

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO -UEMA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
MESTRADO EM AGROECOLOGIA

**MELHORAMENTO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DE UM ARGISSOLO DE  
SÃO LUÍS E SEU EFEITO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO  
ALGODOEIRO (*Gossypium hirsutum*)**

**Maria Nasaret Machado Moraes Segunda**

São Luís  
2003

Universidade Estadual do Maranhão  
BIBLIOTECA CENTRAL  
Doação

Biblioteca - UEMA  
Agroecologia

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
MESTRADO EM AGROECOLOGIA

**MELHORAMENTO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DE UM ARGISSOLO DE  
SÃO LUÍS E SEU EFEITO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO  
ALGODOEIRO (*Gossypium hirsutum*)**

**Maria Nasaret Machado Moraes Segunda**

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura

Dissertação apresentada à Universidade  
Estadual do Maranhão – UEMA, para  
obtenção do título de Mestre em  
Agroecologia

São Luís – Ma  
2003

Biblioteca - UEMA  
Agroecologia

Moraes Segunda, Maria Nasaret Machado

Melhoramento das condições físicas de um argissolo de São Luís e seu efeito sobre o desenvolvimento do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) / Maria Nasaret Machado Moraes Segunda – São Luís, 2003.  
35 f.:il.

Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Estadual do Maranhão, 2003.

1. Cultivo em aléias 2. Cobertura morta 3. Preparo do solo 4. *Gossypium hirsutum* 5. Física do solo I Título

CDU: 631.442.4:633.511

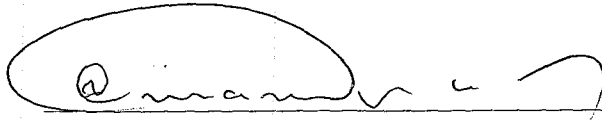
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO: "MELHORAMENTO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DE UM ARGISSOLO DE SÃO LUÍS E SEU EFEITO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO ALGODOEIRO (*Gossypium hirsutum*)".

AUTOR: MARIA NASARET MACHADO MORAES SEGUNDA

ORIENTADOR: PROF. DR. EMANOEL GOMES DE MOURA

Aprovado pela Comissão Examinadora:



PROF. DR. EMANOEL GOMES DE MOURA



PROF. DR. JOSÉ RIBAMAR GUSMÃO ARAUJO



PROF. DR. EDUARDO FERREIRA RODRIGUES

Data de Realização: 10 / DEZEMBRO / 2003.

Biblioteca - UEMA  
Agroecologia

Aos meus pais, irmãos e irmã.

**OFEREÇO**

**A DEUS,  
AGRADEÇO**

Ao meu filho Diego Felipe.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À DEUS, por me conduzir em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais pela vida e pelo amor de sempre, meus irmãos e meu filho Diego Felipe, razão da minha vida.

À Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Maranhão (FAPEMA).

Ao Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura pela orientação e pela valiosa amizade.

Ao amigo Ms. Jonas Mendes Albuquerque pelo apoio e contribuições valiosas.

Ao Dr. José Ribamar Gusmão Araújo, Dr<sup>a</sup> Raimundinha e Ms. Ana Maria pela ajuda prestada.

Aos professores do Curso de Mestrado em Agroecologia pelos ensinamentos.

Aos colegas de turma Delfim Guterres, Cristiane, Alberto, Francisco e Jane Carla pela amizade e convívio constante durante o Curso.

Aos colegas de trabalho Andréa, Graça Araújo, Raimundo, João Soares, Mariângela e Francisca pelo convívio e incentivo.

Ao colega Carlos Magno do Mestrado em Agroecologia pela ajuda prestada.

Aos funcionários do Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural NTER/UEMA e a todos que contribuíram de alguma forma para realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

### LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### RESUMO

### ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO .....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	03
2.1 Efeito da rigidez do solo sobre o crescimento e produtividade das culturas .....	03
2.2 Efeito da capacidade de água disponível (C.A.D.) sobre o crescimento e produtividade das culturas .....	05
2.2.1 A água no solo .....	05
2.2.2 A água na planta .....	06
2.3 Efeito da capacidade de aeração sobre o crescimento e produtividade das culturas .....	07
2.4 Efeito da cobertura morta sobre a fertilidade do solo .....	08
2.5 Respostas do algodoeiro às melhorias nas propriedades do solo .....	12
2.6 Sistema de preparo do solo sobre propriedades físicas .....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	15
3.1 Localização .....	15
3.2 Clima .....	15
3.3 Solo .....	16
3.4 Histórico da área .....	18
3.5 O experimento .....	18
3.6 Parâmetros avaliados .....	19
3.6.1 Avaliação de Matéria Seca do Guandu e Desenvolvimento do Algodão .....	19
3.6.2 Análises Físicas .....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	22
4.1 Qualidade Física do Solo .....	22
4.1.1 Densidade do Solo .....	23
4.1.2 Porosidade do Solo .....	24
4.1.3 Capacidade de Aeração .....	25
4.2 Produção e Crescimento do Algodoeiro .....	27
4.2.1 Índice de Área Foliar (IAF) .....	27
4.2.2 Taxa de Crescimento da Cultura (TCC) .....	28
4.2.3 Taxa de Assimilação Líquida (TAL) .....	29
4.2.4 Considerações Finais .....	30
5 CONCLUSÕES .....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

QUADRO	1	-	Características pedológicas do perfil do solo do Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural.....	17
TABELA	1	-	Resultados da densidade do solo em função do nível de cobertura e do preparo do solo.....	23
TABELA	2	-	Resultados da porosidade ( $m.m^{-3}$ ) em função do nível de cobertura e do preparo do solo.....	24
TABELA	3	-	Resultados da capacidade de aeração em função do nível de cobertura e do preparo do solo.....	26
FIGURA	1	-	Distribuição das chuvas (precipitação em mm) na ilha de São Luís no ano de 1999 .....	22
FIGURA	2	-	Evolução dos índices de área foliar dos tratamentos em função do nível de cobertura e do preparo do solo.....	27
FIGURA	3	-	Evolução da taxa de crescimento do algodão em função do nível de cobertura e do preparo do solo.....	28
FUGURA	4	-	Taxa de assimilação líquida dos tratamentos em função do nível de cobertura e do preparo do solo.....	29



## RESUMO

Com o objetivo de avaliar técnicas de melhoramento das condições físicas do solo, que contemplem a estabilização dos macroporos e favoreçam o desenvolvimento do algodoeiro, em um Argissolo da ilha de São Luís, foi instalado, em fevereiro de 1999, no campo experimental do Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural da Universidade Estadual do Maranhão, um experimento em blocos ao acaso com esquema fatorial 4 x 2 utilizando o algodão cultivar IAC 22, com quatro repetições dos seguintes tratamentos: C<sub>2</sub>A = solo coberto, espaçamento de 2m entre sebes, aração; C<sub>2</sub>D = solo coberto, espaçamento de 2m entre sebes, plantio direto; C<sub>2,5</sub>A = solo coberto, espaçamento de 2,5m entre sebes, aração; C<sub>2,5</sub>D = solo coberto, espaçamento de 2,5m entre sebes, plantio direto; C<sub>3</sub>A = solo coberto, espaçamento de 3m entre sebes, aração; C<sub>3</sub>D = solo coberto, espaçamento de 3m entre sebes, plantio direto; SA = sem cobertura, com aração; SD = sem cobertura, com plantio direto. Foram avaliadas as propriedades físicas: densidade, porosidade e capacidade de aeração; os índices fisiológicos: índice de área foliar, taxa de crescimento da cultura e taxa de assimilação líquida. Os resultados obtidos permitiram concluir que as técnicas de preparo do solo e a cobertura morta associados mostraram significância para o manejo adequado do Argissolo Vermelho-Amarelo, pois proporcionaram melhorias nas propriedades físicas e índices fisiológicos.

Palavras-chave: cultivo em aléias, cobertura morta, preparo do solo, *Gossypium hirsutum* e física do solo.

## ABSTRACT

With the objective to evaluate techniques of improvement of the physical conditions of the soil, that contemplate the stabilization of the macropores and favor the growth the cotton plant, in a Argissolo of the island of São Luís was installed, in February of 1999, in the experimental field of the Technological Nucleus of Agricultural Engineering of the State University of the Maranhão, a test in randomized blocks in a 4 x 2 factorial design, to cultivate IAC 22, with four repetitions of the following treatments: C2A = mulching, spaces of 2m between hedge, tillage; C2D = mulching, spaces of 2m between hedge, direct plantation; C2,5A = mulching, space of 2,5m between hedge, tillage; C2,5D = mulching, spaces of 2,5m between hedge, direct plantation; C3A = mulching, spaces of 3m between hedge, tillage; C3D = mulching, space to of 3m between hedge, direct plantation; SA = no mulching, tillage; SD = no mulching, with direct plantation. Was evaluated the physical properties: density, porosity and capacity of aeration; the physiological indices: leaf area index, crop growth rate and net assimilation rate; and the number of fruits. The results allowed the followings conclusions that the techniques of tillage and the mulching associates reveal efficient for the till level of the Argissolo Vermelho-Amarelo, provide improvements in the physical properties, physiological index of the cotton plant.

Key-word: Alley cropping, mulching, tillage, *Gossypium hirsutum* and physical soil properties.

## 1 INTRODUÇÃO

As propriedades físicas do solo que afetam diretamente o crescimento e função das raízes: a disponibilidade de água, aeração, resistência e temperatura do solo, possuem particularidades a elas inerentes que, obrigatoriamente, devem ser consideradas, quando da interpretação de seus efeitos agronômicos. Uma delas é a sua interação com os fatores ambientais. Além disso, os efeitos dessas propriedades sobre o crescimento vegetal mudam durante a estação de crescimento e então precisam ser avaliados regularmente para explicar as respostas da cultura, em uma dada estação sob diferentes tratamentos aplicados ao solo (Jayawardane & Chan, 1994).

Outra particularidade são as interrelações entre fatores, onde a água exerce influência fundamental atuando como fator controlador dominante. A aeração, temperatura e resistência mecânica são afetados pelo conteúdo de água. Entre a água e a aeração as relações são opostas daquelas entre a água e a resistência mecânica. O aumento da água no solo decresce a temperatura e a resistência, o que é desejável, mas decresce também a aeração desfavorecendo as condições no meio radicular. A densidade do solo e a distribuição de tamanho de poros afetam a relação entre a água, a aeração e a resistência mecânica. Desta forma, o efeito da água sobre estes fatores é intensificado pelo aumento na densidade do solo e/ou diminuição da macroporosidade.

Foi a partir destes pressupostos que Letey (1985) propôs o conceito de faixa de umidade não limitante, segundo o qual o volume de água deve, idealmente, variar no solo entre limites que, de um lado não prejudique a aeração e de outro não permita o aumento prejudicial da resistência mecânica ao crescimento de raízes. A faixa pode ser reduzida

pela capacidade de aeração e/ou resistência mecânica em alguns solos. Dentro dela o crescimento vegetal se daria sem estresse de água, de oxigênio e livre da rigidez que pode prejudicar o crescimento e o funcionamento das raízes em solos mais secos. A extensão da faixa poderia, então, ser o parâmetro único mais completo para a avaliação das qualidades físicas do solo.

No Centro-Norte do Maranhão os solos apresentam altos teores de areia fina em sua composição granulométrica, o que lhes confere particularidades que impedem um maior rendimento da agricultura nele praticada. Apresentam ainda alta susceptibilidade ao encrostamento e compactação, taxas de infiltração de água muito baixas que associadas aos altos índices pluviométricos da região, decrescem o coeficiente de difusão do oxigênio no solo prejudicando a respiração na zona das raízes (Moura, 1992).

O aumento da macroporosidade na camada arável pode ser, normalmente, conseguido nos processos de preparo do solo, mas a estabilidade desta nova condição não pode ser mantida se esforços não forem enviados no sentido de evitar a recompactação e deterioração da estrutura porosa, geralmente, ocasionadas pela chuva, irrigação ou tráfego. Técnicas de melhoramento das condições físicas do solo a longo prazo, então, devem contemplar o aumento e a estabilização dos macroporos (Jayawardane & Chan, 1994). Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar técnicas de melhoramento das condições físicas do solo, que contemplem a estabilização dos macroporos e favoreçam o desenvolvimento do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*).

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

A fertilidade do solo foi definida por Currie (1962) como a habilidade do solo em fornecer água, ar, nutrientes e espaços ao ambiente radicular das plantas. Não é incomum, entretanto, que os fenômenos físicos da fertilidade sejam todos englobados genericamente na expressão estrutura do solo, que não permite avaliações quantitativas dos processos que determinam o crescimento das plantas.

A partir dos trabalhos de Letey (1985) e Jayawardane & Chan (1994) o efeito dos fatores físicos da fertilidade que determinam o crescimento vegetal puderam ser mais objetivamente determinados a partir do monitoramento da variação sazonal da resistência à penetração, conteúdo de água e aeração do solo. Por outro lado, para documentar mudanças significativas no ambiente radicular resultante do preparo do solo, os dois parâmetros mais comumente medidos são a densidade e a resistência ao penetrômetro. Em regiões de clima quente estas limitações físicas para o crescimento das raízes sob condições de campo têm sido mais frequentemente observadas (Voorhees, 1992).

O uso do solo para fins agrícolas, independentemente do sistema de manejo utilizado, promove alterações nas suas propriedades físicas (Costa et al., 2003).

### **2.1 Efeito da rigidez do solo sobre o crescimento e produtividade das culturas**

A maioria dos solos, se não todos, apresentam algum grau de restrição física ao crescimento e/ou funcionamento das raízes, de onde são perdidas significantes quantidades de carbono no ambiente de enraizamento, devido ao estresse causado pela resistência do

solo, cuja influência sobre o crescimento das raízes e caules subterrâneos atuam em interação com o suprimento de água e aeração. Não apenas porque estes fatores são interdependentes entre si, mas também porque a resposta da planta à mudança de um deles pode modificar sua resposta ao outro (Voorhees, 1992). A habilidade de penetração de raízes, por exemplo, é às vezes reduzida por razões fisiológicas quando a umidade do solo decresce. Em experimento com raízes de algodão crescendo em um solo leve com uma camada de resina, Voorhees (1992) percebeu que a percentagem de raízes que penetrou a resina decresceu continuamente até a umidade menor que - 0,5 bar e que nenhuma penetração ocorreu com uma umidade menor que - 11 bar.

A impedância mecânica aumenta com o decréscimo no conteúdo de umidade do solo sendo este efeito maior em solos mais densos. Resultados de Eavis (1972) mostraram que para um potencial de água no solo de 20kPa a resistência à penetração aumentou 5 vezes quando a densidade passou de 1,1 para 1,6 g/cm<sup>3</sup>.

O aumento da porosidade causado pelo preparo do solo é reduzido gradualmente devido a reconsolidação natural durante ciclos de umedecimento e secagem. Durante o umedecimento pela chuva natural ou irrigação, o solo é reconsolidado por três mecanismos: (i) impacto da gota de chuva; (ii) estresse efetivo no solo que causa o colapso de sua matriz a partir do seu próprio peso, reduzindo assim o tamanho e o número de macroporos; e (iii) forças dinâmicas do movimento da água através dos poros (adsorção e momento), que tendem a condensar a matriz. Durante a redistribuição ou drenagem seguindo a infiltração, o aumento negativo da pressão poro-água aumenta o estresse efetivo na matriz conduzindo as partículas soltas do solo para ocupar os espaços livres. A maior parte da reconsolidação ocorre durante o primeiro ciclo de umedecimento e secagem, o que progressivamente diminui nos ciclos subsequentes. Durante o umedecimento o solo

preparado pode também estar sujeito às mudanças na distribuição de tamanhos de poros e nas características de retenção de água devido à quebra e dispersão dos agregados. Na superfície esse processo é aumentado pelo impacto da gota de chuva que frequentemente resulta na formação de uma crosta superficial mais densa e dura, fenômeno conhecido como encrostamento (Ahuja *et al.*, 1998).

## **2.2 Efeito da capacidade de água disponível (C.A.D) sobre o crescimento e produtividade das culturas**

### **2.2.1 A água no solo**

Os estudos da água do solo, como fator de crescimento das culturas, remonta o século passado. Alway & Russel (1916) com base, principalmente, em vários trabalhos de Hilgard, publicados entre 1860 e 1903, estabeleceram *constantes de umidade* que visavam caracterizar cada solo em particular a partir de sua relação com a água. Foi neste período que se firmaram termos como *coeficiente higroscópico*, *coeficiente de murchamento*, *máxima capacidade de água e umidade equivalente*. Com a pretensão explícita de substituir todas estas *constantes*, Viehmeyer & Hendrickson (1949) lançaram a *percentagem de murchamento permanente e a capacidade de campo* como limites inferior e superior da capacidade de água disponível, tendo por base trabalho dos próprios autores de 1931 e outro de Briggs & Shants (1911).

Não obstante o avanço alcançado com este trabalho, o que se atesta pelo uso generalizado, ainda hoje, dos termos propostos em 1949, a fragilidade dos conceitos *capacidade de campo* e *ponto de murcha permanente* já eram expostas desde Wilcox (1962) e Gardner & Nieman (1964). O primeiro demonstrou a importância tanto da

água consumida pela planta antes da umidade atingir a *capacidade de campo*, quanto do volume drenado após esta condição. Os últimos, comprovaram que processos fisiológicos vitais, como transpiração, divisão e alongamento celular, são interrompidos muito antes do conteúdo de água do solo atingir o *ponto de murcha permanente* e que, portanto, não seria realista utilizar este parâmetro como limite inferior da capacidade de água disponível.

A capacidade de água disponível não tem sido um bom parâmetro para avaliar as condições físicas dos solos da ilha de São Luís, conforme Albuquerque (1999) que não encontrou diferenças significativas em função do preparo do solo e de 3 níveis de cobertura para a cultura do milho.

### **2.2.2 A água na planta**

A secagem do solo com o conseqüente aparecimento do déficit de água, diminui o turgor celular, do que resulta a diminuição da condutância estomática ao CO<sub>2</sub> e redução do alongamento das células. Nestas condições, decrescem as taxas de fotossíntese e de aumento da área foliar. A produção de matéria seca fica então prejudicada, tanto pela diminuição da biomassa por área de folha, quanto pela menor interceptação da luz (Kramer, 1980). O trabalho de Bradford & Hsiao (1982) confirmou que uma das primeiras respostas das plantas à diminuição da disponibilidade de água é o decréscimo na taxa de produção do dossel, em função da alta sensibilidade da expansão da folha ao déficit de água. Esta sensibilidade, para Chaves (1991), constitui-se em valioso mecanismo de sobrevivência e adaptação à seca.

Em condições de moderada deficiência de água, as respostas do estômato podem ser mais correlacionadas com a secagem do solo, do que com o “status” de água na folha.



Há claras evidências, segundo Turner, (1986), de que raízes localizadas em regiões do solo de reduzida disponibilidade de água emitem “sinais fisiológicos” à parte aérea que fazem decrescer a condutância estomática, mesmo se o potencial de água da folha não for diminuído.

Na maioria das plantas, a taxa de alongamento das folhas é dependente do “status” de água na planta. Pequena redução no potencial de água no meio radicular, imediatamente decresce a taxa de crescimento dos tecidos, mas outros fatores que não o turgor celular influenciam o crescimento da folha (Volkenburgh & Boyer, 1984).

### **2.3 Efeito da capacidade de aeração sobre o crescimento e produtividade das culturas**

No solo, a respiração das raízes em crescimento e de outros organismos presentes, resulta numa diminuição dos teores de  $O_2$  e aumento do  $CO_2$  em relação ao ar atmosférico. No ar do solo, geralmente,  $O_2$  e  $CO_2$  juntos somam 20%. Na maioria das plantas, o crescimento das raízes, e de outras atividades dele decorrentes, é prejudicado se a fração volume de  $CO_2$  exceder 5%, o que implica fração de  $O_2$  menor que 15%. Às trocas atmosféricas que permitem a renovação do  $O_2$  e a remoção do  $CO_2$  dá-se o nome de aeração do solo (Koorevaar *et al.*, 1983).

Uma classificação objetiva da estrutura do solo proposta por Thomasson (1978), sugere que solos com menos de 0,05 de capacidade de ar seriam fisicamente pobres ou anaeróbicos, entre 0,05 e 0,1 a ocorrência de problemas estaria na dependência da continuidade do espaço poroso, sendo a aeração adequada com capacidade de ar acima de 0,15.

A influência de uma aeração deficiente sobre o crescimento das culturas se processa em duas esferas distintas. Indiretamente, sobre os constituintes do solo e de forma direta, sobre os processos fisiológicos dos vegetais superiores (Taylor, 1949).

Trabalhando numa topossequência da formação Itapecuru, Moura *et al.* (1992) concluiu que a capacidade de aeração decresce com o aumento dos teores de areia fina e com a altura topográfica, nos solos daquela formação.

A água exerce um efeito deletério sobre a difusão do  $O_2$  no solo, seja na ocupação dos espaços, bloqueamento dos poros, expansão dos agregados, ou aumentando a atividade biológica. Muito importante, nesta área, foi o trabalho de Currie (1962), que alertou para o fato de que a água ocupa, no solo, primeiro os espaços menores. Por isso, no momento da chuva ou irrigação a mesma quantidade de água faz decrescer o coeficiente de difusão em solos arenosos, mais que em solos argilosos bem estruturados, já que nestes ocupa, no início, o interior dos agregados e naqueles, divide os espaços com o ar do solo. Pode-se especular se o mesmo volume de água remanescente nos dois solos seria mais prejudicial nos solos arenosos no momento da drenagem do excesso de água, quando inicialmente são esvaziados os espaços maiores. No trabalho de Currie, a curva que relaciona a porosidade efetiva com o coeficiente de difusão, em solos arenosos molhados, mostra queda vertiginosa do coeficiente a partir de valores de porosidades menores que 0,3.

#### **2.4 Efeito da cobertura morta sobre a fertilidade do solo**

O uso da cobertura do solo com resíduos vegetais é uma importante ferramenta para o aumento de sua fertilidade, entre outras razões, por auxiliar no controle da erosão, diminuir a temperatura máxima do solo nos trópicos, aumentar a infiltração da água,

provocar o decréscimo da compactação e do encrostamento e aumentar a água disponível na zona das raízes. As respostas das culturas à aplicação de cobertura ao solo, no entanto, são grandemente influenciadas pela quantidade de chuva e sua distribuição, pelo microclima e pela capacidade de armazenamento de água do solo. Em geral, os efeitos benéficos têm sido maiores em regiões com menores índices pluviométricos segundo Lal (1989). Para uma mesma área coberta, a cobertura morta é mais eficiente que qualquer outra cobertura vegetal para absorção da energia cinética da chuva, não permitindo que alguma energia residual possa desagregar o solo e provocar o encrostamento da superfície (Lombardi Neto et al., 1988).

Efeitos positivos da cobertura morta sobre a produtividade das culturas são, geralmente, atribuídos à maior taxa de emergência das sementes, aumento da água disponível, regularização da temperatura e melhoria nas condições físicas e biológicas do solo. Franzen *et al.* (1994), recomendaram para a região de transição do trópico úmido no oeste africano, a cobertura do solo em combinação com um sistema manual de preparo zero, para que fossem mantidas suas propriedades físicas em um nível favorável ao crescimento das raízes. Para os autores, isto seria alcançado pelo aumento da continuidade dos macroporos, evitando os processos de consolidação do subsolo, aumentando a atividade faunística e favorecendo a permeabilidade. Khan (1983) revelou que a diminuição do impacto da gota de chuva no solo, pelo uso da cobertura morta, reduziu a densidade e aumentou a porosidade a 15cm, diminuiu a rigidez da superfície e aumentou a produtividade da cultura do amendoim, em um solo franco arenoso laterítico. Também em solo franco arenoso cultivado com tomate e alface, Stirzaker *et al.* (1989) encontraram menor rigidez, mas não menor densidade nas áreas cobertas, em comparação com as áreas cultivadas sem preparo.

O efeito benéfico da cobertura do solo na produção de grãos de milho foi confirmado por Lal (1979), que o atribuiu ao decréscimo na temperatura da camada arável e ao aumento na retenção de água. Também Tisdall & Adem (1986) verificaram que a cobertura morta exerce, em combinação com o preparo zero, um efeito positivo sobre o crescimento e a produção do milho em solos susceptíveis ao encrostamento.

Os poucos trabalhos relacionando a presença da cobertura morta com a aeração do solo, foram realizados em regiões de clima temperado e em solos que refletem estas condições. Graham (1989) concluiu que o aumento da matéria orgânica, derivada de cobertura morta em solos argilosos ou franco argilo-siltosos, aumentou a taxa respiratória e a demanda por O<sub>2</sub>, fazendo decrescer seus teores no solo. Também MacFfe *et al.* (1989), em um solo franco argilo-siltoso sob cobertura morta triturada, percebeu grande redução nos teores de oxigênio do solo além da diminuição dos valores extremos da permeabilidade e da porosidade da superfície.

No sul do Brasil, Bragagnolo & Mielniczuk (1990) observaram aumento de 8 a 10% nos valores da umidade volumétrica na camada de 0 a 5cm do solo coberto com 5 e 7t/ha de palha, em comparação com os solos descobertos e com o que recebeu 2,5t. Também foi significativa a mudança na temperatura máxima do solo a 5cm, com uma redução de 0,6 a 1,13°C por tonelada de palha aplicada.

Buscando alternativas para uma agricultura sustentável na difícil região Amazônica, alguns autores têm se utilizado da cobertura morta como prática de manejo dos solos nas áreas ali destinadas à agricultura. No Peru, Wade & Sanchez (1983) utilizaram gramíneas e a leguminosa kudzu incorporados e na superfície, comparando-os com a fertilização completa e com a calagem mais fosfatagem, em um solo franco com baixa CTC e altos teores de Al. Nas áreas com material incorporado foram maiores as

produções de soja, feijão vigna e milho em comparação com as áreas cobertas, mas a cobertura com kudzu produziu 80% da produção máxima, atingida com a fertilização completa.

Na Amazônia brasileira, Schöning & Alkämper (1985) avaliaram o efeito de vários materiais utilizados como cobertura morta na produção do milho e do feijão vigna, concluindo que o efeito foi positivo e altamente significativo para as duas culturas. Para o milho o uso da puerária em cobertura sem adubação correspondeu, em produtividade, à aplicação de 120 - 80 - 60 kg/ha de N-P-K. Comparando as propriedades dos solos com e sem cobertura, após a colheita, os autores verificaram aumentos de 15% de carbono e menores decréscimos de N e P nas parcelas cobertas. Também a CTC aumentou 15,8% nas parcelas com cobertura, decrescendo 16,3% no solo nu. Nos solos cobertos também houve mais 3,3% de umidade em média, no início da estação chuvosa. Para períodos de grande precipitação pluviométrica, os autores especulam se a cobertura não seria deletéria, provocando alagamentos e situações anaeróbicas.

A utilização da folha de babaçu como cobertura morta, associada a outras práticas foi testada no Maranhão como alternativa de manejo do solo sob a cultura da bananeira. Nas parcelas cobertas a produção foi superior à daquelas descobertas quando ambas receberam desbastes e limpeza das folhas velhas (EMAPA, 1991).

Veras (1994), na Ilha de São Luís, avaliou o efeito da aplicação de 200 m<sup>3</sup>/ha de resíduos de fava d'anta (*Dimorphandra mollis* - cascas de legumes com relação C/N igual a 25), superficial e incorporado aos 20 cm de profundidade de um Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa, concluindo que o resíduo incorporado não afetou a produção de grãos de milho quando comparado com o tratamento que recebeu apenas N-P-K. Em contrapartida, a aplicação do resíduo na superfície dobrou a produção, em relação aos dois

tratamentos anteriores. A comparação dos valores da análise química do solo não apresentou nenhuma diferença que pudesse explicar a resposta da cultura à aplicação da cobertura morta. Por outro lado, houve durante os 90 dias de ciclo da cultura uma precipitação de 1520mm de chuva o que, a princípio, eliminaria a hipótese de que a resposta pudesse ser atribuída às diferenças nos teores de água no solo.

No mesmo solo na Ilha de São Luís, Moura (1995) concluiu que a cobertura morta evita o encrostamento superficial, diminui o adensamento da camada arável aumentando a porosidade efetiva, e em consequência, a aeração do solo em regime de alto índice pluviométrico, promovendo o crescimento e a produção das plantas de milho pelo aumento da sua capacidade fotossintética.

Nos solos Podzólicos Vermelho-Amarelo de São Luís a cobertura morta favoreceu o crescimento e frutificação do algodoeiro quando cultivado no período chuvoso, principalmente pelo aumento da superfície fotossintética das plantas (Moraes Segunda, 1997).

## **2.5 Respostas do algodoeiro às melhorias nas propriedades do solo**

Das grandes culturas, o algodoeiro se coloca entre as mais exigentes, sendo uma planta sensível à deficiência de oxigênio no solo, onde seu crescimento, desenvolvimento e produção são afetados negativamente pela diminuição do oxigênio na zona radicular.

Em uma revisão sobre irrigação do algodoeiro, Bruyn (1982) reportou que a irrigação excessiva por extensos períodos afetou o crescimento e a produção do algodão devido à deficiência de oxigênio no meio radicular em função do fechamento dos estômatos

da folha. No experimento de Bruyn produções mais altas de sementes e fibras foram obtidas de plantas não submetidas à inundação do solo durante a estação de crescimento.

Albert & Armstrong (1931) estudando o efeito da alta umidade e ausência de aeração na frutificação do algodoeiro encontraram correlação entre abscisão de frutos jovens, com alta percentagem de dióxido de carbono e baixa percentagem de oxigênio no solo. Também Almeida *et al.* (1992), trabalhando com algodão em condições de deficiência de oxigênio concluíram que a falta de oxigênio por um período de 120 horas fez decrescer em 30% a área foliar e em 36% a matéria seca do algodoeiro.

Meek *et al.* (1980) trabalhando em várias condições de aeração do solo concluíram que o aumento da profundidade do lençol freático de 30 para 60cm acresceu a produção do algodoeiro em 76%, havendo também um aumento de duas vezes e meia na absorção dos principais nutrientes.

## **2.6 Sistema de preparo do solo sobre propriedades físicas**

Do ponto de vista técnico, o sistema de manejo deve contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades das culturas a longo prazo. Geralmente, as práticas de manejo têm maior impacto sobre as propriedades físicas de solos arenosos do que de solos argilosos (Costa *et al.*, 2003).

Além da classe de solo, as condições climáticas, os sistemas de cultura utilizados, o tempo de uso dos diferentes sistemas de manejo e a condição de umidade do solo em que são realizadas as operações de campo determinam a magnitude dos efeitos do manejo sobre as propriedades físicas do solo (Costa *et al.*, 2003).

No trabalho de Costa *et al.* (2003) o sistema de preparo convencional degradou as propriedades relacionadas com a forma e com a estabilidade da estrutura do solo em relação à mata nativa, indicadas pelo aumento da densidade e da resistência do solo à penetração e pela diminuição da estabilidade de agregados. O solo em plantio direto apresentou melhores condições estruturais evidenciadas principalmente pela redução da densidade do solo em subsuperfície e pelo aumento da estabilidade de agregados na camada superficial do solo.

Silva *et al.* (2000) avaliando a qualidade estrutural de um Latossolo Roxo concluiu que o sistema de plantio direto propiciou agregados maiores e mais resistentes na camada superficial e que os atributos químicos e físicos do solo apresentaram bom desempenho na avaliação da qualidade estrutural do solo no tocante aos sistemas de plantio direto e cultivo convencional.

Segundo Prado *et al.* (2002) os sistemas de preparo do solo afetam a densidade do solo e concluiu que após cinco anos em pousio, a densidade do solo é maior no sistema de preparo do solo com grade aradora do que no sistema de preparo com enxada rotativa.



### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Localização**

O experimento foi conduzido de 19/02 a 09/07/1999 no Campo Experimental do Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural do Curso de Agronomia da Universidade Estadual do Maranhão, no interior da Ilha de São Luís, situado a 44° 18' W de longitude e 2° 30' S de latitude.

#### **3.2 Clima**

Os estudos do clima da região, segundo EMBRAPA (1986), mostram que, pela classificação de Koepen, se trata de clima do tipo Aw, clima tropical que apresenta uma temperatura média do ar sempre superior a 18°C e um regime pluviométrico que define duas estações, uma chuvosa e outra seca, caracterizada esta última, por uma precipitação mensal inferior a 60mm nos meses de menor precipitação. A homogeneidade topográfica, com as altitudes variando de 0 a 60 metros, com predominância de cotas inferiores a 40 metros, aliada a um alto índice de oceanilidade, condiciona a região a uma pequena variação dos elementos meteorológicos.

A temperatura média local gira em torno de 26°C e, máximas e mínimas oscilam entre 28°C – 33°C e 20°C - 23°C, respectivamente. Amplitudes térmicas maiores ocorrem nos meses de menor precipitação, em decorrência da menor nebulosidade e o conseqüente resfriamento da superfície.

As precipitações variam de 1700 a 2300mm anuais dos quais, mais de 80% ocorrem de janeiro a maio. Esta distribuição irregular determina a ocorrência de deficiências e excessos hídricos, em determinados períodos do ano.

Tem-se, então de modo geral, na ilha, um período seco de 6 a 7 meses, dos quais 3 a 4 meses muito secos, com menos de 8% da chuva total. E no período chuvoso, de 5 a 6 meses, pelo menos 2 meses podem ser considerados muito chuvosos, com mais de 40% da precipitação total.

A umidade relativa do ar, na região, flutua próximo de 80%. A análise dos dados disponíveis mostra, em termos de média anual, que em toda a região, a marcha da umidade relativa do ar coincide, aproximadamente, com a da precipitação pluviométrica. Nos meses de agosto a dezembro ocorrem os menores valores médios anuais, em torno de 73% e entre fevereiro a maio surgem os maiores valores, próximos de 90%.

Estimativas de evapotranspiração indicam que esta varia pouco em termos espaciais na região da ilha, variando próximo de 1650mm anuais. Via de regra os meses de fevereiro a maio apresentam excedentes hídricos, enquanto julho a novembro ocorre deficiência (EMBRAPA, 1986).

### **3.3 Solo**

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o solo da área foi denominado ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico Tb Arênico A moderado textura arenosa/média fase floresta tropical dicótilo-palmácea, cujas características morfológicas, físicas e químicas estão apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1 - Características pedológicas do perfil do solo do Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural.**

Características Morfológicas												
Horizonte	Profundidade		Cor				Textura					
	cm											
A1	0-20		Bruno-acizentada muito escura				Areno-franca					
A2	20-33		Bruna				Franco-arenosa					
AB	33-51		Bruno-amarelada				Franco-arenosa					
BA	51-77		Bruno-amarelada				Franco-arenosa					
BT	77-111		Bruno-amarelada				Franco-argilo-siltosa					
BC	132+		Bruno-amarelada				Franco-argilo-siltosa					

Características Físicas					
Horizonte	Granulometria				ρs
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
	%				kg.m <sup>-3</sup>
A1	26	56	8	10	1740
A2	24	54	12	10	1691
AB	21	51	15	13	1782
BA	19	50	21	13	1680
BT	19	47	13	21	1571
BC	19	44	9	28	1754

Características Químicas												
Horizonte	Ca	Mg	K	S	Al	H+Al	T	P	pH	C	V	m
	mmolc.dm <sup>-3</sup>							mg.dm <sup>-3</sup>		%		
A1	2	3	1,2	13,2	3	33	49,2	7	4,3	1,2	27	18,5
A2	3	2	0,5	5,5	4	36	45,5	3	4,1	0,3	12	42,1
AB	4	5	0,5	9,5	7	41	57,5	1	4,0	0,3	16	42,4
BA	3	2	0,4	5,4	7	41	53,4	-	4,1	0,3	10	61,4
BT	4	4	0,5	8,5	5	24	37,5	1	4,2	0,2	23	37,0
BC	4	5	0,5	9,5	4	24	37,5	1	4,2	0,1	25	27,5

Fonte: MOURA, 1995.

### 3.4 Histórico da área

A área utilizada recebeu calcário em agosto de 1994, em quantidade para elevar a saturação por base a 70%. Durante os anos de 1995 a 1997, ela foi cultivada, sucessivamente, obedecendo às seqüências milho/tomate e novamente milho/algodão, este em sistema de cultivo em aléias.

### 3.5 O experimento

O experimento foi delineado em blocos ao acaso com esquema fatorial  $4 \times 2$ , em parcelas de 10,5m de comprimento, com 4 repetições dos seguintes tratamentos:

**C<sub>2</sub>A** = solo coberto, espaçamento de 2m entre sebes, aração;

**C<sub>2</sub>D** = solo coberto, espaçamento de 2m entre sebes, plantio direto;

**C<sub>2,5</sub>A** = solo coberto, espaçamento de 2,5m entre sebes, aração;

**C<sub>2,5</sub>D** = solo coberto, espaçamento de 2,5m entre sebes, plantio direto;

**C<sub>3</sub>A** = solo coberto, espaçamento de 3m entre sebes, aração;

**C<sub>3</sub>D** = solo coberto, espaçamento de 3m entre sebes, plantio direto;

**SA** = sem cobertura, com aração;

**SD** = sem cobertura, com plantio direto.

O solo do experimento foi submetido à combinação de 4 níveis de cobertura morta e aos sistemas de preparo (aração) e não preparo (plantio direto). A cobertura foi produzida na própria área, com o uso da leguminosa semi perene feijão guandu (*Cajanus cajan*) no sistema de cultivo em aléias, nos espaçamentos de 2,0; 2,5 e 3m entre fileiras de leguminosas e como cultura o algodão cultivado durante a estação chuvosa.

O guandu foi semeado três anos antes nos espaçamentos determinados e com 0,5m de distância entre covas com duas plantas. Nas parcelas destinadas aos tratamentos com preparo (A) o solo foi revirado com enxada até profundidade de 20cm procurando simular mais fielmente possível, o preparo mecanizado.

A semeadura do algodoeiro foi realizada no dia 19/02/1999 com a cultivar IAC 22 no espaçamento de 1m entre fileiras de guandu com 7 plantas de algodão por metro linear. Como adubação mineral de plantio foram utilizados uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio para alcançar a recomendação de 10 - 40 - 60 em kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Aos 35 e aos 50 dias após a emergência foi aplicada uréia em cobertura correspondente a 40 kg/ha de nitrogênio em todas as parcelas.

As determinações das alterações nas propriedades físicas do solo foram realizadas durante e após a colheita do algodão. Foi avaliado também o desenvolvimento do algodoeiro.

### **3.6 Parâmetros Avaliados**

#### **3.6.1 Avaliação de Matéria Seca do Guandu e Desenvolvimento do Algodão**

Para avaliação da quantidade de matéria seca do guandu aplicada ao solo, foram podados à 40cm de altura, as plantas de guandu, medindo-se 10m centrais nas parcelas, de onde foi retirada uma amostra de 3m, totalizando 6 covas. O material foi dividido em caule e folhas, dos quais foram retirados 1kg de cada, para estimativa da matéria seca, após secagem em estufa de circulação forçada de ar a 70°C. O corte do guandu restante do guandu foi feito imediatamente após para servir de cobertura, sendo distribuídos 18kg de matéria verde por parcela.

A dinâmica do crescimento da cultura do algodão foi acompanhada com a avaliação semanal da variação da matéria seca e da área foliar com o tempo. Para isso foram coletadas, em intervalos de 8 dias, a partir do 30º dia da emergência, 8 plantas por parcela, coletadas ao acaso, totalizando 12 coletas.

Com posse da área foliar e da matéria seca foi calculado o índice de área foliar e estimadas as taxas de assimilação líquida e de crescimento da cultura.

A área foliar foi obtida através do medidor Licor modelo 3100. O índice de área foliar representa a capacidade que a cultura tem em explorar o espaço disponível. A taxa de crescimento da cultura representa a capacidade de produção da fitomassa da cultura e é definida pela variação da massa seca com o tempo.

A taxa de assimilação líquida fornece a influência das folhas na produção de novos materiais. Todos os índices foram estimados através do programa ANACRES segundo Portes & Castro Jr. (1991).

### 3.6.2 Análises Físicas

Do ponto de vista físico os solos dos tratamentos foram classificados quanto à amplitude da **faixa de umidade não limitante**. Como limite superior da faixa foi considerado o conteúdo de água em que a capacidade de aeração for igual a  $0,10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ , obtida pela equação:  $\text{Car} = [(1 - \rho_s/\rho_p) - 0,10]$  considerando uma densidade de partícula ( $\rho_p$ ) média de  $2,65 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

As conclusões foram tomadas a partir dos efeitos dos parâmetros densidade do solo, porosidade e capacidade de aeração (entendida como o limite superior de umidade,

determinado segundo o conceito de faixa de umidade não limitante) sobre o crescimento e a produção do algodoeiro.

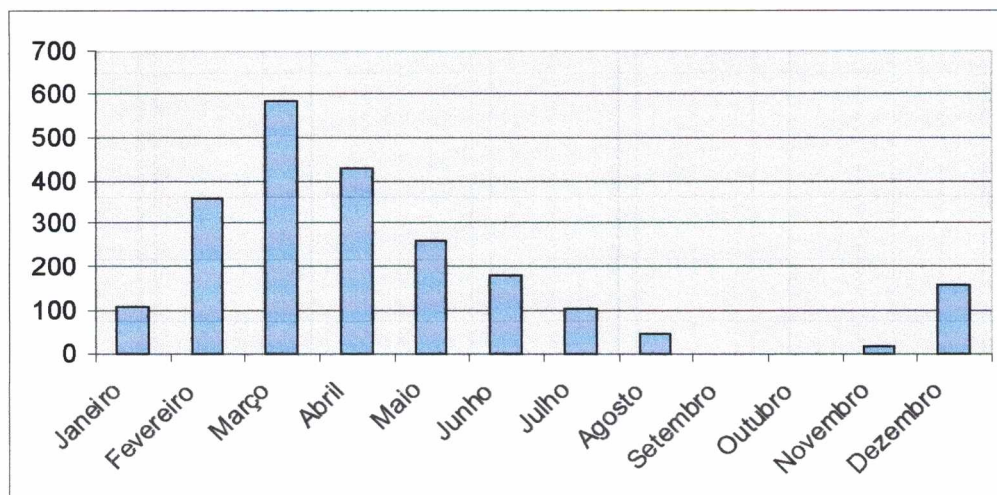
A partir de amostras indeformadas, contidas em anéis de 100 cm<sup>3</sup> retiradas em triplicatas na profundidade de 10 a 20 cm foram avaliadas a densidade do solo, a porosidade total e a capacidade de aeração. Após devidamente preparadas, as amostras foram saturadas por meio de elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja até atingir 2/3 da altura da amostra, durante 12 horas.

A densidade do solo foi determinada pela equação:  $D_s = \frac{M_s}{V}$ , onde  $M_s$  é a massa de solo da amostra e  $V$ , o volume do solo.

A porosidade total foi obtida pela equação:  $P_t = 1 - \frac{D_s}{D_p}$ , onde  $D_s$  é a densidade do solo e  $D_p$ , a densidade de partículas, cujo valor considerado foi 2,65 g.cm<sup>-3</sup>

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

#### 4.1 Qualidade Física do Solo



**Figura 1 – Distribuição das chuvas (precipitação em mm) na ilha de São Luís no ano de 1999.**

Como observa-se na Figura 1, os dados de precipitação não foi fator ambiental de impedimento para o bom crescimento e desenvolvimento da cultivar de algodão IAC 22. No entanto, com base nos tratamentos impostos ao manejo do solo, verifica-se através dos dados das propriedades físicas do solo (Tabelas 1, 2 e 3), respectivamente, densidade do solo, porosidade do solo e capacidade de aeração do solo e crescimento da cultura foram afetados significativamente.



#### 4.1.1 Densidade do Solo

A partir dos resultados da Tabela 1 verifica-se que a cobertura morta influenciou a densidade do solo, reduzindo-a somente ao nível de cobertura proporcionado pelo tratamento C(2,5) que recebeu 500kg de matéria seca/ha. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Costa et al. (2003) que verificaram aumento de densidade apenas na camada superficial do solo (0 – 0.05m) sob plantio direto, enquanto nas demais camadas houve redução da densidade do solo no período de 14 anos.

**TABELA 1 – Resultados da densidade do solo em função do nível de cobertura e do preparo do solo.**

NÍVEL DE COBERTURA	NÍVEL DE PREPARO DO SOLO		
	C/PREPARO (P)	S/PREPARO (D)	MÉDIA
	----- kg/m <sup>3</sup> -----		
C (2,5)	1447,0	1396,0	1421,5 b
C (3,0)	1495,0	1507,5	1501,3 a
C (2,0)	1470,0	1407,5	1438,8 a
S	1512,5	1517,5	1515,0 a
MÉDIA	1481,2 A	1457,3 A	1469,2

C.V. = 4,55%; DMS = 49,23 (Preparo); DMS = 93,32 (Cobertura); Médias seguidas das mesmas letras, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si, estatisticamente, pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.1.2 Porosidade do Solo

A porosidade foi afetada positivamente nas parcelas onde foram adicionadas cobertura morta com guandu, indiferentemente dos seus níveis, e também dos níveis de preparo do solo (Tabela 2). Pode-se inferir que a partir desses resultados o uso da cobertura morta propicia melhores condições físicas na zona radicular do algodoeiro, conseqüentemente maior desenvolvimento de raízes, melhor absorção de nutrientes e crescimento geral da planta. Estes resultados concordam com Moura (1995) e Albuquerque (1999) para a cultura do milho.

**TABELA 2 – Resultados da porosidade ( $m^3.m^{-3}$ ) em função do nível de cobertura e do preparo do solo.**

NÍVEL DE COBERTURA	NÍVEL DE PREPARO DO SOLO		
	C/PREPARO (P)	S/PREPARO (D)	MÉDIA
	----- $m^3.m^{-3}$ -----		
C (2,5)	0,450	0,470	0,460 a
C (3,0)	0,430	0,430	0,430 a
C (2,0)	0,440	0,460	0,450 a
S	0,430	0,420	0,420 b
MÉDIA	0,440 A	0,450 A	0,440

C.V. = 5,95%; DMS = 0,02 (Preparo); DMS = 0,03 (Cobertura); Médias seguidas das mesmas letras, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si, estatisticamente, pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade.

### 4.1.3 Capacidade de Aeração

A Tabela 3, permite observar que a capacidade de aeração foi afetada positivamente pelo preparo do solo (aração) e pelo nível de cobertura proporcionado pelo tratamento C(2,5). Esses resultados permite-nos afirmar que o solo trabalhado tem a sua qualidade física melhorada, ou seja, permitindo melhor fluxo de ar (entrada de  $O_2$  e saída de  $CO_2$ ) quando lhe é adicionado cobertura morta quer sob solo com preparo (aração) ou sem preparo (plantio direto), principalmente se o nível de adição de matéria orgânica for equivalente ao tratamento C2,5 (quando em fileiras duplas com espaçamento de 2,5m entre sebes, num total de 16000 plantas/ha). Essa melhoria na qualidade física do solo resulta em melhor crescimento das raízes do algodoeiro e de outros organismos ali presentes. Se isto não ocorre há uma diminuição dos teores de  $O_2$  e aumento do  $CO_2$  no ar presente no solo. Segundo KOOREVAAR et al., (1983),  $O_2$  e  $CO_2$  juntos somam 20% no ar do solo. Crescimento das raízes, e outras atividades decorrentes, da maioria das plantas são impedidos se a fração volume de  $CO_2$  exceder 5%, o que implica fração de  $O_2$  menor que 15%

**TABELA 3 – Resultados da capacidade de aeração em função do nível de cobertura e do preparo do solo.**

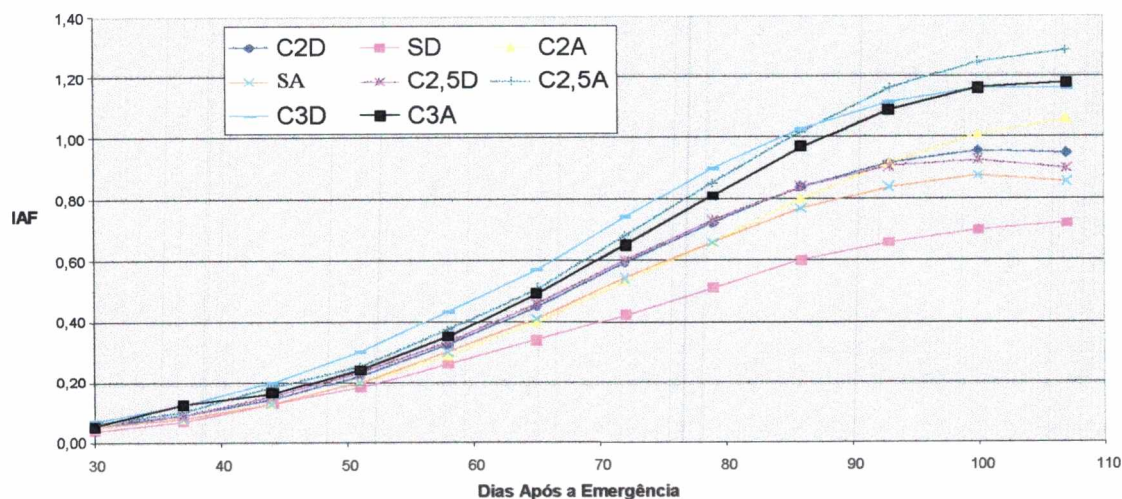
NÍVEL DE COBERTURA	NÍVEL DE PREPARO DO SOLO		
	C/PREPARO (P)	S/PREPARO (D)	MÉDIA
	----- m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> -----		
C (2,5)	0,247	0,192	0,220 a
C (3,0)	0,198	0,168	0,183 b
C (2,0)	0,212	0,151	0,182 b
S	0,187	0,135	0,161 b
MÉDIA	0,211 A	0,162 B	0,186

C.V. = 12,74%; DMS = 1,75 (Preparo); DMS = 3,32 (Cobertura); Médias seguidas das mesmas letras, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si, estatisticamente, pelo teste de TUKEY ao nível de 5% de probabilidade.

A melhoria das condições físicas obtidas no Argissolo de São Luís através do uso da cobertura e do preparo do solo utilizadas como técnicas de seu melhoramento estão proporcionalmente expressas nos ganhos de crescimento apresentados nas tabelas a seguir.

#### 4.2.1 Índice de Área Foliar (IAF)

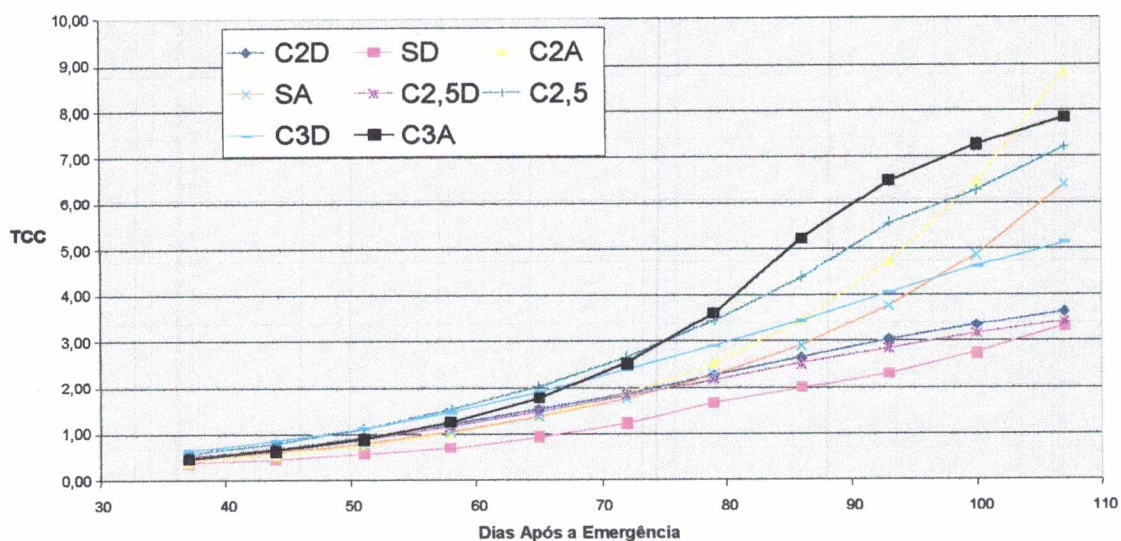
Os dados do IAF mostrados na Figura 2 indicam o efeito significativo da cobertura morta do solo sobre o crescimento do algodoeiro, ou seja, que as plantas cultivadas em parcelas com cobertura morta tiveram maior capacidade de explorar o espaço disponível por unidade de área ( $m^2$  AF/ $m^2$  de solo) em relação à da parcela testemunha, o que também foi observado por Moraes Segunda (1997) com a cultura do algodão, Moura (1995) e Albuquerque (1999) no mesmo solo para a cultura do milho. Foi observado também que a aração (preparo do solo) associada com a cobertura morta exerceu influência positiva sobre o índice de área foliar do algodoeiro. O preparo do solo e a cobertura morta melhoram as propriedades físicas do solo segundo Moura (1995) aumentando a porosidade efetiva e aeração do solo e segundo Moraes Segunda (1997) favoreceu o crescimento do algodão, planta sensível à deficiência de oxigênio.



**Figura 2 – Evolução dos índices de área foliar dos tratamentos em função do nível de cobertura e do preparo do solo.**

#### 4.2.2 Taxa de Crescimento da Cultura (TCC)

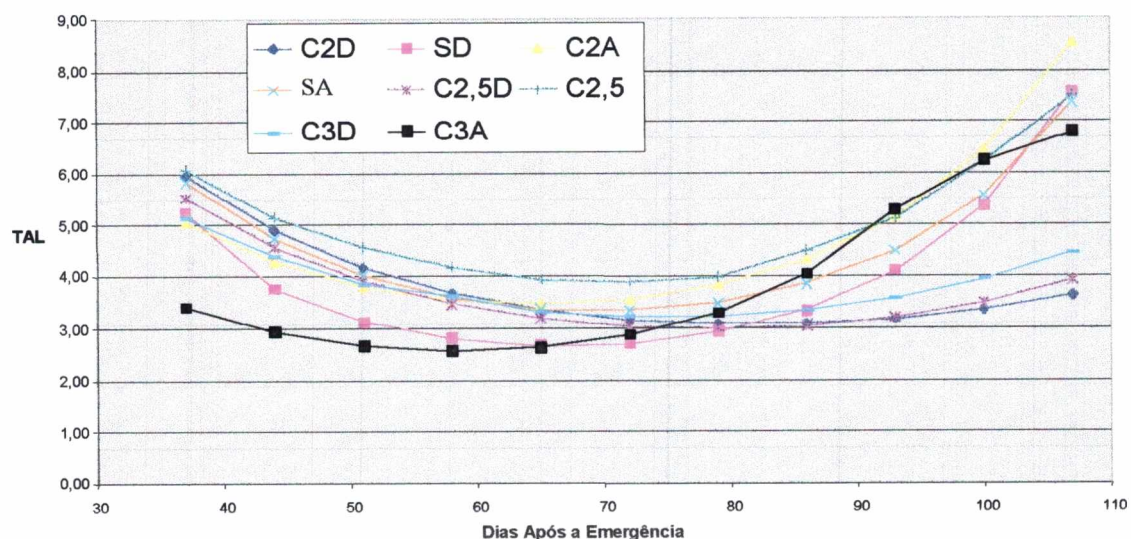
Os tratamentos com maior produção de fitomassa foram os que receberam cobertura morta e preparo do solo, o que pode ser observado na Figura 3, concordando com os resultados obtidos por Albuquerque (1999) no mesmo solo para a cultura do milho. Isto nos permite inferir que esses fatores associados favorecem maior produção de matéria seca ( $\text{g/m}^2$  de solo/semana)



**Figura 3 – Evolução da taxa de crescimento do algodão em função do nível de cobertura e do preparo do solo.**

### 4.2.3 Taxa de Assimilação Líquida (TAL)

Na Figura 4 é mostrada a eficiência das folhas do algodoeiro na produção de novas e maiores quantidades de matéria seca quando as parcelas recebem preparo do solo e cobertura morta. Nota-se também que as parcelas adicionadas com maior quantidade de fitomassa (626 kg) proporcionaram uma elevada eficiência fotossintética (C<sub>2</sub>A). Os dados concordam com Moura (1995) e Albuquerque (1999).



**Figura 4 – Taxa de assimilação líquida dos tratamentos em função do nível de cobertura e do preparo do solo.**

#### 4.2.4 – Considerações Finais

Jayawardane & Chan (1994) comentam que técnicas de melhoramento das condições físicas do solo a longo prazo, então, devem contemplar o aumento e a estabilização dos macroporos. Nos resultados obtidos percebeu-se que a cobertura morta e o preparo do solo associados se mostraram como práticas que permitiram alcançar esse objetivo, evitando a reconsolidação. De acordo com Jayawardane & Chan (1994) o uso do preparo do solo sem técnicas complementares levaram à reconsolidação natural do solo causada por fatores do intemperismo (chuvas). Nas condições do Argissolo da ilha de São Luís Albuquerque (1999) observou, também a reconsolidação deste quando somente o preparo do solo foi utilizado como prática de manejo.

Neste trabalho os resultados mostraram que o manejo desse solo torna-se eficiente quando associadas as práticas de preparo e cobertura morta do solo, o que foi evidenciado pelo acompanhamento paralelo da análise de crescimento e produção do algodoeiro. Desse modo, o objetivo do trabalho foi alcançado.



## 5 CONCLUSÕES

1 - As técnicas de preparo do solo e cobertura morta associadas mostram-se eficientes para o manejo adequado do ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO da ilha de São Luís. Elas proporcionam melhorias na densidade, porosidade e capacidade de aeração desse solo, que se refletem em benefícios sobre o Índice de Área Foliar, Taxa de Crescimento da Cultura e Taxa de Assimilação Líquida do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*).

2 - O aumento na qualidade das propriedades físicas do ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, mantém-se regularmente com o uso freqüente de leguminosas (guandu, por exemplo) como cobertura morta que é uma técnica que reduz a sua reconsolidação e a deficiência de oxigênio, fatores constantemente agravados pelas condições ambientais da ilha de São Luís (teor de areia fina, insolação e pluviosidade altas).

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHUJA, L. R.; FIEDLER, F.; DUNN, G. H.; BENJAMIN, J. G.; GARRISON, A. Changes in soil water retention curves due to tillage and natural reconsolidation. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, **62**: 1228 – 1233, 1998.

ALBERT, W. B.; ARMSTRONG, G. M. Effects of high soil moisture and lack of soil aeration upon fruiting behavior of young cotton plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 65, p. 585 -591, 1931.

ALBUQUERQUE, J. M. Níveis de preparo e de cobertura entre aléias de guandu com milho, como alternativa de melhoramento da qualidade física e do uso intensivo de um Argissolo da formação Itapecuru- MA. São Luís: UEMA. Dissertação (Mestrado em Agroecologia), p. 66, 1999.

ALMEIDA, O. A. de; BELTRÃO, N. E. de M.; GUERRA, H. O. C. Crescimento, desenvolvimento e produção do algodoeiro herbáceo em condições de anoxia do meio edáfico. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 27, n. 9, p. 1259 - 1272, set. 1992.

ALWAY, F.J. & RUSSEL, J.C. Use of the moisture equivalent for de indirect determination of the hygroscopic coefficient. **J. Agric. Res.**, **22**: 833-47, 1916.

BRADFORD, K.J. & HSIAO, T.C. Physiological responses to moderate water stress. In: Physiological plant ecology II. Water relation and carbon assimilation. V. 12B. O. L. Lange; P.S. Nobel; C.B. Osmond & H. Ziegler, Springer-Verlag, Berlin. **Encyclopedia of plant physiology**. p. 246-324, 1982.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **R. bras. Ci. Solo**, 14 (3): 369 - 374, 1990.

BRIGGS, L.J. & SHANTS, H.L. The relative wilting coefficients for different plants. **Bot. Gazette**, **53**: 229-35, 1911.

BRUYN, L. P. de. The effect of over-irrigation on the growth and production of *Gossypium hirsutum*. **Irrigation Science**, v. 3, p. 177 - 184, 1982.

CHAVES, M.M. & SHAW, R. H. Water deficits on carbon assimilation. **J. Exp. Botany**, **42**(234): 1-16, 1991.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e prepare convencional. **Rev. Bras. Ciên. Solo**, vol. 27, n 3 , p. 527 – 535, maio/jun. 2003

CURRIE, J. A. The importance of the aeration in providing the right conditions for plant growth. **J. Sci. Food Agric.**, **13**: 380 – 385, 1962.

EAVIS, B. W. Physical factors and root growth in compacted soil. **Plant and Soil**, **36**: 613 – 622, 1972.

EMAPA - EMPRESA MARANHENSE DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Diagnóstico e propostas de ação para o desenvolvimento da região dos cocais - Maranhão. São Luís, p. 78, 1991.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço nacional de levantamento e conservação do solo. Levantamento Exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Maranhão. Boletim de Pesquisa, 35. Rio de Janeiro, 1986.

FRANZEN, H.; LAL, R.; EHLERS, W. Tillage and mulching effects on physical properties of a tropical Alfisol. **Soil & Tillage Research.**, **28**: 329 - 346, 1994.

GARDNER, W.R. & NIEMAN, R.H. Lower limit of water availability to plants. **Science**, **143**: 1460-62, 1964.

GRAHAM, M. M. The effects of agricultural practices on soil aeration. Reports and dissertations, Department of Soil Sciences, **Swedish University of Agricultural Sciences**, 1 (59): 13, 1989.

JAYAWARDANE, N. S. & CHAN, K. Y. The management of soil physical properties limiting crop production in Australian. **Aust. J. Soil Res**, **32**: 13 – 44, 1994.

KHAN, A. R. Influence of mulching on bulk density and aeration porosity of soil in relation to groundnut production. **Archiv für Acker und Pflanzenbau und Bodenkunde**, **27** (7): 439 - 444, 1983.

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

KRAMER, P.J. **Drought stress, and the origin adaptation. In: Adaptations of plants to water and high temperature stress.** N.C. Turner & P.J. Kramer, Wiley: New York, p. 7-20, 1980.

LAL, R. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. **Plant and Soil**, **40**: 129 - 143, 1979.

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

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and production. **Advances in Soil Science**, v. 1, 1985.

LOMBARDI NETO, F.; de MARIA, I. C.; de CASTRO, O. M.; DECHEN, S. C. F.; VIEIRA, S. R. Efeito da quantidade de resíduos culturais de milho nas perdas de solo e água. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 12, n. 1, p. 71 - 75, 1988.

MacFFE, M.; LINDSTROM, J.; JOHANSSON, W. Aeration studies on arable soil. 1. The effect of a sand/peat mulch on aeration regime in a silty clay loam. **Swed J. Agric. Res.** 19 (3): 147 - 153, 1989.

MEEK, B. D.; OWEN-BARTLETT, E. C.; STOLZY, L. H.; LABANAUSKAS, C. K. Cotton yield and nutrient uptake in relation to water table depth. **Soil Science Society American Journal**, v. 44, n. 1, p. 301 - 305, 1980.

MORAES SEGUNDA, M. N. M. **Crescimento do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) em resposta à cobertura morta, calagem e adubação em um Podzólico Vermelho-Amarelo.** São Luís: UEMA, p. 31, 1997.

MOURA, E. G.; VIEIRA, S. R.; CARVALHO, A. M. Avaliação da capacidade de aeração e de água disponível dos solos de duas transeções na baixada ocidental maranhense. **R. bras. Ci. Solo**, 16 (1) : 7 - 18, 1992.

MOURA, E. G. de. **Atributos físico-hídricos e de fertilidade de um PVA distrófico da formação Itapecuru em São Luís, MA, que afetam o crescimento do milho (*Zea mays* L.).** Botucatu: Universidade Estadual Paulista, p. 82, 1995.

PORTES, T. de A.; CASTRO JÚNIOR, L. G. de. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. **Rev. Bras. Fisiol. Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 53 - 56, 1991.

PRADO, R. de M.; ROQUE, C. G.; SOUZA, Z. M. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesq. Agrop. Bras.**, vol. 37, n 12, dez. 2002.

SCHÖNING, E. & ALKAMPER, J. Effects of different mulch materials on soil properties and yield of maize (*Zea mays*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) in an eastern amazon oxisol. In: **Symp. Humid Trop. 1 st.** Manaus, Brazil, 1985.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58: 1775 - 1781, 1994.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 61: 877- 883, 1997.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesq. Agrop. Bras.**, vol. 35, n 12, dez. 2000.

STIRZAKER, R. J.; SUTTON, B. G. & COLLIS GEORGE, N. Sustainable systems of soil management in vegetable production. **Acta Horticulture**, 247: 81 - 84, 1989.

- TAYLOR, S. A. Oxygen diffusion in porous media as a measure of soil aeration. **Soil Sci. Am. Proc.**, **14**: 55 – 61, 1949
- THOMASSON, A. J. Towards an objective classification of soil structure. **J. Soil Sci.**, **29**: 38 – 46, 1978.
- TISDALL, J. M. & ADEM, H. H. The effect of reduced tillage of an irrigated silty soil and of a mulch on seedling emergence, growth and yield of maize (*Zea mays*) harvested for silage. **Soil Tillage Res.** **6** : 365 - 375, 1986.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, **22**: 573 – 581, 1988.
- TURNER, N. C. Crop water deficits: a decade of progress. **Advances in Agronomy**, **39**: 1-51, 1986.
- VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. Methods of measuring field capacity and permanente wilting percentage of soils. **Soil Sci.**, **68**: 75-94, 1949.
- VERAS, M. de S. **Efeito do resíduo de fava d'anta na fertilidade de um solo arenoso, sob o cultivo do milho (*Zea mays* L.)**. São Luís: UEMA, p. 25, 1994.
- VOLKENBURGH, E.V. & BOYER, J.S. Inhibitory effects of water deficit on maize leaf elongation. **Plant Physiol.**, **77**: 190-194, 1984.
- VOORHEES, W. B. Wheel-induced soil physical limitations to root growth. **Advances in Soil Science**, **19**: 73 – 95, 1992.
- WADE, M. K.; SANCHEZ, P. A. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon basin. **Agronomy Journal**, **75**: 39 - 45, 1983.
- WILCOX, J.C. Rate of soil drainage following an irrigation. III. A new concept of the upper limit of available moisture. **Canad. J. Soil Sci.**, **42**: 122-28, 1962.