times 100$ ), por saturação de alumínio ( $m = [Al^{3+} / (SB + Al^{3+})] \times 100$ ) e a percentagem de sódio trocável ( $PST = (Na^+ / CTC) \times 100$ ) traduzem a fertilidade do solo, não só quanto aos nutrientes presentes nos solos, mas também para aqueles que serão aplicados mediante fertilizantes (Kiehl, 1979).

As bases trocáveis ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  e  $K^+$ ) presentes na solução do solo são adsorvidas eletrostaticamente pelas partículas que desenvolvem cargas negativas,



estabelecendo o equilíbrio entre as fases sólida e líquida. As cargas elétricas existentes nas superfícies das partículas do solo são responsáveis pelo fenômeno de troca de íons.

Ocorre, em geral, um predomínio de cargas negativas nos colóides do solo (minerais e orgânicos). Essas cargas se originam pelas substituições isomórficas que ocorrem no interior dos cristais, principalmente nas argilas que não expõem  $\text{OH}^-$  em suas superfícies. Nota-se dois tipos de cargas envolvidas nestas substituições. A primeira, denominadas de cargas permanentes, manifestam-se quando ocorrem as substituições isomórficas; a segunda, denominada de cargas dependente de pH, ocorre se o colóide expõe  $\text{OH}^-$  em sua superfície, interagindo com o pH do meio causando o aparecimento dessas cargas (Tan, 1998).

Nas regiões de clima tropicais, predominam colóides de baixa CTC como óxidos de ferro, alumínio e caulinita. Sendo assim a matéria orgânica, com sua alta capacidade de troca de cátions, tem suma importância na constituição da CTC desses solos (Quaggio, 1986). Este autor salienta que a CTC é um atributo que reflete a fertilidade química do solo, tendo em vista que além de evitar a massiva lixiviação das bases trocáveis para longe do sistema radicular, garante uma disponibilidade elástica desses nutrientes para as plantas.

De acordo com Teixeira et al. (1994), sistemas de cultivo que promoveram o aumento de carbono (matéria orgânica) no solo possibilitaram o aumento da CTC. Isso, possivelmente, permitiu maior retenção dos cátions adicionados ou liberados pela biomassa das culturas, reduzindo sua lixiviação, fato que explicaria os aumentos proporcionais nos teores de Ca, Mg, K e, conseqüentemente, da soma de bases. Observando a dinâmica dos íons no solo, manejado por resíduos vegetais, dentre estes o milho, Quaggio (1986), verificou que o material vegetal em superfície contribuiu para um aumento de pH, Ca, Mg e K trocável e diminuição de Al trocável ao longo do perfil.

#### 2.4.3. Fósforo assimilável

O teor de fósforo total no solo é variável, situando-se em torno de 2000kgP /ha. Por outro lado, porém, o teor extraível de fósforo do solo, considerado como aproveitável pelas plantas, em geral, varia de 5 a 20 kg P/ha em solos não adubados, e o teor de fósforo livre (solubilizado) na solução destes solos é de 0,2mg P/l solução (Raij, 1991).

Segundo o autor, o fósforo é absorvido pelas plantas principalmente como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$  (íons ortofosfatos), porém estes íons antes de atingirem os sítios de absorção das plantas, podem tornar-se insolúveis ao entrarem em contato com a fase sólida do solo, resultando no fenômeno de adsorção do fósforo pelo solo, fazendo com que a capacidade de suprimento de fósforo para as plantas seja reduzida.

Este fenômeno é explicado pela alta reatividade que o fósforo apresenta com a fase sólida do solo, pois ele tem uma estreita dependência com a natureza do solo e seu material de origem, bem como o intemperismo e o manejo a que o solo está submetido. Vários trabalhos têm demonstrado a relação da mineralogia da argila, teor de argila, teor de colóides amorfos, pH e matéria orgânica no processo de adsorção do fósforo no solo (Ker, 1995).

É conhecida a importância das argilas caulinita e dos óxidos de ferro e alumínio, na adsorção do fósforo, pelo fato de expor  $\text{OH}^-$  em suas arestas e ao longo de suas estruturas cristalinas respectivamente. Estudando a influência de atributos físicos, químicos e mineralógicos sobre a capacidade de adsorção de fósforo, em solos do Estado do Ceará, Moreira (2000), observou que as quantidades de fósforo adsorvido pelos solos variam bastante e constatou que o Cambissolo háplico foi dentre os solos estudados o que mais adsorveu o fósforo, e atribui tal resultado a interação do fósforo com elevados teores de ferro total, óxidos de ferro livres e amorfos existentes nesse solo e não pela mineralogia das argilas como comumente encontrado na literatura.

Wild (1950), afirma que as argilas silicatadas possuem uma menor habilidade em adsorver fósforo em relação aos óxidos de ferro, ficando claro que a capacidade de adsorção das argilas com o fósforo pode ser explicada através do compartilhamento das valências dos cátions metálicos, predominantemente os de ferro e alumínio, entre as micelas de argila e os íons fosfatos, além do fato de o teor de argila se correlacionar com a CTC, desta forma, pode-se dizer que alta CTC e o acréscimo de outros atributos do solo podem justificar a relação de adsorção do fósforo no solo.

Segundo Buckman & Brady (1989), à medida que o pH aumenta, o fósforo presente no solo se torna mais disponível, isto se deve ao fato de induzir o aumento de cargas negativas provocando repulsão dos ânions fosfatos das superfícies dos colóides.

Resultados semelhantes a essas afirmações foram obtidos por Ernani (1991), ao estudar o rendimento da matéria seca do milho e modificações nas propriedades do solo e da raiz afetada por fertilizantes fosfatados e a calagem. Percebeu que em solos ácidos, ocorreu um aumento do rendimento da cultura e absorção do fósforo com a calagem.

O papel da matéria orgânica na adsorção do fósforo tem sido muito discutido e contraditório. Resultados de pesquisa evidenciam que a matéria orgânica pode aumentar ou diminuir a habilidade do solo em adsorver fósforo. Uma correlação positiva entre o teor de matéria orgânica e a adsorção de fósforo foi constatada por Moreira (2000). A autora encontrou para a capacidade máxima de adsorção de fósforo a seguinte ordem : matéria orgânica > CTC > óxidos de ferro amorfos > óxidos de ferro livres > ferro total.

Wild (1950), estudando a retenção de fosfatos no solo, sugeriu que o fósforo adicionado ao solo associava-se em parte com a matéria orgânica através de compostos metálicos de ferro e alumínio.

Diversos estudos têm demonstrado a correlação negativa da matéria orgânica com a adsorção do fósforo, dentre eles Morais (2001), relata o efeito da matéria orgânica por haver competição dos ânions orgânicos com os íons fosfatos nos sítios adsorção, e que o húmus forma complexo com óxidos de Fe e Al, evitando a disponibilidade destes para reter fósforo, deixando-o mais disponível para as plantas

Evans (1985) verificou que, em solos calcários, a matéria orgânica compete com o fósforo pelo mesmo sítio de adsorção na superfície do  $\text{CaCO}_3$  diminuindo dessa forma, a imobilização do fósforo no solo.

Vários trabalhos descrevem a relação do fósforo com o manejo ao qual o solo está submetido. Estudando a influencia do sistema de manejo e fertilidade do solo, Sidiras & Pavan (1985) reportaram que o teor de fósforo disponível nos 20 cm iniciais em plantio direto foi 74% superior aos valores obtidos em plantio convencional. Alves (1992) constatou que houve diferença significativa entre a profundidade do solo e os teores de matéria orgânica, fósforo e potássio, havendo maior acúmulo na camada de 0 a 10 cm, para todas as variáveis. Nesse sentido, observações semelhantes foram feitas por vários autores. Triplett & Dorem (1969), trabalhando com a cultura do milho, verificaram que a maior parte do fósforo aplicado, em plantio direto, permaneceu na camada superficial de 0-5 cm de profundidade. Muzilli (1983) verificou que em plantio direto houve maior acúmulo de fósforo nas camadas superficiais do solo e maior disponibilidade dos nutrientes para as culturas. Para Oliveira (2001), o cultivo das plantas de cobertura elevou a saturação por bases e o teor de fósforo.

No caso do P, têm sido verificados, em solo arenoso do Rio Grande do Sul, contribuições do P orgânico para o P total do solo de 46, 47, 67 e 88 % para as profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente (Rheinheimer et al., 1998).

#### 2.4.4. Carbono orgânico, nitrogênio, relação C/N e a matéria orgânica do solo

De modo geral, as plantas de cobertura desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes, tanto daqueles adicionados por meio dos fertilizantes minerais e não aproveitados pelas culturas, como daqueles provenientes da mineralização da matéria orgânica (MO) e do próprio material de origem do solo (Aita et al., 2000).

Em solos agrícolas, os estoques de matéria orgânica dependem do sistema de manejo adotado. Normalmente, a taxa de perda é diretamente relacionada à intensidade de revolvimento do solo, pelos seus efeitos na erosão hídrica e sobre fatores que afetam a atividade microbiana e exposição da matéria orgânica aos microrganismos e suas enzimas (Balesdent, 2000).

A estabilidade do carbono (C) orgânico é resultante de três conjuntos gerais de características: recalcitrância, interações e acessibilidade. Por definição ela aumenta com a recalcitrância e decresce com a acessibilidade. Sollins et al. (1996) definem estes termos: “a recalcitrância compreende características a nível celular de substâncias orgânicas, incluindo composição elementar, presença de grupos funcionais e conformação molecular, que influencia sua degradação por micróbios e enzimas. Interações refere-se as interações inter-moleculares entre substâncias orgânicas e outras inorgânicas, ou outras substâncias que alteram a taxa de degradação destes compostos orgânicos ou a síntese de novos compostos orgânicos. Acessibilidade refere-se a localização (posição) de substâncias orgânicas com respeito a micróbios e enzimas”. A matéria orgânica do solo pode ser estabilizada pela interação com minerais.

Esta estabilização pode exercer um papel mais importante nos solos de clima tropical do que nos solos de clima temperado (Nayak et al., 1990).

A matéria orgânica e o nitrogênio alteram-se constantemente com os cultivos, principalmente em solo tropicais. Essas alterações nos níveis desse nutriente são devido a vários fatores: 1) remoção pelas colheitas, no caso do milho, por exemplo, aproximadamente 20 a 25Kg de N sejam absorvidos por tonelada de grãos produzida; 2) erosão; 3) lixiviação – no solo,  $\text{NO}_3^-$  tende a permanecer livre na solução do solo, por isso, é facilmente lixiviado; 4) volatilização – bastante influenciada pelo pH do meio; 5) desnitrificação - o  $\text{NO}_3^-$  pode se transformar em óxidos de N e  $\text{N}_2$ , que retornam a atmosfera (Raij, 1991).

Geralmente, a grande maioria do N e S e boa parte do P da camada superficial dos solos se encontram ligados à matéria orgânica. No sistema plantio direto, o N

orgânico pode representar 98 % do N total do solo não somente na camada superficial, mas também em camadas até à profundidade de cerca de 40 cm.

No que diz respeito ao nitrogênio, Muzilli (1983) verificou que a sua disponibilidade foi menor no plantio direto do que no convencional este fato parece está relacionado com a maior disponibilidade de umidade e conseqüentemente movimento descendente da água, provocando maior lixiviação de nitrogênio. Segundo este mesmo autor, a manutenção de tecido vegetais na superfície do solo retarda a decomposição e, conseqüentemente, a mineralização, ocasionando a liberação mais lenta desse elemento no solo.

Esse autor diz ainda que, a persistência dos resíduos culturais sobre o solo é definida pela sua velocidade de decomposição, a qual é uma variável importante no manejo do solo. Este processo é essencialmente biológico, sujeito à interferência de diversos fatores (clima, temperatura, tipo de solo, relação C/N, etc.). Dentre eles, a relação C/N assume importante papel na decomposição e na imobilização/mineralização de N do solo. Moreira (2001), afirma que a decomposição e liberação de nitrogênio e fósforo da palhada do milho são lentas, devido a sua alta relação C/N, à heterogeneidade do material (raízes, folhas e colmos) e a quantidade de resíduos depositados. Vale ressaltar que durante a decomposição da matéria orgânica no solo a relação C/N diminui, tendo em vista que parte do C orgânico se perde sob a forma de CO<sub>2</sub>.

No sistema plantio direto a deposição superficial de resíduos vegetais e a não-incorporação desses resíduos ao solo contribuem para a redução das perdas de MOS por erosão e oxidação microbológica, tendo, como conseqüência, um aumento expressivo dos teores de matéria orgânica e nutrientes, principalmente nos primeiros 5 cm de profundidade. Esses incrementos diminuem à medida que se aprofunda no perfil do solo (Santos & Tomm, 1999; 1998; DeMaria et al., 1999; Rheinheimer et al., 1998; Bayer & Mielniczuk, 1997a; Santos et al., 1995; Sidoras & Pavan, 1985; Muzilli, 1983). Essa maior disponibilidade de carbono orgânico e nutrientes na camada mais superficial do solo (0-5 cm) é responsável pela maior biomassa e atividade microbiana no sistema plantio direto, quando comparado com o sistema convencional de preparo do solo, principalmente na profundidade de 0-5 cm (Balota et al., 1998).

Independente da forma orgânica do nutriente, a matéria orgânica dos diferentes tipos de solos difere muito quanto a qualidade e habilidade de suprir nutrientes para as plantas. Definir a qualidade, disponibilidade e atividade dos nutrientes nos substratos

orgânicos em diferentes compartimentos do solo é a chave para entender e descrever os processos de mineralização-imobilização dos nutrientes na forma orgânica. Muitos autores falam da compartimentalização da matéria orgânica, ou seja, ela pode estar em compartimentos não protegidos, que se caracterizam pela biomassa microbiana e pelos resíduos vegetais e microbianos parcialmente decompostos e seus respectivos produtos de transformação. Sendo assim, é esperado que a ciclagem dos nutrientes nos compartimentos não-protégidos seja alta, fazendo com que os tamanhos destes compartimentos de carbono e nutrientes sejam menores em regiões tropicais do que em regiões temperadas (Mendonça & Oliveira, 2000).

Esses autores afirmam que os compartimentos física e quimicamente protegidos estão relacionados com o manejo, textura e mineralogia do solo. Grande parte da matéria orgânica e nutrientes do solo se encontram nesses compartimentos. O tempo de ciclagem dos nutrientes nesses compartimentos vai ser controlado pelo grau de proteção, intra e inter-microagregados, e do grau de interação do nutriente com a matéria orgânica. Nutrientes interagindo com a matéria orgânica por meio de ligações eletrostáticas estarão prontamente disponíveis para serem absorvidos pelas plantas, enquanto nutrientes formando quelatos com a matéria orgânica quimicamente protegida terão um tempo de ciclagem maior. O tempo de ciclagem propriamente dita varia muito de situação de manejo e de como o nutriente pode interagir com a matéria orgânica. Como exemplos, temos o N orgânico que pode estar na forma aminada ou participando do anel heterocíclico; ou o Ca do sítio de troca, ligado por ligações eletrostáticas, ou o Ca fortemente ligado à matéria orgânica de uma forma não disponível às plantas, formando quelatos com as substâncias húmicas; ou o P imobilizado nas células microbianas; e mais uma infinidade de possibilidades.

No Rio Grande do Sul, Bayer et al. (1999) avaliaram a estabilidade da MOS em três solos diferentes, submetidos aos sistemas de plantio direto e preparo convencional do solo. As taxas de decomposição da MOS no sistema plantio direto variaram de 4,9 % no Podzólico Vermelho-Amarelo a 2,9 % no Podzólico Vermelho-Escuro e 1,2 % no Latossolo Roxo, e foram inversamente proporcionais aos teores de argila, óxidos de ferro e caulinita desses solos. No Podzólico Vermelho-Escuro a taxa de decomposição do MOS no preparo convencional foi 86 % maior que a verificada no plantio direto.

Entretanto, no Latossolo Roxo, que apresentava teores bem mais elevados de argila, caulinita e óxidos de ferro, a taxa de decomposição da MOS no preparo convencional foi apenas 17 % mais elevada que a do plantio direto. Estes resultados evidenciaram o maior efeito (em termos relativos) dos sistemas de manejo no teor de matéria orgânica em solos mais arenosos, e o importante papel da estabilização física da matéria orgânica em solos tropicais e subtropicais.

No sistema plantio direto ou alguns sistemas agroflorestais, o aporte constante de resíduos orgânicos ao solo favorece a ciclagem, independente da forma com que o nutriente esteja ligado à matéria orgânica do solo. Contudo, quando o aporte orgânico é dominado por material de baixa taxa de decomposição (ex. materiais ricos em lignina ou polifenóis e/ou, de elevada relação C/N e baixa concentração de nutrientes), ocorre o favorecimento do processo de humificação e, conseqüentemente, acúmulo de matéria orgânica e nutrientes nos compartimentos protegidos. Os nutrientes presentes nesses compartimentos servem como reserva do solo, visto que terão baixa taxa de mineralização e, conseqüentemente, menor disponibilidade às plantas. Por outro lado, quando no aporte orgânico há predomínio de materiais vegetais de rápida decomposição, ocorre favorecimento no aumento dos compartimentos não protegidos, acarretando ciclagem mais rápida dos nutrientes (Mendonça & Oliveira, 2000).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição da área de estudo

O Trabalho foi desenvolvido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) do Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC) na Chapada do Apodi, no município de Limoeiro do Norte (Ceará), distante 200Km de Fortaleza (Figura 1).

##### 3.1.1. Solo

O solo da área onde se realizou o presente trabalho foi classificado e descrito por Alencar (2002), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (1999), como Cambissolo Háplico Tb eutrófico latossólico por mediante a descrição de perfil situado a 200m da área de implantação do experimento. A descrição do perfil diagnóstico e características morfológicas do referido solo encontram-se no anexo. Esse solo é derivado de calcário arenítico e arenito calcífero da formação Jandaíra, do Grupo Apodi, referidos ao período do Cretáceo Superior (Brasil, 1973).

##### 3.1.2. Relevo

A Chapada do Apodi constitui um típico relevo de cuestas, de altura não muito pronunciada, com front voltado para a depressão do vale do Jaguaribe. Esse relevo varia de plano (declividade de 0 – 3%) a suave ondulado (declividade de 3 – 6%) (Brasil, 1973).



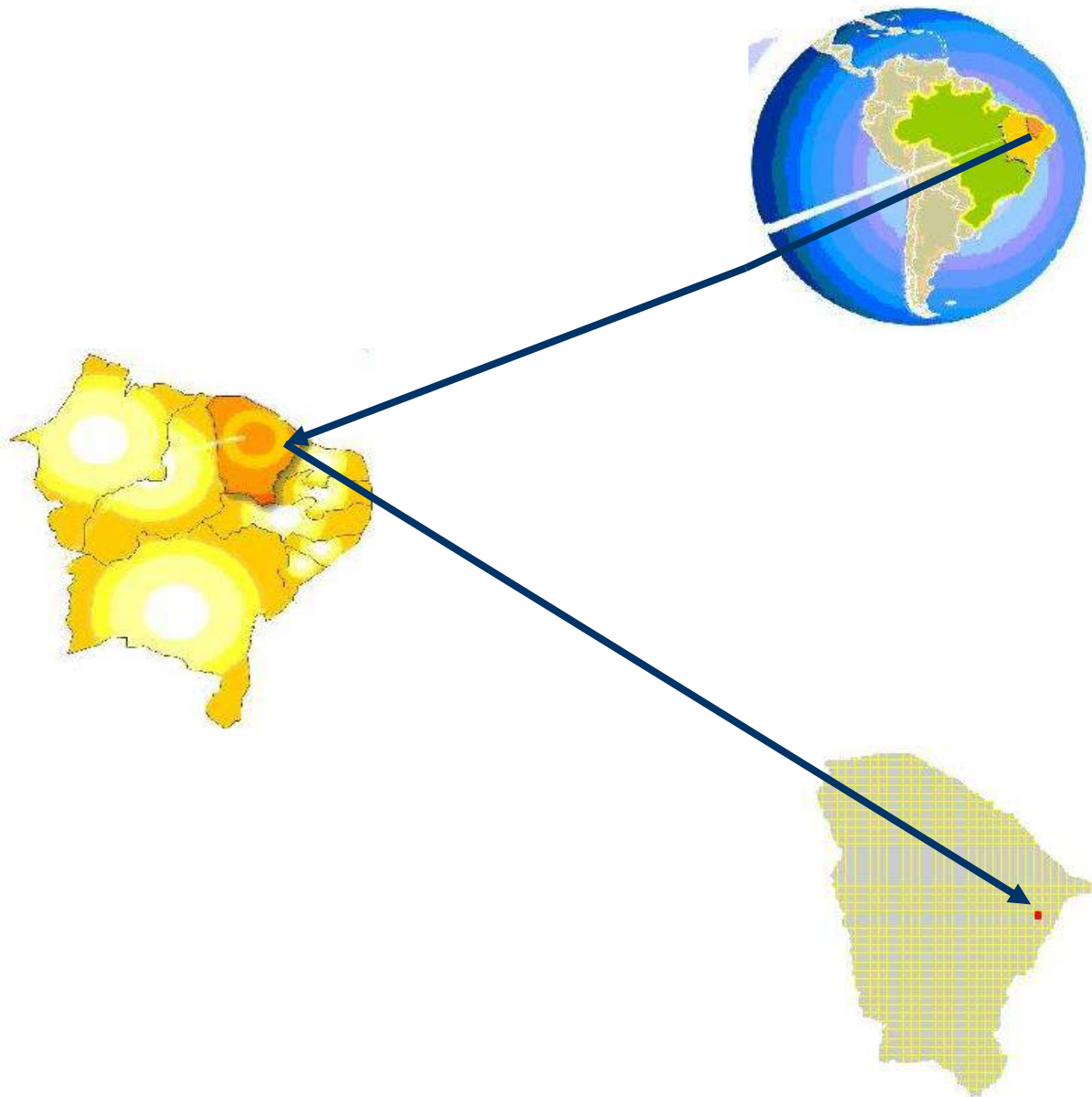


Figura 1. Localização da geográfica da área experimental. Adaptado de IBGE (2004) e Embrapa Monitoramento por satélite (2004).

### 3.1.3. Clima

A região apresenta, segundo a classificação de Koeppen, o tipo climático BSw`h`- (clima quente e semi-árido, com temperatura superior a 18°C no mês mais frio), caracterizado por precipitações insuficientes e irregulares, onde a média anual é de 700mm, com 7 a 8 meses secos. As temperaturas situam-se, em média, em torno de 29° C (Brasil, 1973).

### 3.1.4. Vegetação

A vegetação primitiva é caatinga hiperxerófila, constituída por imbuzeiro, pau-branco, marmeleiro, mufumbo, catinqueira, sabiá e macambira (Brasil, 1973). Observa-se atualmente na região da Chapada do Apodi, a degradação da Caatinga, com devastação total da vegetação primitiva em função da ação antrópica na área, com introdução da agricultura cíclica com cultivos de milho, feijão, algodão arbóreo, sorgo forrageiro (Figueiredo, 1995).

Na Chapada do Apodi vem se desenvolvendo, particularmente no distrito de irrigação Jaguaribe/Apodi – DIJA (5.394 ha), a agricultura irrigada com ênfase na fruticultura de exportação.

### 3.2. Histórico da área

Nos dois anos antecedentes ao experimento, a área vinha sendo cultivada no sistema convencional com a cultura do mamão (*Carica papaya* L.). Após esse período foi implantada na área a cultura do milho (*Zea mays* L.), com a variedade AG 1051, também em sistema convencional, com utilização de irrigação por aspersão.

O milho foi colhido manualmente, e suas folhas e colmos, retirados da área, quantificados para a utilização como cobertura morta na implantação do presente estudo. A quantidade de palha obtida, sob condições de campo, foi de 91,5 tonelada por hectare.

### 3.3. Metodologia de trabalho

#### 3.3.1. Trabalhos de campo

Após a etapa de quantificação da palha do milho, os tratamentos foram estabelecidos baseados na quantidade obtida, sendo assim as 91,45t ha<sup>-1</sup> de palha foram divididas em cinco quantidades diferentes, para serem utilizadas como cobertura morta, caracterizando os tratamentos a saber: tratamento 1 - testemunha, ou seja, sem palha em cobertura; tratamento 2 – 10t ha<sup>-1</sup> de palha; tratamento 3 – 11,45t ha<sup>-1</sup> de palha;

tratamento 4 – 12t ha<sup>-1</sup> de palha; tratamento 5 – 14,30t ha<sup>-1</sup> de palha e tratamento 6 - 45,85t ha<sup>-1</sup>.

Após a adição da palha, de acordo com os tratamentos, o plantio foi realizado mecanicamente com a utilização de trator adaptado para plantio direto na palha em uma área de 1869m<sup>2</sup> (Figuras 2).

O espaçamento adotado para a cultura foi de 0,85 x 0,33m, obtendo-se uma densidade de 26.966 pl ha<sup>-1</sup>. A área foi dividida em quatro blocos de 420m<sup>2</sup> (42 x 10m) onde foram distribuídos os tratamentos. Estes ocupam 24 parcelas de 70 m<sup>2</sup> (7 x 10m), sendo que a área útil para avaliação dos tratamentos foi de 40m<sup>2</sup> (8 x 5 m). Um esquema representativo da área experimental pode ser visto na Figura 3.

A adubação, uniforme para todos os tratamentos, foi realizada segundo a análise do solo e necessidade nutricional da cultura. Foram utilizados 45 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, aplicados na linha de plantio no momento da semeadura, como superfosfato simples e cloreto de potássio respectivamente. A adubação nitrogenada, na forma de uréia, distribuída na linha de plantio, foi realizada na semeadura e em cobertura aos 25 e 45 dias após a emergência do milho. Em cada aplicação nitrogenada foram distribuídos 25 kg ha<sup>-1</sup> de adubo.

As ervas daninhas foram controladas com capinas manuais nas parcelas com tratamento testemunha, e arrancado manualmente nas demais parcelas. O controle fitossanitário foi realizado com inseticida Dipterex, em duas pulverizações, para o combate da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*).



Figura 2. Foto do plantio do na área experimental, sobre a palha da cultura anterior.

### 3.3.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. A análise estatística dos dados constou da análise de variância, com aplicação do teste F. Para as variáveis onde o teste F foi significativo utilizou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias. As análises foram realizadas com o programa computacional Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG), desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa.

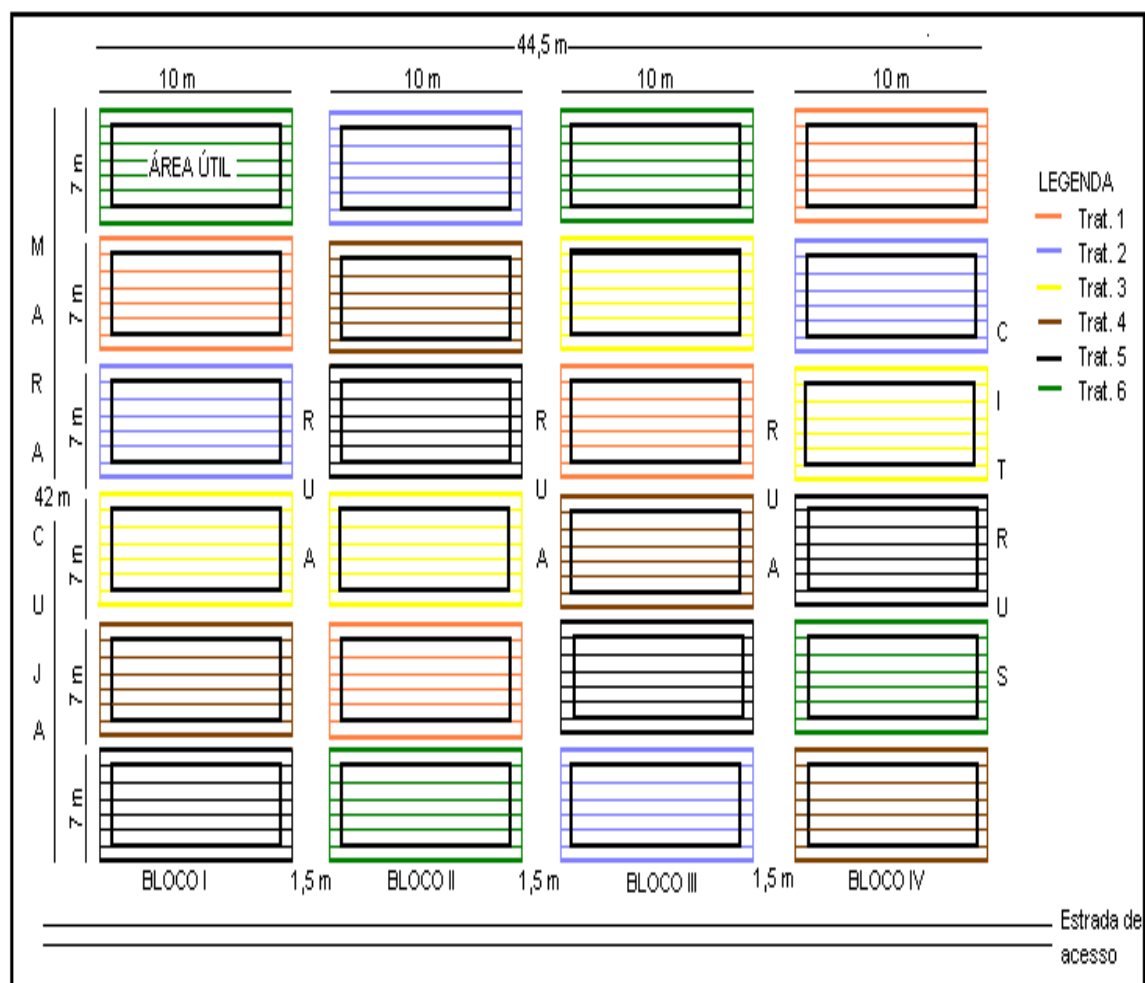


Figura 3. Esquema representativo da área experimental.

### 3.3.3. Trabalhos de laboratório

As amostras coletadas foram conduzidas aos Laboratórios de Análise de Solos da Universidade Federal do Ceará (UFC) e Laboratório de Análise de Solo e Água do Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC). Na UFC foram feitas as análises

químicas e análises físicas, exceto as análises de umidade das amostras deformadas obtidas no extrator de Richards, que foram realizadas no CENTEC – Unidade de Limoeiro do Norte.

### 3.3.3.1. Análises físicas

Nas análises físicas foram determinadas: argila total, argila dispersa em água, densidade das partículas, densidade do solo, porosidade (total, macro e micro) e estabilidade de agregados. Todas as determinações, baseadas nas metodologias contidas no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997), foram feitas em duplicata e os resultados expressos pela média aritmética.

Para obtenção da argila total e natural foi realizada análise granulométrica determinada pelo método da pipeta (Gee & Bauder, 1986), com dispersão de 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) através do hidróxido de sódio 1N e sem dispersante químico, respectivamente. As areias foram separadas em peneira de malha 0,053 mm de diâmetro, pesadas e descartadas, permanecendo a silte e argila, que foram separadas por sedimentação, conforme a Lei de Stokes. A partir do valor de argila total e natural o grau de floculação foi obtido por:  $GF = [(argila\ total - argila\ natural) / argila\ total] \times 100$ .

A densidade do solo foi determinada com amostras indeformadas de volume conhecido, retiradas na profundidade de 4,5 – 7,5cm, com amostrador de Uhland, após secagem a 105 °C até peso constante (Blake & Hartge, 1986b). A densidade das partículas foi determinada, pelo método do balão volumétrico, com amostras de solo deformadas e calculada através da equação:  $D_p = \text{Peso da amostra seca a } 105\text{ }^{\circ}\text{C} / (50 - \text{volume de álcool gasto})$  de acordo com Blake & Hartge (1986a).

A porosidade total ( $\alpha$ ) foi calculada pela fórmula  $\alpha = 1 - D_s / D_p$  conforme Kiehl, (1979). A microporosidade foi determinada com funil de Haines, mediante a aplicação de tensão de 6 kPa sobre as amostras, até que a água fosse drenada (Danielson & Sutherland, 1986). Em seguida, as amostras foram pesadas e secas em estufa a 105 °C até peso constante e, por diferença de massa de água, estimou-se o percentual de microporos.

Os pontos para a elaboração da curva característica de umidade foram obtidos através do funil de Haines para as tensões de equilíbrio de 0, 2, 4, 6, 8 e 10 kPa, a partir de amostras com estrutura indeformada, para as tensões de equilíbrio de 33, 50, 100, 500 e 1500 kPa, foram obtidos os demais pontos com extrator de placa porosa de

Richards (Klute, 1986). Os resultados para a elaboração da curva foram ajustados pelo programa SWCR, através do modelo matemático proposto por van Genuchten:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left(1 + (\alpha h)^n\right)^m} \quad \text{onde : } \theta_s \text{ é o conteúdo de água no solo na saturação;}$$

$\theta_r$  é o conteúdo de água no solo a 1,5 MPa, em  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  são parâmetros empíricos de ajuste (van Genuchten, 1980).

O método por via úmida foi adotado para a determinação da estabilidade de agregados (Kemper & Rosenau, 1986). As amostras foram agitadas em oscilador elétrico vertical, composto por dois conjuntos de peneiras com malhas de 2,0, 1,0, 0,5 e 0,25 mm de abertura. O teor de agregados retidos em cada peneira foi expresso em cinco classes de diâmetro, a saber: 4,00-2,00 mm, 2,00-1,00 mm, 1,00-0,50 mm, 0,50-0,25 mm e < 0,25 mm. Com base nos valores das cinco classes determinadas calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP).

### 3.3.3.2. Análises químicas

Em relação às análises químicas foram determinados: pH em água e cloreto de potássio. A condutividade elétrica no extrato de saturação do solo (C.E), fósforo assimilável, potássio, cálcio, magnésio, sódio, alumínio + hidrogênio, carbono orgânico e nitrogênio total. Foram estimadas a matéria orgânica (M.O), e calculadas relação carbono/nitrogênio (C/N), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V), percentagem de sódio trocável (PST). As análises químicas foram realizadas conforme metodologia adotada pela EMBRAPA (1997), com duas repetições e os resultados expressos pela média aritmética.

O pH em água foi determinado na relação solo-solução 1:2,5 com potenciômetro com eletrodo combinado marca Digimed DMPH-2. Os cátions trocáveis  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  foram extraídos com KCl 1M e determinados por titulação com EDTA 0,0125 M, na presença de negro de eriocromo T como indicador. O  $\text{Ca}^{2+}$  foi extraído com KCl 1M e determinado por titulação também com EDTA 0,0125 M, tendo murexida como indicador. O  $\text{Mg}^{2+}$  foi obtido por diferença [ $\text{Mg}^{2+} = (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{Ca}^{2+}$ ]. O  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foram extraídos através da solução Mehlich-1 e determinados com fotômetro de chama marca Micronal B 462. O fósforo assimilável foi extraído por Mehlich-1 e

determinado em fotocolorímetro, marca Perkin-Elmer Coleman 295, após redução do molibdato pelo ácido ascórbico.

Hidrogênio foi extraído com solução de KCl 1M, titulado com solução de NaOH 0,025 M em presença de fenolftaleína como indicador. A soma de bases foi calculada através da soma dos cátions:  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$ , em seguida a CTC, a percentagem saturação por bases e percentagem de sódio trocável foi obtida respectivamente pelas equações:  $\text{CTC} = \text{SB} + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$ ,  $V = (\text{SB}/\text{CTC}) \times 100$  e  $\text{PST} = (\text{Na}^+ \text{ trocável} / \text{CTC}) \times 100$ .

O carbono orgânico foi determinado pela oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio em presença de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal. O teor de matéria orgânica foi obtido pela conversão do carbono orgânico para matéria orgânica, através da relação  $\text{M.O} = \text{carbono orgânico} \times 1,724$ .

O nitrogênio foi determinado por digestão com ácido sulfúrico, catalizado por sulfato de cobre e sódio. Após essa etapa procedeu-se a destilação alcalina na forma amoniacal em balão de Kjeldahl, com recolhimento do destilado em solução de ácido bórico a 4%, seguindo-se titulação com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05 M. Com os valores de carbono e nitrogênio foi calculada a relação C/N.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Atributos Físicos

Os dados referentes aos atributos físicos estudados podem ser observados na tabela 1. Quanto aos valores referentes ao grau de floculação, os tratamentos revelam elevados valores, sem, no entanto mostrar diferença significativa entre eles. Esses valores refletem a relativa concentração de cátions presentes nesse solo, principalmente o cálcio que é conhecido pelo seu alto poder de floculação das partículas das argilas com cargas negativas. Os fundamentos dos mecanismos de floculação e dispersão das argilas é relatado por vários autores (Ferreira, 1999; Santos & Muraoka, 1999).

O cálcio (tabela 4), no entanto, embora alto, não diferiu significativamente entre os tratamentos e, assim, pode não ter provocado diferenças significativas no grau de floculação. Como o potássio apresentou diferença estatística (tabela 4), entre os tratamentos, poderia ser esperado diferenças no grau de floculação. No entanto, essas diferenças não provocaram alterações no grau de floculação, provavelmente por ser o potássio um íon monovalente e não tenha causado uma compressão da dupla camada eletrostática suficientemente significativa para provocar floculação das argilas.

Os valores médios de densidade do solo nos seis tratamentos avaliados são considerados elevados de acordo com Kiehl (1979); no entanto, para Reichardt (1990), estão dentro de uma faixa de amplitude considerada normal, não obstante, deve merecer



atenção no sentido da sua diminuição, para que não ocorram restrições futuras ao desenvolvimento das culturas.

Excetuando-se os tratamentos 2 e 4 todos os demais apresentaram médias relativamente maiores de densidade do solo quando comparadas com o tratamento 1. O fato da densidade do solo não ter sido sensível ao efeito das diferentes quantidades de cobertura morta adicionada ao solo, pode ser explicado pelo reduzido tempo de ação dos resíduos na alteração desse atributo. A diferença entre o menor valor de densidade (tratamento 2 e 4) e o maior valor (tratamento 3) é da ordem de 6,2%.

Tais diferenças podem, também, ser explicadas, pela variabilidade espacial dos solos, sendo independentes dos tratamentos aplicados. Considere-se que o tratamento testemunha difere dos demais apenas pela ausência de cobertura morta não sendo caracterizado como cultivo convencional. O efeito da palha em cobertura sobre propriedades internas do solo só se pronunciará em lapso de tempo bem superior ao permitido no experimento.

A maior densidade do solo nas camadas superficiais do plantio direto com relação ao sistema convencional foi encontrada por Silva & Mielniczuk (1998). Porém, valores encontrados por Eltz et al. (1997) de densidade do solo em diferentes sistemas de manejo não diferiram entre si na camada de 0,10-0,20 m.

Os valores encontrados de densidade de partículas, para todos os tratamentos avaliados, foram bem inferiores aos valores comumente adotados para solos minerais. Baixos valores de densidade de partículas, para o mesmo solo, também foram encontrados por Mota (2004). Estes valores encontrados são contraditórios com a mineralogia desse solo determinada por Alencar (2002), onde a fração areia apresenta predominantemente quartzo e concreções ferruginosas, a fração silte composta por quartzo e mica e a fração argila é, em sua maior parte, composta por caulinita apresentando também mica em sua constituição. Valores de mesma ordem numérica são observados em análise de rotina no laboratório de Solo e Água de CENTEC - Limoeiro (Ness, comunicação pessoal).

No que diz respeito à porosidade total, também não foi detectada diferença estatística e observa-se que, os valores encontrados para todos os tratamentos estão situados na faixa de 40 a 60%, que segundo Kiehl (1979) é comum para solos de textura média.

Tabela 1 - Caracterização de alguns atributos físicos do solo sob seis tratamentos.

Trat.	Grau de Flocculação	Densidade do solo	Densidade partículas	Porosidade total	Micro porosidade	Macro porosidade
	%	g.cm <sup>3</sup>	g.cm <sup>3</sup>	%	%	%
1	74a	1,38a	2,37a	49a	32a	17a
2	72a	1,35a	2,40a	49a	31a	18a
3	77a	1,44a	2,47a	47a	32a	16a
4	73a	1,35a	2,39a	49a	30a	18a
5	71a	1,42a	2,39a	46a	30a	16a
6	72a	1,43a	2,35a	47a	30a	17a

Em cada série de médias, valores seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No que diz respeito à porosidade total, também não foi detectada diferença estatística e observa-se que, os valores encontrados para todos os tratamentos estão situados na faixa de 40 a 60%, que segundo Kiehl (1979) é comum para solos de textura média. Quanto aos resultados de macro e microporosidade, verificou-se uma distribuição proporcional de macro:microporos relativamente dentro da ordem de 1:2. Esta relação é tida como ideal, apresentando boas condições de aeração e armazenamento de água.

Os resultados de macro e microporosidade enfatizam mais uma vez que o tempo não foi suficiente para proporcionar qualquer alteração na estrutura do solo. Apesar de pequenas diferenças nos seus valores absolutos, nenhuma diferença estatística foi constatada.

Presumivelmente, a matéria orgânica aplicada ao solo como cobertura morta não tenha tido nenhum efeito sobre estes parâmetros físicos do solo devido, principalmente, ao fator tempo, uma vez que é necessário que a matéria orgânica seja decomposta e, uma vez que a palha foi colocada em superfície, que os polímeros orgânicos provenientes da decomposição possam ser translocados no solo e atingir a profundidade onde foram coletadas as amostras de solo para análise.

Este tempo necessário para transformação e translocação da matéria orgânica, fazendo com que ela funcione como condicionadora do solo, é em virtude dos resíduos vegetais e animais não serem igualmente atacados nem decompostos de uma só vez. A formação dos agregados é dependente de dois processos distintos (Kiehl, 1979): a flocculação das partículas sólidas do solo (que pode ocorrer por forças mecânicas que

provoquem aproximação das partículas do solo e por forças eletrostáticas) e por cimentação da unidade estrutural, a qual se realiza depois da decomposição dos tecidos vegetais por ação biológica dos microorganismos, com decomposição das moléculas orgânicas complexas e a reorganização dos produtos da degradação formando complexos organo-minerais provocando alterações satisfatórias no espaço poroso do solo.

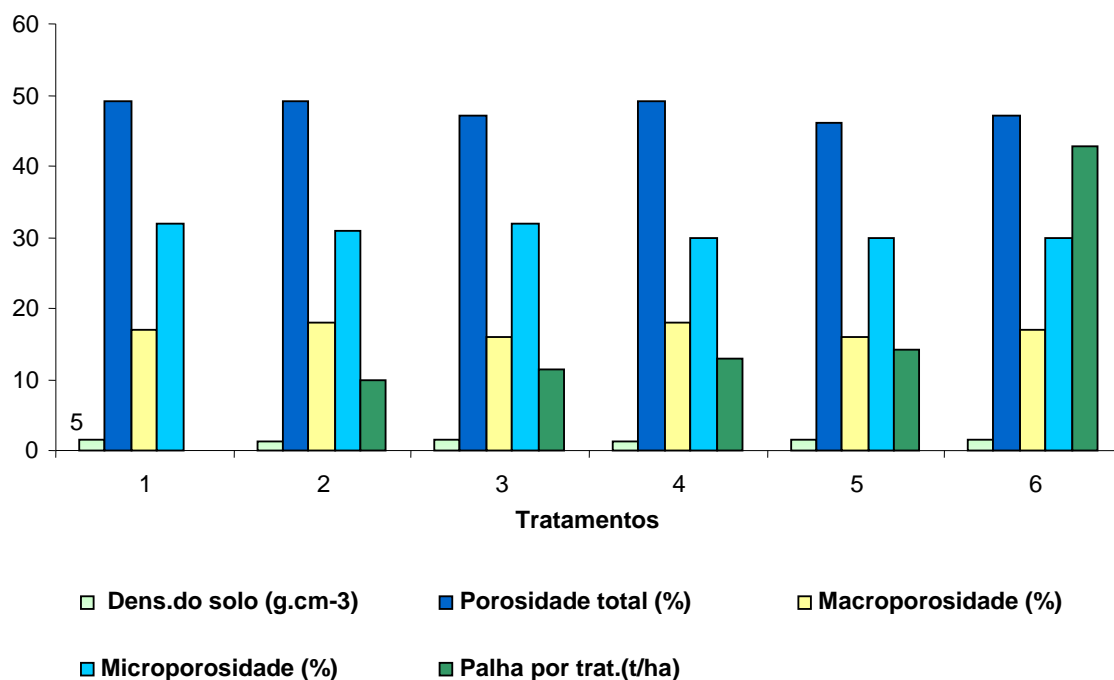


Figura 4. Representação da relação palha adicionada, densidade do solo, porosidade total e macro e microporosidade.

Os dados referentes à estabilidade de agregados em água relacionando os tratamentos em função das classes de diâmetros dos agregados, bem como a relação dessas classes dentro de cada tratamento e o diâmetro médio ponderado (DMP) estão apresentados nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

Quando se analisam os dados obtidos avaliando os tratamentos dentro de cada classe de agregados e o DMP, percebe-se que mesmo sem diferença significativa entre eles, ocorre uma variação nos valores do tratamento 1 em relação aos demais. A maior concentração de agregados estáveis ocorreu nas classes de maiores diâmetros (4,76-2,00 e 2,00- 1,00). Observa-se que na primeira classe os tratamentos 3, 4 e 6 (classe 4,76-2,00) quando comparados com o 1, apresentam valores superiores, na ordem de 36%, 18% e 16%, respectivamente; na classe de 2,00-1,00, percebe-se que os tratamentos

com maiores quantidades de cobertura (tratamento 5 e 6) foram os que apresentaram maiores quantidades de agregados estáveis em relação ao primeiro tratamento, sendo seus valores superiores na ordem de 34% e 28%, respectivamente.

Nas classes 1,00-0,50; 0,50-0,025 e <0,25, a relação da quantidade de cobertura com os agregados estáveis também pode ser notada, principalmente pelos valores dos tratamentos 5 e 6 comparados com o tratamento 1. Respectivamente, para estas classes a diferença percentual entre os valores absolutos é da ordem de (70% e 72%); (55% e 50%), e (59% e 27%) nos referidos tratamentos.

Tabela 2. Estabilidade de agregados em água (tratamentos em função das classes)

Trat.	Classes de agregados ( $\phi$ mm)					DMP
	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,50	0,50-0,25	< 0,25	
	g.kg agreg <sup>-1</sup>					mm
1	365,5a	350,6a	81,4a	38,3a	164,0a	1,84a
2	380,3a	319,6a	83,1a	36,7a	180,2a	1,85a
3	500,9a	269,7a	72,9a	30,1a	125,4a	2,17a
4	434,4a	320,5a	63,6a	24,2a	157,2a	2,02a
5	352,2a	470,2a	57,1a	21,6a	98,9a	1,94a
6	424,1a	451,5a	59,2a	19,2a	45,9a	2,18a

Em cada série de médias, valores seguidos pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Pelos dados observados na tabela 2, pode-se dizer que esse solo possui uma boa estabilidade de agregados. Os valores encontrados evidenciam a atuação dos óxidos de ferro presentes nesse solo, atuando como agente cimentante, originando agregados mais estáveis. Vários autores ressaltam a atuação dos óxidos de ferro e alumínio na forma coloidal, na estabilização da estrutura, principalmente em solos onde o aporte de matéria orgânica é baixo (Kiehl, 1979; Buckman & Brady, 1983; Goldberg, 1989 e Resende et al., 1995).

Outro critério adotado para avaliar a boa estabilidade de agregados de um solo é o DMP, que em todos os tratamentos situaram-se acima do valor indicado (0,5mm) para uma alta estabilidade. Entretanto, deve-se observar que este índice é recomendado por não se ter conhecimento de valores absolutos que possam levar a uma correta

interpretação através da análise de agregados, indicando com fidelidade quando um solo possui, ou não boas propriedades físicas (Kiehl, 1979).

Apesar de não ter sido observada diferença estatística entre os tratamentos, nota-se uma diferença de 18% maior entre o tratamento 6 e o tratamento 1. Entretanto, deve-se considerar que a maior percentagem de agregados situa-se nas maiores classes de diâmetro, mantendo essa proporção para o DMP.

Tabela 3. Estabilidade de agregados em água (classes em função de tratamentos).

Classes de agregados ( $\phi$ mm)	Tratamentos					
	1	2	3	4	5	6
	g.kg agreg <sup>-1</sup>					
4,76-2,00	365,5a	380,3a	500,9a	434,4a	470,2a	451,4a
2,00-1,00	350,6a	319,6a	269,7b	320,5ab	52,2b	424,1a
1,00-0,50	81,4b	83,1bc	72,9c	63,6c	57,1c	45,9b
0,50-0,25	38,3b	36,7c	30,0c	24,2c	21,6c	19,2b
< 0,25	164,0b	180,2b	126,3c	157,2bc	98,9c	59,3b

Em cada série de médias, valores seguidos pela mesma letra na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Já os resultados obtidos analisando as classes de diâmetro dos agregados dentro de cada tratamento, evidenciaram diferenças significativas. Para os tratamentos 1, 2, 4 e 6 quantidades equivalentes de agregados situam-se nas classes de maior diâmetro (4,76-2,00 e 2,00-1,00). Percentualmente estão em torno de 71%, 70% e 87% respectivamente. Para o tratamento 3 os agregados estáveis estão em maior quantidade também nas maiores classes, porém não mantêm as mesmas proporções entre elas. No tratamento 5 houve uma praticamente uma concentração de agregados estáveis na primeira classe, mantendo uma diferença percentual com a menor classe de 57%. Em linhas gerais, pode-se perceber uma tendência de agregados estáveis aumentarem nos tratamentos onde houve adição de resíduos orgânicos. Esse fato pode ser melhor visualizado quando se observa os valores da classe < 0,25mm, onde houve uma diminuição suave e decrescente dos agregados tendo como percentuais (3,8; 3,6; 3,0; 2,4; 2,1 e 1,9%).

Os resultados obtidos de diâmetro médio ponderado, carbono orgânico são apresentados na figura 4. Sendo a matéria orgânica considerada por muitos pesquisadores como o principal agente de estabilização dos agregados do solo (Tisdall & Oades, 1982; Castro Filho et al., 1998; Gang Lu et al., 1998), com uma alta correlação

entre essa e a agregação do solo um resultado satisfatório é geralmente esperado em tratamentos que apresentem diferenças no teor de carbono orgânico. No entanto, do ponto de vista da estatística, os resultados encontrados neste estudo, não confirmaram as afirmativas destes autores, pois o aumento do conteúdo de carbono orgânico não se refletiu em diferenças significativas no diâmetro médio de agregados.

Porém, percebe-se que o tratamento 6 foi aquele que apresentou maior quantidade de carbono orgânico como também maior valor do DMP comparando-se com o tratamento 1 e apesar de estatisticamente não se observar diferença entre os tratamentos em relação a esse índice, seus valores nos tratamentos com cobertura, são no geral, maiores do que no tratamento 1.

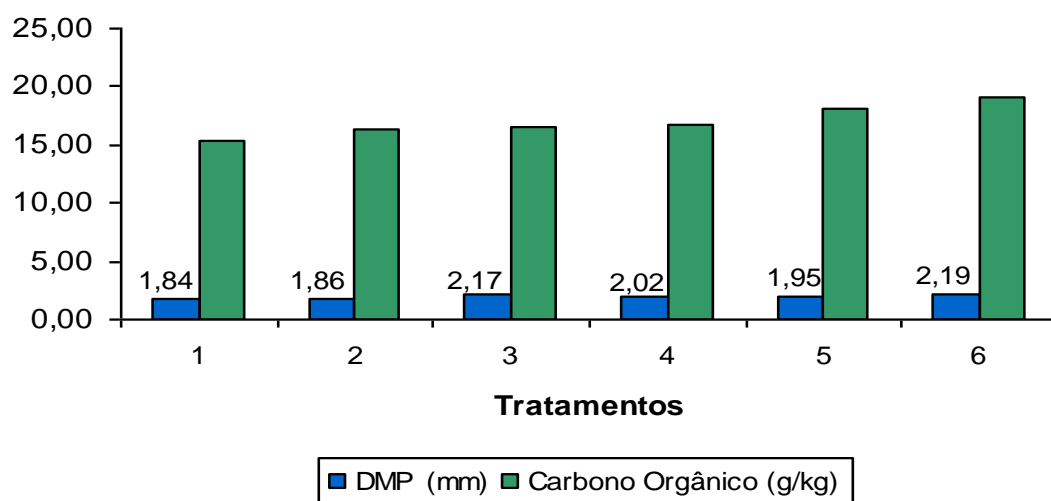


Figura 5. Representação da relação do DMP com o Carbono orgânico.

Na figura 5, diferenças suaves podem ser observadas quanto aos conteúdos de água mantendo estreita relação com a textura e estrutura do solo através das curvas características de cada tratamento, pois elas representam na verdade o aspecto dinâmico da água no solo, por refletir com nitidez a distribuição de poros do solo.

Em potenciais altos, percebe-se a influência da distribuição de poros, apresentando uma retenção de água relativamente alta. Porém em baixos potenciais a influência da superfície específica das partículas do solo começam a ser percebidas, uma vez que a retenção de água em todos os tratamentos com adição de palha de milho

foi superior ao tratamento 1, evidenciando o efeito desse material no aumento da umidade do solo.

As curvas de todos os tratamentos descrevem praticamente o mesmo comportamento, se sobrepondo na região capilar, começando a se diferenciar a baixos potenciais, pode-se vê nitidamente que o tratamento 1, no referido potencial, foi o que apresentou menores conteúdos de água.

Independente de sua função como condicionadora da estrutura do solo, a matéria orgânica por si aumenta a superfície específica do solo, aumentando como consequência, a retenção de água de adsorção. Isto fez com que a capacidade de água disponível tenha apresentado uma pequena diminuição nos tratamentos com palha em relação à testemunha (tratamento 1).

Como visto na tabela 1, a matéria orgânica ainda não modificou a estrutura do solo, interpretada a partir dos valores de densidade, porosidade total, macro e microporosidade. Quando, em um tempo futuro, a atuação da matéria orgânica como condicionadora da estrutura do solo se fizer pronunciar, a retenção de água por capilaridade, provavelmente poderá ser maior nos solos tratados com palha.

O aumento no carbono mostrado na figura 4 pode explicar esse pequeno deslocamento à direita, na faixa de baixa tensão, das curvas relativas aos tratamentos com palha.

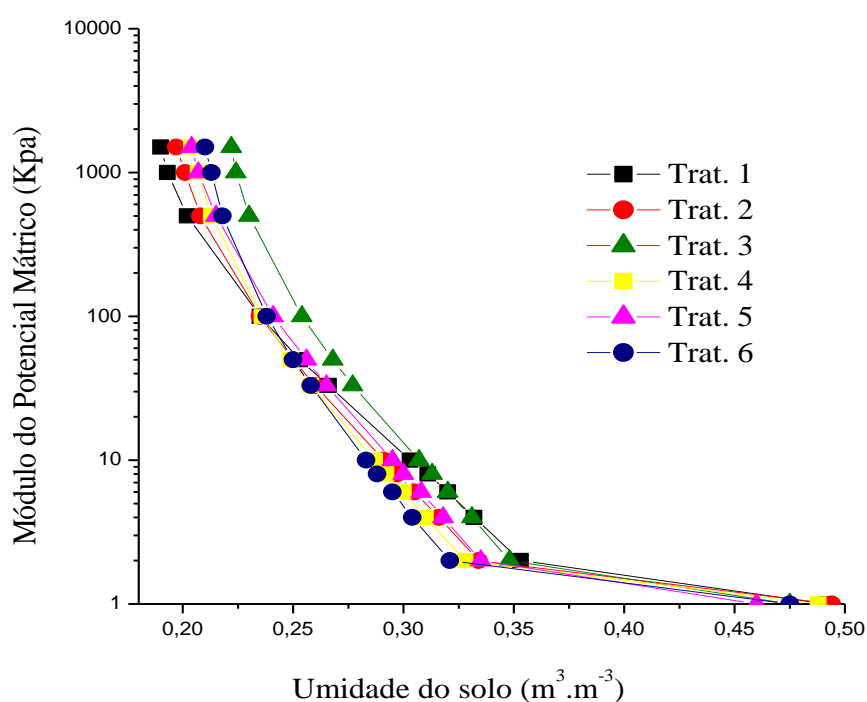


Figura 6. Curvas características de umidade do solo nos diferentes tratamentos.

#### 4.2. Atributos Químicos

Os dados referentes aos atributos químicos avaliados nos seis tratamentos estão na tabela 4.

Quanto aos valores de pH obtido em água, verificou-se entre alguns tratamentos diferença significativa. De acordo com a classificação da EMBRAPA (1999), o solo sob os tratamentos 1, 2, 3, 5 e 6 apresentam pH moderadamente alcalino; para o tratamento 4 o pH é considerado neutro.

Para o pH obtido em KCl, os valores obtidos foram menores do que o pH em água, apresentando caráter moderadamente ácido para o tratamento 4 e os demais tratamentos avaliados, ficaram na categoria de praticamente neutro. Estes valores de pH determinados em KCl menores que os obtidos em água é perfeitamente explicável, que caracteriza o predomínio de cargas líquidas negativas presentes nesse solo..

Esses níveis de pH são decorrentes, principalmente, dos altos teores das bases trocáveis encontradas no solo e da ausência dos íons alumínio e hidrogênio. Segundo Malavolta (1980) quando o pH é ligeiramente alcalino, tendendo a alcalino, como é o caso, em geral, dos tratamentos avaliados, o desenvolvimento das culturas pode ser prejudicado devido à baixa disponibilidade do fósforo.

Os valores de condutividade elétrica (CE) encontrados em todos os tratamentos, situaram-se bem abaixo do estabelecido pela EMBRAPA (1999) que é de  $4 \text{ dSm}^{-1}$  para caracterizar um solo como salino. O  $\text{Na}^+$  apresentou níveis baixos e, por consequência, o percentual de saturação de sódio (PST) também, revelando assim baixo potencial desse solo para problemas de salinidade, desde que não haja restrições quanto à drenagem. Segundo Santos & Muraoka (1997) o excesso de sódio nos solos, da mesma forma que o estresse osmótico, também pode reduzir a população microbiana, fazendo com que a taxa de mineralização seja baixa diminuindo, assim, a liberação de enxofre e nitrogênio da matéria orgânica para as plantas.

Na figura 7, pode-se observar a relação entre a quantidade de palha adicionada, pH e a quantidade de fósforo por tratamento. Avaliando os teores de fósforo, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Para o tratamento 1, era de se esperar valores bem inferiores aos demais tratamentos, tendo em vista que nele não houve adição de palha. Esse fato confronta com várias pesquisas que evidenciam a disponibilidade de fósforo e a matéria orgânica (Muzilli, 1983; Sidiras & Pavan, 1985).



Tabela 4. Caracterização química do solo sob diferentes tratamentos.

Trat.	Complexo Sortivo													
	pH H <sub>2</sub> O	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	V	CO <sup>(1)</sup>	MO <sup>(2)</sup>	N	Rel C/N
	mg.kg <sup>-1</sup>		-----cmol.c.kg <sup>-1</sup> -----						%	-----g.kg <sup>-1</sup> -----				
1	7,7 ab	6a	10,1a	3,8a	0,23a	0,85 b	1,9a	14,98a	16,88a	89a	15,43c	26,60c	6,4a	2,5b
2	7,9 a	7a	10,7a	3,5a	0,22a	0,97 ab	1,4a	15,39a	16,79a	92a	16,41c	28,29bc	2,9b	5,9b
3	7,5 ab	11a	9,6a	3,5a	0,23a	0,82 b	1,9a	14,15a	16,05a	88a	16,57c	28,57bc	3,0b	5,9b
4	7,0 c	11a	9,5a	3,8a	0,26a	0,99 ab	1,8a	14,55a	16,35a	89a	16,76bc	28,89bc	3,1b	5,7b
5	7,4 b	10a	9,5a	3,0a	0,22a	1,10 a	1,2a	13,82a	15,02a	92a	18,08ab	31,16ab	2,8b	6,5b
6	7,4 b	8a	10,1a	3,5a	0,23a	0,98 ab	1,5a	14,81a	16,31a	91a	19,14a	33,00a	1,9b	11,6a

<sup>(1)</sup> carbono orgânico; <sup>(2)</sup> matéria orgânica.

Em cada série de médias, valores seguidos pela mesma letra na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Este resultado pode ser explicado duas razões: 1) pela importância das argilas caulinita e dos óxidos de ferro e alumínio, na adsorção do fósforo, por expor  $\text{OH}^-$  em suas arestas e ao longo de suas estruturas cristalinas respectivamente. 2) associado ao efeito não pronunciado da matéria orgânica, pela competição dos ânions orgânicos com os íons fosfatos nos sítios adsorção, e que o húmus forma complexo com óxidos de Fe e Al, evitando a disponibilidade destes para reter fósforo, deixando-o mais disponível para as plantas, devido ao reduzido tempo de ação desse material vegetal (Moreira, 2001).

Quanto à influência do pH na disponibilidade do fósforo, também não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, mesmo em naqueles onde a determinação do pH em água não detectou diferença nos tratamentos avaliados em relação ao teor de fósforo, seguindo a tendência de alguns estudos que afirmam que essa relação entre pH e disponibilidade do fósforo é mais influenciada pelo equilíbrio desse elemento na solução do solo do que pelo pH.

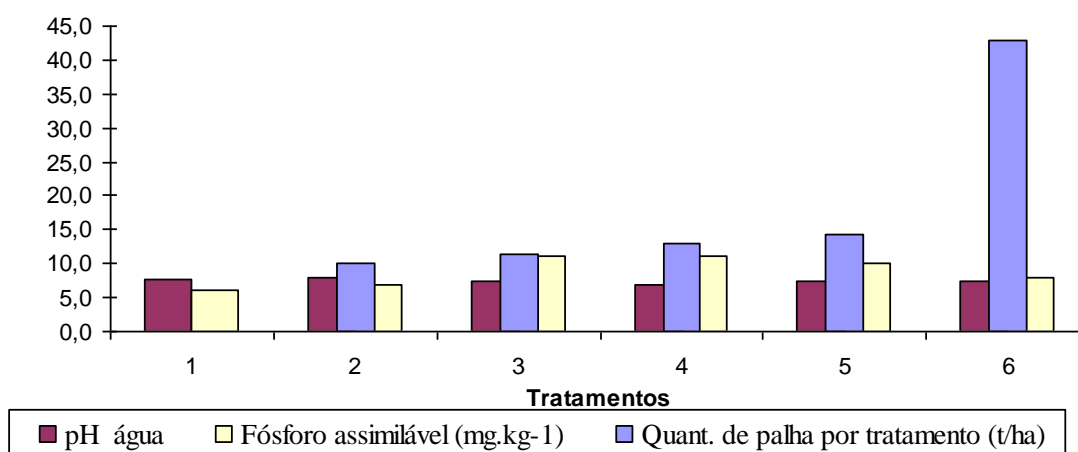


Figura 7. Relação entre a quantidade de palha adicionada, pH e a quantidade de fósforo por tratamento.

Os resultados referentes ao complexo sortivo, apresentados na Tabela 2, podem-se dizer que, em geral, na maior parte da área estudada sob os seis tratamentos o desenvolvimento da cultura do milho, bem como de outras a serem cultivadas no local do presente estudo, não é prejudicado pela deficiência de cálcio, magnésio e potássio, nem com a fitotoxidez provocada pelo sódio através do efeito salino e por extensão os valores referentes a soma de bases, CTC desse solo, e percentagem de saturação de

bases, sob os diversos tratamentos, não apresentaram diferença significativa entre eles. Os valores encontrados para esses atributos foram altos e são em função do tipo de material de origem desse solo, caracterizando uma riqueza de considerável de bases, principalmente nos teores de cálcio que predomina em relação aos demais elementos, uma vez que em toda a área de estudo o teor de matéria orgânica é considerado baixo (Tabela 1) e que o tempo de mineralização da matéria orgânica adicionada para o presente estudo, com possíveis disponibilização de nutrientes, não foi suficiente para a obtenção de tais valores.

Observando os teores de potássio, percebe-se que foi o único elemento que apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Entretanto, os valores referentes ao potássio em relação aos tratamentos, não guardam relação com a quantidade de palha adicionada (figura 8), constatando que a diferença pode ser devido à presença da mica nesses solos, podendo disponibilizar potássio para a solução do solo, sendo pronunciada nos tratamentos pela variabilidade espacial do solo e não pela quantidade de palha adicionada. Lemos et al. (1997) e Alencar (2002), nos estudos de perfis de Cambissolos na Chapada do Apodi, atribuíram os valores relativamente altos de potássio à reciclagem da vegetação como também à decomposição da mica na superfície.

Observou-se diferença significativa nos teores de carbono orgânico (CO) e matéria orgânica do solo (MOS), entre os tratamentos avaliados. Salienta-se, entretanto, que este aumento foi restrito à camada superficial do solo (0-10 cm) analisada, e foi maior no tratamento 6, onde havia uma maior quantidade de palha adicionada do que no tratamento 1 – testemunha, a diferença entre os tratamentos foi relacionada ao maior aporte de resíduos vegetais, uma vez que os tratamentos 2, 3 e 4 apesar de diferirem estatisticamente do tratamento 6, mantiveram uma relação com o tratamento 1, demonstrando que a quantidade de palha adicionada nesses tratamentos, em relação ao tempo de avaliação do estudo, não foi suficiente para diferirem da testemunha.

O tratamento 1 por sua vez, apesar de ter se diferenciado dos tratamentos com maior adição de resíduos vegetais, obteve-se valores altos de CO, não refletindo a média dos valores geralmente encontrados para solos dessa região, onde são cultivados sem adição de matéria orgânica. Esse fato pode ser explicado pelo não revolvimento do solo, apresentou um aumento expressivo nos estoques de CO em relação à condição inicial Tabela 1, onde esses valores são decorrentes não da adição de resíduos e sim da reduzida taxa de perda deles.

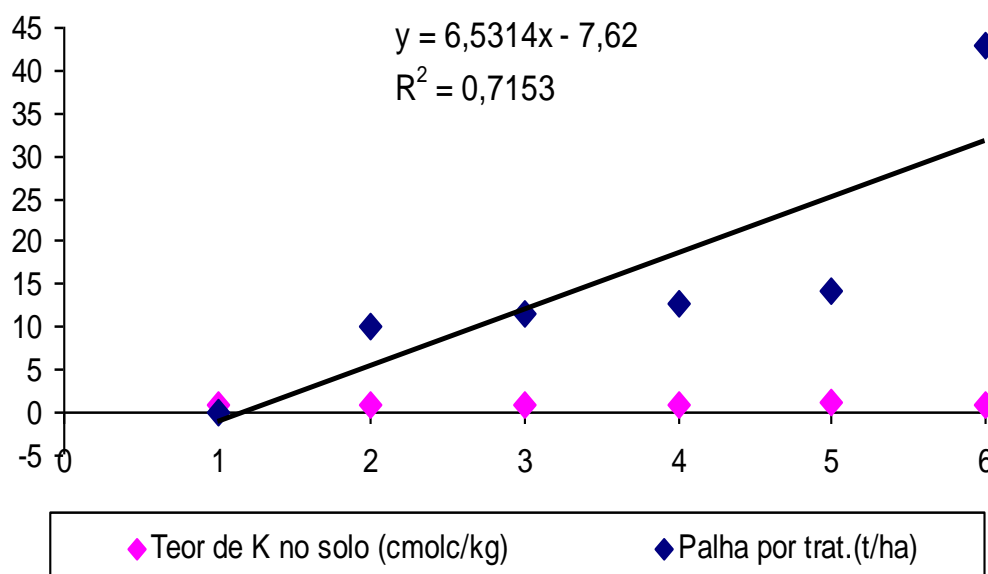


Figura 8. Correlação entre os teores de potássio e a quantidade de palha adicionada, nos seis tratamentos avaliados.

Em relação ao tratamento 5, os teores de CO estatisticamente estão no limiar entre a maior quantidade de CO adicionada ao solo e valores intermediários de adição desse elemento, necessitando de um período maior de avaliação. Estes resultados evidenciam que existe uma interação entre os sistemas de preparo e de cultura em relação aos estoques de CO do solo. Neste sentido, quando associado a sistemas de culturas com maiores adições de resíduos orgânicos, o plantio direto apresenta uma maior acúmulo líquido de CO no solo em comparação ao preparo convencional.

Segundo Bayer (1996) encontram-se na literatura diversos resultados relacionados ao acúmulo de matéria orgânica no solo em sistema de plantio direto semelhantes aos apresentados. Em sua maioria, demonstram que o processo de acúmulo é lento e necessita longo prazo para serem observadas diferenças expressivas entre sistemas de manejo.

Os conteúdos de nitrogênio total e relação C/N demonstraram pela análise estatística diferença significativa entre os teores de N do tratamento 1 em relação aos demais, sendo esses valores inferiores aos encontrados na testemunha. Esses dados refletem o quanto o nitrogênio é dinâmico no solo.

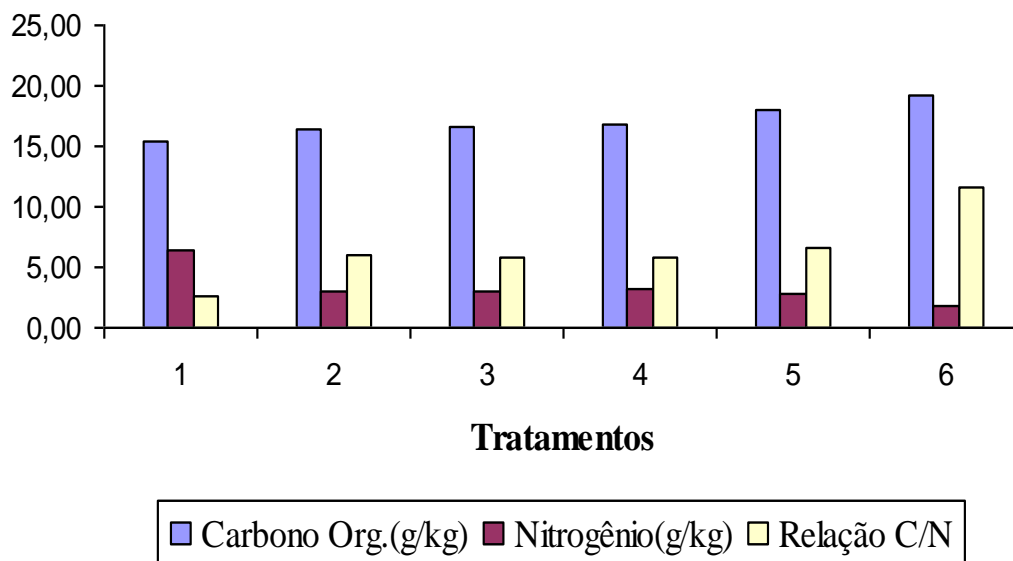


Figura 9. Comparação dos teores de carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N nos seis tratamentos avaliados.

O fato dos resultados indicarem menores teores de nitrogênio nos tratamentos com cobertura morta pode ser explicado por dois fatores: o N-orgânico pode estar continuamente sendo mineralizado e os microorganismos do solo podem estar imobilizando o  $\text{NO}_3^-$  formado. Contudo, sistemas de manejo, como o plantio direto, que priorizam o aporte de matéria orgânica ao solo devem favorecer um aumento significativo dos compartimentos não protegidos (Mendonça & Oliveira, 2000). Os nutrientes presentes nos compartimentos não protegidos têm uma taxa de ciclagem rápida, ficando prontamente disponíveis às plantas ou sendo perdidos por lixiviação (principalmente o N), dependendo do sincronismo entre taxa de mineralização e absorção de nutrientes pelas plantas. Outro aspecto a ser considerado é o fato é a grande facilidade de lixiviação desse elemento, tendo em vista que o experimento foi conduzido sob irrigação, e a matéria orgânica nos tratamentos mantém a umidade elevada nessa camada superficial, provocando a lavagem do nitrogênio. Estes resultados são semelhantes aos de Muzilli (1983) que verificou que no plantio direto a disponibilidade de N foi menor do que no convencional e associa este fato ao movimento descendente da água, provocando maior lixiviação de nitrogênio, devido neste sistema se ter maior disponibilidade de umidade.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados no presente estudo permitiram chegar as seguintes conclusões:

1) A palha colocada em cobertura não provocou alterações na densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade; pequenas modificações foram observadas na estabilidade dos agregados entre os tratamentos, devido principalmente ao efeito dos óxidos de ferro presentes nesse solo do que à matéria orgânica; as variações na retenção de umidade estão relacionadas muito mais à superfície específica das partículas do solo do que à estruturação.

2) Houve diferenças entre os tratamentos nos teores de potássio, provavelmente pelo material de origem e a variabilidade espacial desse solo no experimento não guardando relação com a quantidade de palha adicionada; o carbono orgânico e matéria orgânica também apresentaram diferença entre os tratamentos..

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-EL-MALEK, Y., MONIB., M., GOHAR, M.R., RIZK, S.G., ANTOUN, G.G. Decomposition of organic matter under different conditions with special reference to changes in plant nutrients. In: SYMPOSIUM ON SOIL ORGANIC MATTER STUDIES, v.1, 1977, Vienna. Soil organic matter studies. Austria: IAEA, 1977. p.183-195.
- AITA, C.; FRIES, M.R. & GIACOMINI, S.J. Ciclagem de nutrientes no solo com plantas de cobertura e dejetos de animais. In: FERTBIO, 25., Santa Maria, 2000. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. CD-ROM
- ALENCAR, E.L.L. de. Química e mineralogia de três pedons originário de calcário da Chapada do Apodi-CE/Fortaleza, 2002. 83p.
- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; REUDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo de solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. R. Bras. Ci. Solo, 19:115-119, 1995.
- ALLISON, F.E. Soil organic matter and its role in soil production. Soil Science, p.147-150. 1973.
- ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. R. Bras. Ci. Solo, 10:273-277, 1986.

- ALVES, M.C. Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo: efeitos nas propriedades físicas e químicas. Piracicaba, ESALQ,1992. 173p. (Dissertação de Mestrado).
- AMADO, T.J.C. & MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:553-560, 2000.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:179-189, 2000.
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Estudos FAO:Irrigação e Drenagem, 29 Revisado1. Tradução de: Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F. de & Damasceno, F.A.V. Campina Grande, UFPB,1991. 218p.
- BALESDENT, J.; MARIOTTI, A.; YAMASAKI, S. & BOUTTON, T. W., Measurement of soil organic matter turnover using <sup>13</sup>C natural abundance. 2000.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. R. Bras. Ci. Solo, 22:641-649, 1998.
- BASTARDO, H., ESTEVES, A., FLORES, D. A. Desaparición de materia-orgánica en un bosque cultivado de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, en Venezuela. In REGIONAL COLLOQUIUM ON SOIL ORGANIC MATTER STUDIES, 1982, Piracicaba. Proceedings of the Regional Colloquium on Soil Organic Matter Studies. Piracicaba: ENA/PROMOCET, 1982. P.65-71.
- BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas conservacionistas de manejo de solos. Porto Alegre, UFRS, 1996 245p. (Tese de Doutorado).
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetados por métodos de preparo e sistemas de cultura. R. Bras. Ci Solo, 21:105-112, 1997a.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Conteúdo de nitrogênio total num solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 21:235-239, 1997b.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & MARTIN-NETO, L. Alterações da matéria orgânica associada a frações minerais induzidas pelo manejo do solo no sul do Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3, Santa Maria, 1999. Anais. Santa Maria, UFSM/Departamento de Solos, 1999. p.125-134.



- BAVER, L.D.; GARDNER, W.R. & GARDNER, W. R. Soil structure: Classification and genesis. In: BAVAR, L.O.; GARDNER, W. H. & GARDNER, W. R. Soil physics. New York John Wiley, p. 130-177, 1973.
- BERNSTEIN, L. Effects of salinity and sodicity on plant growth. Annual Review of Plant Pathology, Stanford, 13:295-312, 1975.
- BERTOL, I & BAYER, C.. Características químicas de um Cambissolo húmico afetados por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. Pesq. Agropec. Bras., 23:678-684, 1999.
- BERTONI, J. Conservação do solo. São Paulo:Ícone, 4ª ed., 1999.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.) Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986a. pt. 1, p.363-375. (Agronomy Monography, 9).
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A. (ed.) Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986b. pt. 1, p.377-382. (Agronomy Monography
- BRASIL. Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Recife, Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. Convênios MA/DNPA – SUDENE/DRN, MA/CONTAP/USAID/ETA, 1973. 502P. (Boletim Técnico, 28).
- BUCKMAN, H. O. & BRADY, N. C. Natureza e propriedade dos solos. Trad. de A. B. de Figueiredo Filho. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 6. ed., 1983. 647 p.
- BURLE, M.L.; MIELNICZUK, J & FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. Plant Soil, 190:309-316,1997.
- CASANELLAS, J.P.; REGUERÍN, M.L.; LABURU, C.R. de. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid: Mundi-Prensa, 2.ed., 1999. 849p.
- CAMPOS, B.C de; REINERT, D.J.; NICOLO de, R.: RUEDELL, J.L PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro distrófico após 7 anos de rotação de cultura e sistemas de manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 19: 121-126, 1995.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 14:99-105, 1990.

- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. R. Bras. Ci. Solo, 22:527-538, 1998.
- CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M.F. & FONSECA, I.C.B. Aggregate stability under different soil management systems in a Red Latosol in the state of Paraná, Brazil. Soil Till. Res., 65:45-51, 2002.
- CINTRA, L. F. D.; MIELNICZUK, J. & SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 7: 323-327, 1983.
- COLEMAN, D.C.; HENDRIX, P.F.; BEARE, M.H.; CROSSLEY, D.A.; HU, S. & VLIET, P.C.J.V. The impacts of management and biota on nutrient dynamics and soil structure in sub tropical agroecosystems: Impacts on detritus food webs. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R. & GRACE, P.R., eds. Soil biota management in sustainable farming systems. Soil Biol, 1994. p.133-143
- CONAB. Milho. Disponível: <http://www.conab.gov.br/download/sureg/ce/conjunturamilho.doc>. Acesso em 15maiode2004a.
- CONAB. Previsão e acompanhamento da safra 2002/2003/2004 Quarto Levantamento abril 2004. Disponível: [http://www.conab.gov.br/download/safra/safra20032004\\_Lev04.pdf](http://www.conab.gov.br/download/safra/safra20032004_Lev04.pdf). Acesso em 26maiode2004b.
- CORREIA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do estado do Amazonas. Pesq. Agropec. Bras., 20 (11): 1317-1322, 1985.
- DANIELSON, R.E. & SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. (ed.) Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. parte. 1, p.443-461. (Agronomy Monography, 9).
- DAROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E. PETRERE, C.; CADORÉ, M. A. & PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. R. Bras. Ci. Solo, 21:241-247, 1997.
- DeMARIA, I.L.; NnABUDE, P.C. & CASTRO, O.M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. Soil & Tillage Res., 51:71-79, 1999.
- ELLIOTT, E.T., Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. Soil Sci. Sot. Am. J. 50, 627-633. 1986.

- 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*, 13::259-267, 1989.
- EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. Disponível em <<http://www.cdbrasil.cnpem.embrapa.br/rn>>. Acesso em 24 março de 2004.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1997. 412p.
- ERNANI, P.R. & BARBER, S.A. Corn growth and changes of soil and root parameters as affected by phosphate fertilizers and liming. *Pesq. Agropec. Bras.*, 26(9):1309-1314, 1991.
- EVANS, A.J. R. The adsorption of inorganic phosphate by a sandy soil as influenced by dissolved organic compounds. *Soil Sci.*, 140:251-255, 1985.
- FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDYAMA, C.S.; SILVA, A.A. & FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1097-1104, 2003.
- FASSBENDER, H.W. Química de suelos con énfasis em suelos de América Latina. 2ª ed. San José, 1994. 418p.
- FERREIRA, P.A. Aspectos físico-químicos do solo. In: Gheyi, H. R.; Queiroz, J.E.; & Medeiros, J. F. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997. cap. 2 p.289-317.
- FERREIRA, L.G.R. Fisiologia vegetal: relações hídricas. Fortaleza: edições UFC, 1988. 139p.
- FIGUEIREDO, M. A. Vegetação. In: Atlas do Ceará. Fortaleza: IPLANCE. 1995.
- FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34 : 2267-2276, 1999.
- GANG, L.U.; SAKAGAMI, K.; TANAKA, H. & HAMADA, R. Role of soil organic matter in stabilization of water-stable aggregates in soils under different types of land use. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 44:147-155, 1998.
- GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. parte. 1, p.383-411. (Agronomy Monography, 9).

- GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E. & MEDEIROS, J. F. (Editores), Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997, 383p.
- GOLDBERG, S. Interaction of aluminum and iron oxides and clay minerals and their effect on soil physical properties. *Soil Sci.* 20:1181-1207, 1989.
- GUPTA, V.V.S.R. & GERMIDA, J.J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregation size classes as affected by cultivation. *Soil Biol.* 20:777-786, 1988.
- HAYNES, R.J., SWIFT, R.S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *J. Soil Sci.* 41, 73-83. 1991.
- HILLEL, D. Solo e água. 1972. 288p.
- IBGE. Conjuntura atual do milho. Disponível: <http://www.ibge.gov.br> . acesso em 16 maio de 2004.
- IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: Adubação Verde no Brasil. Fundação CARGILL. 1983. p. 232-267.
- JORGE, J.A. Solo - manejo e adubação: compêndio de edafologia. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1983. 316p.
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. parte. 1, p.425-442. (Agronomy Monography, 9).
- KER, J.C. mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços em Latossolos do Brasil. Viçosa, UFV, 181p. 1995. (Tese de Doutorado).
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia. Relações solo-planta. São Paulo: Ed. Agron. Ceres, 1979. 262p.
- KLAR, A.E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo: Nobel, 1982. 408p.
- KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:395-401,1995.
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt. 1, p.635-662. (Agronomy Monography, 9).
- LEMOES, R.C. & SANTOS, R.D. dos. Manual de descrição e coleta do solo no campo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1996. 84p.

- LEMOS, M. do S. da S.; CURI, N.; MARQUES, J.J.G. de S. e M.; ERNESTO SOBRINHO, F. Evaluation of characteristics of Cambisols derived from limestone in low tablelands in Northeastern Brazil: Implications for management. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:825-834, 1997
- MACHADO, T. A.; SOUZA, D. M. P. & BRUM, A. C. R. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 5:187-189, 1981.
- MENDONÇA, E. de S., & OLIVEIRA, F.H.T. de., Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. *Anais do 1º Simpósio sobre fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto. Associação de Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais*, 2000. p. 70-81.
- MIELNICZUK, J. Rotação de culturas e níveis críticos de biomassa sobre o solo. In: *ENCONTRO SOBRE O PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE*, Pato Branco, 1998. Anais. CD-ROM.
- MOTA, J.C.A. Caracterização física, química e mineralógica, como suporte para o manejo, dos principais solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi-RN/Fortaleza, 2004. 96p. (Dissertação de Mestrado).
- MOREIRA, F.L.M. Influência de atributos físicos, químicos e mineralógicos sobre a capacidade de adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. Fortaleza: UFC, 2000. 68p. (Dissertação de mestrado).
- MOREIRA, R.N.de S. Decomposição das palhadas de sorgo e milho, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto Lavras:UFLA, 2001. 90p. (Dissertação de Mestrado).
- MUZILLI, O. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *R. Bras. Ci. Solo.*, 7:95-102, 1983.
- NAYAK, C.D., VARADACHARI, C., GHOSH, K. Studies on microbial decomposition of humic substances as affected by clay-humus complexation. *J. Indian Soil Sci. Soc.*, v.38, p.738-741, 1990.
- OADES, J.M., The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, 5: 35-70, 1988.
- OLIVEIRA, J.R.A.; MENDES, I.C. & VIVALDI, L. Biomassa microbiana de carbono em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. *R. Bras. Ci. Solo.*, 25:863-871, 2001.
- PALADINI, F.L.S. & MIELNICZUK, J. Distribuição do tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistema de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:135-140, 1991.

- PEREIRA, I.S.; RESCK, D.V.S.; GUEDES, H.M.; SILVA, J.E. & CASTRO, L.H.R. Efeito de diferentes sistemas de manejo na distribuição de macro e microagregados e no teor de carbono orgânico em Latossolo Vermelho-Escuro na região dos cerrados, Brasil. SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO , 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANAS,1., Brasília, 1996. Anais. Pesq. Agro. Bras.,1996. p.367-371.
- PITOMBEIRA, J.B. Cultura do milho. UFC/Dep.de Fitotecnia, 2004. 45p. (Apostila)
- QUAGGIO, J.A. Reação do solo e seu contorle. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1. Piracicaba, 1986: anais/Campinas : Fundação Cargill, 1986. p. 53-90.
- RAIJ, B. van. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. Campinas: IAC, 1967. 67p. (Tese de doutorado).
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo.; Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991.
- REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Fundação Cargill, 4.ed., 1985. 445p.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Editora Manole Ltda., 1990. 188p.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; RESENDE, S.B. de; CORRÊA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1995. 304p.
- RESENDE, J. O. Compactação e adensamento do solo, metodologia para a avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1997. CD-ROM
- RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C. & SANTOS, E.J.S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 22:713-721, 1998.
- SANTOS, R.V.; & MURAOKA, T. Interações salinidade e fertilidade do solo. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (editores) Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. cap. 9, p.289-317.
- SANTOS, H.P. & TOMM, G.O. Rotação de culturas para cevada, após dez anos: efeitos na fertilidade do solo. Ciência Rural, 28:573-580, 1998.

- SANTOS, H.P. & TOMM, G.O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. *Ciência Rural*, 29:259-265, 1999.
- SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. & LHAMBY, J.C.B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:449-454, 1995.
- SHANG, C. & TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. *Soil Sci.*, 162:795-807, 1997.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:249-254, 1985.
- SILVA, A.P. & KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soil from properties on management. *Soil. Sci. Am. J.*; 61: 877-883, 1997.
- SILVA, I. F; & MIELNICZUK, J. Sistema de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:311-317, 1998.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:249-254, 1985.
- SOLLINS, P., HOMANN, P., CALDWELL, B.A. Stabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma*, v.74, p.65-105, 1996.
- THENG, B.K.G., TATE, K.R., SOLLINGS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C., OADES, J.M., UEHARA, G. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Hawaii:NiftAL Project, 1989. p.5-32
- TAN, K.H. Principles of soil chemistry/ New York: Marcel Dekker, 3<sup>a</sup> ed. 1998. 521p.
- TEIXEIRA, L. A.J.; TESTA, U. M. & MIELNICZUK, J. Nitrogênio no solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:207-214, 1994.
- TESTA, U. M.; TEIXEIRA, L. A.J & MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:107-114, 1992.
- TISDALL, J.M. & OADES, L.M. Organic matter and water stable aggregates in soil. *J. Soil. Sci.*, 33:141-163, 1982.
- TRIPLETT Jr., G.B. & DOREN Jr., D. M.V. Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of non-tilled maize. *Agr. J.*, 61:637-639, 1969.
- WILD, A. The retention of phosphate by soil. *J. Soil. Sci.* 1:221-238, 1950.

- VAN GENUCHTEN, M.TH. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:892-897, 1980.
- VIEIRA, M.J.; COGO, N.P. & CASSOL, E.A. Perdas por erosão, em diferentes sistemas de preparo do solo, para a cultura da soja (*Glycine max L.*). *R. Bras. Ci. Solo*, 2:209-214, 1978.
- VIEIRA, M.J. & MUZILLI, Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec.Bras.*, 19:873-882, 1984.
- ZECH, Z., SENESI, N., GUGGENBERGER, G., KAISER, K., LEHMANN, J., MIANO, T.M., MILTNER, A., SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79:69-116, 1997.



# APÊNDICE

## A. Análise de variância dos atributos físicos estudado nos seis tratamentos.

### Análise granulométrica

#### Areias

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	15394.54	3078.908	3.623	0.02388
REP	3	2191.564	730.5215	0.860	*****
Resíduo	15	12746.85	849.7898		

Coeficiente de Variação = 5.479

#### T U K E Y

Variável = AREIASGK ( 849.7899 )

TRAT	Dados	Médias	Comparações 5%
5	4	580.8773	A
6	4	544.5338	A B
4	4	527.8041	A B
1	4	518.8831	A B
3	4	518.4100	A B
2	4	501.5336	B

-----  
 $Q(.050, 15) = 4.600$  Dms = 67.0477

#### Silte

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	170.5700	34.11401	0.068	*****
REP	3	1674.199	558.0664	1.106	0.37766
Resíduo	15	7571.633	504.7755		

Coeficiente de Variação = 13.291

#### Argila

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	14244.62	2848.923	2.516	0.07609
REP	3	2817.303	939.1011	0.829	*****
Resíduo	15	16986.50	1132.433		

Coeficiente de Variação = 11.256

#### Grau de floculação

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	83.76843	16.75369	1.392	0.28253
REP	3	4.583712	1.527904	0.127	*****
Resíduo	15	180.5257	12.03505		

Coeficiente de Variação = 4.728

#### Densidade de partículas

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	0.3419672E-01	0.6839344E-02	2.049	0.12943
REP	3	0.1258482E-01	0.4194941E-02	1.257	0.32462
Resíduo	15	0.5006828E-01	0.3337886E-02		

Coeficiente de Variação = 2.409

**Densidade do solo**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	0.3520238E-01	0.7040476E-02	1.305	0.31365
REP	3	0.1161100E-01	0.3870334E-02	0.717	*****
Resíduo	15	0.8091467E-01	0.5394312E-02		

Coeficiente de Variação = 5.258

**Porosidade total**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	0.3350000E-02	0.6700000E-03	0.977	*****
REP	3	0.1401667E-02	0.4672222E-03	0.682	*****
Resíduo	15	0.1028233E-01	0.6854889E-03		

Coeficiente de Variação = 5.449

**Macroporosidade**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	0.2675514E-02	0.5351027E-03	0.387	*****
REP	3	0.2212107E-02	0.7373689E-03	0.534	*****
Resíduo	15	0.2071456E-01	0.1380970E-02		

Coeficiente de Variação = 21.608

**Microporosidade**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	0.2107652E-02	0.4215305E-03	0.861	*****
REP	3	0.2389723E-02	0.7965744E-03	1.627	0.22518
Resíduo	15	0.7344198E-02	0.4896132E-03		

Coeficiente de Variação = 7.172

**DMP**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	0.4481833	0.8963667E-01	1.996	0.13776
REP	3	0.8456667E-01	0.2818889E-01	0.628	*****
Resíduo	15	0.6737833	0.4491889E-01		

Coeficiente de Variação = 10.579

**Estabilidade de agregados****Classe 1**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	61052.11	12210.42	1.859	0.16173
REP	3	14200.63	4733.544	0.721	*****
Resíduo	15	98528.39	6568.560		

Coeficiente de Variação = 19.788

**Classe 2**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	127437.7	25487.55	2.673	0.06397
REP	3	8927.368	2975.789	0.312	*****
Resíduo	15	143021.0	9534.735		

**Classe 3**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	2526.262	505.2524	0.877	*****
REP	3	109.2280	36.40933	0.063	*****
Resíduo	15	8641.129	576.0753		

Coeficiente de Variação = 34.493

**Classe 4**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	1277.830	255.5660	2.731	0.06003
REP	3	302.9311	100.9770	1.079	0.38777
Resíduo	15	1403.446	93.56308		

Coeficiente de Variação = 34.111

**Classe 5**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	49819.01	9963.802	2.641	0.06625
REP	3	2512.398	837.4661	0.222	*****
Resíduo	15	56586.24	3772.416		

Coeficiente de Variação = 47.693

**Tratamento 1**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
CLASSE	4	366342.2	91585.55	14.227	0.00017
REP	3	0.1909422E-25	0.6364740E-26	0.000	*****
Resíduo	12	77247.43	6437.286		

Coeficiente de Variação = 40.116

**T U K E Y**

Variável = AGREG (6437.286)

CLASSE	Dados	Médias	Comparações 5%
1	4	365.5211	A
2	4	350.6682	A
5	4	164.0561	B
3	4	81.4031	B
4	4	38.3516	B

-----  
 $Q(.050, 12) = 4.510$  Dms = 180.9247

**Tratamento 2**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
CLASSE	4	350151.0	87537.76	31.248	0.00000
REP	3	0.2689549E-24	0.8965162E-25	0.000	*****
Resíduo	12	33616.72	2801.393		

Coeficiente de Variação = 26.464

## T U K E Y

Variável = AGREG (2801.393)

CLASSE Dados Médias Comparações 5%

1	4	380.3557	A
2	4	319.5916	A
5	4	180.1838	B
3	4	83.1510	B C
4	4	36.7179	C

-----  
Q(.050, 12)= 4.510 Dms = 119.3531**Tratamento 3**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
CLASSE	4	583453.0	145863.3	73.713	0.00000
REP	3	0.3534097E-25	0.1178032E-25	0.000	*****
Resíduo	12	23745.72	1978.810		

Coeficiente de Variação = 22.242

## T U K E Y

Variável = AGREG ( 1978.810 )

CLASSE Dados Médias Comparações 5%

1	4	500.9238	A
2	4	269.7123	B
5	4	126.3877	C
3	4	72.9115	C
4	4	30.0646	C

-----  
Q(.050, 12)= 4.510 Dms = 100.3110**Tratamento 4**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
CLASSE	4	483179.5	120794.9	13.187	0.00024
REP	3	0.3792591E-25	0.1264197E-25	0.000	*****
Resíduo	12	109918.1	9159.842		

Coeficiente de Variação = 47.854

## T U K E Y

Variável = AGREG (9159.842)

CLASSE Dados Médias Comparações 5%

1	4	434.3982	A
2	4	320.5335	A B
5	4	157.2094	B C
3	4	63.6389	C
4	4	24.2200	C

-----  
Q(.050, 12)= 4.510 Dms = 215.8194**Tratamento 5**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
CLASSE	4	634533.0	158633.3	59.252	0.00000
REP	3	0.1479373E-24	0.4931243E-25	0.000	*****
Resíduo	12	32127.23	2677.269		

Coeficiente de Variação = 25.871

**T U K E Y**

Variável = AGREG (2677.269)

CLASSE	Dados	Médias	Comparações 5%
2	4	470.2155	A
1	4	352.1621	B
5	4	98.9086	C
3	4	57.1287	C
4	4	21.5851	C

-----  
 $Q(.050, 12) = 4.510$  Dms = 116.6790

**Tratamento 6**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
CLASSE	4	758733.6	189683.4	39.533	0.00000
REP	3	0.7023765E-25	0.2341255E-25	0.000	*****
Resíduo	12	57577.59	4798.133		

**T U K E Y**

Variável = AGREG ( 4798.133 )

CLASSE	Dados	Médias	Comparações 5%
2	4	451.4581	A
1	4	424.1175	A
3	4	59.2758	B
5	4	45.9443	B
4	4	19.2042	B

-----  
 $Q(.050, 12) = 4.510$  Dms = 156.2006

B. Análise de variância dos atributos físicos estudado nos seis tratamentos.

**PHH2O**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	2.008021	0.4016042	10.126	
REP	3	0.3594792	0.1198264	3.021	0.06262
Resíduo	15	0.5948958	0.3965972E-01		

Coeficiente de Variação = 2.650

**T U K E Y**

Variável = PHH2O ( 0.3965972E-01)

TRAT	Dados	Médias	Comparações 5%
2	4	7.9500	A
1	4	7.7125	A B
3	4	7.5250	A B
5	4	7.4500	B C
6	4	7.4500	B C
4	4	7.0000	C

Q(.050, 15)= 4.600 Dms = 0.4580

**PHKCL**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	0.5783333	0.1156667	2.308	0.09608
REP	3	0.2883333	0.9611111E-01	1.918	0.17006
Resíduo	15	0.7516667	0.5011111E-01		

Coeficiente de Variação = 3.337

**CE**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	0.4452888E-01	0.8905775E-02	1.029	0.43573
REP	3	0.1320299E-01	0.4400998E-02	0.509	*****
Resíduo	15	0.1298060	0.8653735E-02		

Coeficiente de Variação = 18.142

**Sódio**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	0.5010677E-02	0.1002135E-02	2.596	0.06962
REP	3	0.1342448E-02	0.4474826E-03	1.159	0.35789
Resíduo	15	0.5790365E-02	0.3860243E-03		

Coeficiente de Variação = 8.424

**Fósforo**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	91.95833	18.39167	0.733	*****
REP	3	43.04167	14.34722	0.572	*****
Resíduo	15	376.4583	25.09722		

Coeficiente de Variação = 55.922

**Potássio**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	0.2296313	0.4592625E-01	3.883	0.01856
REP	3	0.3090938E-01	0.1030313E-01	0.871	*****
Resíduo	15	0.1774125	0.1182750E-01		

Coeficiente de Variação = 11.425

T U K E Y

Variável = K (0.1182750E-01)

TRAT	Dados	Médias	Comparações 5%
5	4	1.1175	A
4	4	0.9975	A B
6	4	0.9806	A B
2	4	0.9431	A B
3	4	0.8475	B
1	4	0.8250	B

Q(.050, 15)= 4.600 Dms = 0.2501

**Hidrogênio + Alumínio**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	1.542284	0.3084568	3.181	0.03726
REP	3	0.5087085	0.1695695	1.749	0.20002
Resíduo	15	1.454329	0.9695526E-01		

Coeficiente de Variação = 18.724

T U K E Y

Variável = HAL ( 0.9695526E-01)

TRAT	Dados	Médias	Comparações 5%
1	4	1.9594	A
3	4	1.9091	A
4	4	1.8475	A
6	4	1.5086	A
2	4	1.4644	A
5	4	1.2890	A

Q(.050, 15)= 4.600 Dms = 0.7162

**Cálcio**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	4.477188	0.8954375	1.570	0.22822
REP	3	6.842813	2.280938	3.999	0.02817
Resíduo	15	8.556563	0.5704375		

Coeficiente de Variação = 7.595

T U K E Y

Variável = CA ( 0.5704375 )

REP	Dados	Médias	Comparações 5%
4	6	10.7500	A
1	6	10.1000	A B
2	6	9.5000	A B
3	6	9.4250	B



$Q(.050, 15) = 4.080$  Dms = 1.2580

### Magnésio

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	2.045312	0.4090625	2.237	0.10417
REP	3	0.7458333E-01	0.2486111E-01	0.136	*****
Resíduo	15	2.742604	0.1828403		

Coeficiente de Variação = 12.045

### Carbono orgânico

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	35.10401	7.020803	7.369	0.00114
REP	3	14.89272	4.964239	5.210	0.01153
Resíduo	15	14.29182	0.9527880		

Coeficiente de Variação = 5.720

#### 1) T U K E Y

Variável = CORG ( 0.9527881 )

TRAT	Dados	Médias	Comparações 5%
6	4	19.1416	A
5	4	18.0754	A B
4	4	16.7582	B C
3	4	16.5726	B C
2	4	16.4093	B C
1	4	15.4291	C

$Q(.050, 15) = 4.600$  Dms = 2.2450

#### 2) T U K E Y

Variável = CORG ( 0.9527881 )

REP	Dados	Médias	Comparações 5%
2	6	18.0923	A
3	6	17.1765	A B
4	6	17.1122	A B
1	6	15.8766	B

$Q(.050, 15) = 4.080$  Dms = 1.6259

### Matéria orgânica

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	104.3353	20.86706	7.369	0.00114
REP	3	44.26378	14.75459	5.210	0.01153
Resíduo	15	42.47781	2.831854		

Coeficiente de Variação = 5.720

#### T U K E Y

Variável = MATORG ( 2.831854 )

TRAT	Dados	Médias	Comparações 5%
6	4	33.0002	A
5	4	31.1620	A B
4	4	28.8912	B C
3	4	28.5712	B C
2	4	28.2895	B C
1	4	26.5999	C

$Q(.050, 15) = 4.600$  Dms = 3.8705

#### T U K E Y

Variável = MATORG ( 2.831854 )

REP Dados Médias Comparações 5%

2 6 31.1910 A

3 6 29.6123 A B

4 6 29.5013 A B

1 6 27.3713 B

$Q(.050, 15) = 4.080$  Dms = 2.8030

#### Nitrogênio

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	48.14833	9.629667	18.465	0.00000
REP	3	1.457500	0.4858333	0.932	*****
Resíduo	15	7.822500	0.5215000		

Coefficiente de Variação = 21.503

#### T U K E Y

Variável = N ( 0.5215000 )

TRAT Dados Médias Comparações 5%

1 4 6.3875 A

4 4 3.1375 B

3 4 3.0125 B

2 4 2.9500 B

5 4 2.7875 B

6 4 1.8750 B

$Q(.050, 15) = 4.600$  Dms = 1.6609

#### Relação C/N

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	169.9211	33.98423	11.415	0.00011
REP	3	13.09974	4.366579	1.467	
Resíduo	15	44.65839	2.977226		

0.26355

Coefficiente de Variação = 27.052

#### T U K E Y

Variável = RELCN ( 2.977226 )

TRAT Dados Médias Comparações 5%

6 4 11.5939 A

5 4 6.5087 B

2 4 5.9772 B

3 4 5.8896 B

4 4 5.7208 B

1 4 2.5797 B

$Q(.050, 15) = 4.600$  Dms = 3.9686

**Soma de bases**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	6.515914	1.303183	1.685	0.19889
REP	3	9.433859	3.144620	4.065	0.02674
Resíduo	15	11.60284	0.7735226		

Coeficiente de Variação = 5.992

**T U K E Y**

Variável = S ( 0.7735226 )

REP Dados Médias Comparações 5%

4	6	15.6204	A
1	6	14.8713	A B
2	6	14.1658	A B
3	6	14.0579	B

Q(.050, 15)= 4.080 Dms = 1.4649

**CTC**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	8.796064	1.759213	1.579	0.22565
REP	3	7.644376	2.548125	2.287	0.12028
Resíduo	15	16.70997	1.113998		

Coeficiente de Variação = 6.459

**Percentagem de saturação de bases**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	5	47.73585	9.547171	4.180	0.01404
REP	3	24.30001	8.100003	3.547	0.04037
Resíduo	15	34.25764	2.283842		

Coeficiente de Variação = 1.682

**1)T U K E Y**

Variável = V ( 2.283843 )

TRAT Dados Médias Comparações 5%

5	4	91.5822	A
2	4	91.3101	A
6	4	90.8047	A
4	4	88.7713	A
1	4	88.3806	A
3	4	88.2477	A

Q(.050, 15)= 4.600 Dms = 3.4758

**2)T U K E Y**

Variável = V ( 2.283843 )

REP Dados Médias Comparações 5%

4	6	91.4595	A
3	6	89.9152	A B
1	6	89.1686	A B
2	6	88.8545	B

Q(.050, 15)= 4.080 Dms = 2.5172

## **A N E X O S**

## **A. DESCRIÇÃO GERAL**

CLASSIFICAÇÃO – Cambissolo Háplico Tb eutrófico latossólico

DATA – 13/02/2001

UNIDADE DE MAPEAMENTO –

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADA – Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) do CENTEC na chapada do Apodi. Limoeiro do Norte.

Ceará. 5° 10' 57,1" LS e 38° 00' 45,1" WGr.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira aberta no topo da Chapada do Apodi, com aproximadamente 2% de declividade, em área recém desmatada.

ALTITUDE – 135m.

LITOLOGIA – rochas calcárias.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Jandaíra.

CRONOLOGIA – Cretáceo.

RELEVO REGIONAL – Plano suave ondulado e ondulado.

EROSÃO – Ligeira.

DRENAGEM – bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMITIVA – Caatinga hiperxerófila.

USO ATUAL – Sem uso.

CLIMA – BSw'h' da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR – Emerson Leopoldo Lima de Alencar e Francisco Ocian Bastos Mota.

## B. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 – 15cm, bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmido e 2,5 YR 3/4, seco); franco-argilosa, fraca, pequena a média, blocos subangulares; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

AB 15 – 32cm, bruno-avermelhado (2,5YR 4/4, úmido) e vermelho (2,5 YR 4/6, seco); argila; moderada, pequena a média, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

Bi 32 – 70cm, vermelho (2,5 YR 4/6, úmido e 2,5 YR 4/8, seco); muito argilosa; moderada, média, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

BC 70 – 106cm, vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmido) e vermelho (2,5 YR 4/8, seco); muito argilosa; moderada a forte, média, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

C/R 106 – 126cm, amarelo-oliva (5Y 6/8, úmido e 5 Y 6/6, seco); muito argilosa; a forte, média a grande, blocos subangulares; dura, firme, plástica e pegajosa.

R 126cm +