



Universidade Federal do Maranhão  
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

**INFLUÊNCIA DO USO DE COBERTURA SOBRE A  
RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO E EFICIÊNCIA  
DO USO DA ÁGUA NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS  
DO TRÓPICO ÚMIDO**

ANTONIA DE LIMA DA SILVA

Chapadinha

2015

ANTONIA DE LIMA DA SILVA

**INFLUÊNCIA DO USO DE COBERTURA SOBRE A  
RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO E EFICIÊNCIA  
DO USO DA ÁGUA NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS  
DO TRÓPICO ÚMIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Orientador: Drº. Emanuel Gomes de Moura

Chapadinha  
2015

Silva, Antonia de Lima da

Influência do uso de cobertura sobre a resistência do solo à penetração e eficiência do uso da água nas condições edafoclimáticas do trópico úmido / Antonia de Lima da Silva. – 2015.

37 f.

Impresso por computador (fotocópia).

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, 2015.

1.Solo. 2. Solo- resistência. 3. Solo-cobertura. 4. Irrigação. I. Título

CDU 631.4

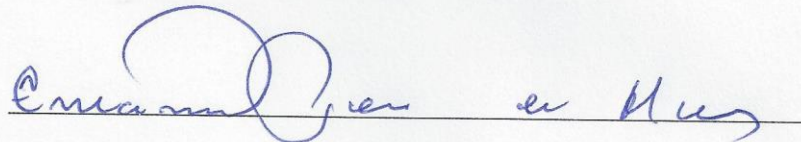
ANTONIA DE LIMA DA SILVA

**INFLUÊNCIA DO USO DE COBERTURA SOBRE A  
RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO E EFICIÊNCIA  
DO USO DA ÁGUA NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS  
DO TRÓPICO ÚMIDO**

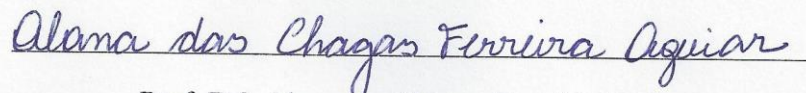
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão,  
como requisito para obtenção do título de Mestre em  
Ciência Animal.

Aprovada em 07 / 05 / 2015

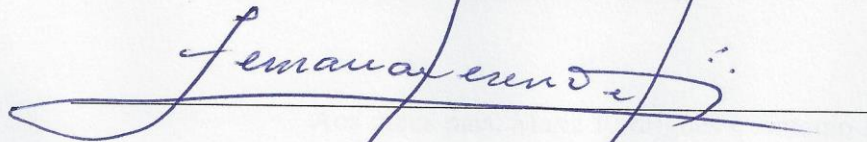
BANCA EXAMINADORA



Prof. Drº. Emanuel Gomes de Moura  
Universidade Estadual do Maranhão (Orientador)



Prof. Drª. Alana das Chagas Ferreira Aguiar  
Universidade Federal do Maranhão



Prof. Drº. José Maria do Amaral Resende  
Universidade Federal do Maranhão

Aos meus pais, Maria Rodrigues e Antonio Domingos e a todos os que acreditaram em mim.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que me concedeu até o presente momento, em especial o dom da vida.

Aos meu pais, Maria Rodrigues e Antonio Domingos, que sempre me apoiaram em todos os momentos. Por todo amor que dedicaram a mim.

Ao Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura, pela disposição e orientação.

À Banca Examinadora, por disponibilizar do seu tempo e conhecimento a fim de contribuir para melhoria desse trabalho.

A todos meus familiares pelos quais tenho imenso amor, em especial a minhas irmãs Mauricelia Lima e Mauriane Lima pelo apoio e incentivo e por todos momentos compartilhados juntas.

A minha querida avó materna Joana Rodrigues (*In memoriam*) que com imensa saudade sou grata pelos ensinamentos.

Ao meu grande amigo e companheiro Clemeson Vale, pelos conselhos, ajuda, cobranças e principalmente, pela segurança que me transmitia nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos de turma, Celso, Danielle Firmo, Dihego Bonfim, Gabriel Neves, Karoline Soares, Osman Gerude e Paull Andrews, pela amizade e convívio agradável durante o curso.

Aos meus amigos e irmãos de alma, Camila Ferreira, Isabela Almeida, Juscelino Silva e Welder José, pela amizade e companheirismo.

Aos colegas Francielle Rodrigues e Vinicius Macedo pela imensa ajuda e realização dos trabalhos de campo.

À Universidade Estadual do Maranhão, pela concessão da área experimental.

À Universidade Federal do Maranhão e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, pela oportunidade.

À FAPEMA pela concessão da bolsa e apoio financeiro.

A todos que de uma alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

No trópico úmido, a construção e manutenção da fertilidade dos solos representam grande desafio para os agricultores e também para os pesquisadores que se dedicam à implantação de sistemas agrícolas sustentáveis. Objetivou-se avaliar a influência do uso de cobertura do solo, do incremento de nitrogênio inorgânico e eficiência do uso da água sobre a resistência mecânica do solo à penetração, conteúdo de clorofila e os parâmetros produtivos do milho nas condições agroambientais do trópico úmido. Os tratamentos avaliados foram: Milho com cobertura do solo + nitrogênio inorgânico ( $N_{inorg}$ ) + turno de rega a cada 4 dias (4CN); Milho com cobertura do solo + turno de rega a cada 4 dias (4C); Milho sem cobertura do solo +  $N_{inorg}$  + turno de rega a cada 4 dias (4SN); Milho sem cobertura do solo + turno de rega a cada 4 dias (4S); Milho com cobertura do solo +  $N_{inorg}$  + turno de rega a cada 8 dias (8CN); Milho com cobertura do solo + turno de rega a cada 8 dias (8C); Milho sem cobertura do solo +  $N_{inorg}$  + turno de rega a cada 8 dias (8SN); Milho sem cobertura do solo + turno de rega a cada 8 dias (8S). Na leitura I do Teor Relativo de Clorofila (TRC I), o tratamento 4CN diferiu de todos os outros tratamentos, sendo semelhante apenas com o tratamento 4SN. Os teores de umidade do solo diferiram entre os tratamentos nas avaliações realizadas aos 4 e 8 dias após a irrigação, na avaliação realizada aos 4 dias após a irrigação, os tratamentos 4CN, 4C e 8C com maiores porcentagens diferiram dos tratamentos 4SN, 4S e 8SN. Com relação a resistência do solo à penetração (RP), na avaliação 4 dias após a irrigação foi constatado que não houve diferenças entre os tratamentos nas camadas superficiais de 0-5 cm, já na camada 6-10 cm, o tratamento 8S diferiu dos demais tratamentos, apresentando maior RP de 1,53 MPa. Com relação à avaliação realizada aos 8 dias após a irrigação, verificou-se diferenças entre os tratamentos dentro de cada profundidade e resistência máxima à penetração (P<sub>MAX</sub>). A maioria dos componentes de produtividade demonstra que o tratamento 4CN promoveu diferenças significativas quando comparado aos tratamentos que receberam turno de rega de 8 dias. Em relação a eficiência do uso da água, os tratamentos com turno de rega de 8 dias, mostraram-se mais eficientes, apresentando o valor máximo de 17,28 kg/m<sup>3</sup>. Diante o exposto, conclui-se que a eficiência do uso da água foi superior nos tratamentos com maior turno de rega independente da presença ou não de cobertura do solo.

Palavras-chaves: nitrogênio, intervalo de irrigação, clorofila, qualidade do solo.

## ABSTRACT

In the humid tropics, construction and soil fertility maintenance represent a challenge for farmers and also for the researchers who are dedicated to the implementation of sustainable farming systems. The objective was to evaluate the influence of ground cover use of inorganic nitrogen and increase efficiency of water use on the soil mechanical resistance to penetration, chlorophyll content and productive corn parameters in the agri-environmental conditions of the humid tropics. The treatments were: soil cover with corn + inorganic nitrogen (Ninorg) + shift watering every 4 days (4CN); Corn with ground cover + shift watering every 4 days (4C); Without mulching corn + shift + Ninorg watering every 4 days (4SN); Corn without soil cover + shift watering every 4 days (4); Corn with ground cover + shift + Ninorg watering every 8 days (8CN); Corn with ground cover + shift watering every 8 days (8C); Without mulching corn + Ninorg + shift watering every 8 days (8SN); Corn without cover soil + shift watering every 8 days (8S). In reading I to relative chlorophyll content (CRT I) 4CN treatment differed from all the other treatments being similar only with the 4SN treatment. Soil moisture levels differ between treatments in the evaluations performed at 4 and 8 days after irrigation, the evaluation performed at 4 days after irrigation, the 4CN treatments, 4C and 8C with higher percentages differ from 4SN treatments, 4S and 8SN. Regarding the soil penetration resistance (RP), in assessing four days after irrigation was found that there were no differences between treatments in the superficial layers of 0-5 cm, as in the layer 6-10 cm, the 8S treatment differed from other treatments, with higher PR of 1.53 MPa. With respect to the evaluation performed on the 8th day after the irrigation, it was found differences between treatments within each depth and maximum penetration resistance (P<sub>MAX</sub>). Most productivity components 4CN demonstrates that treatment promoted significant differences when compared to treatments with irrigation every 8 days. Regarding the efficiency of water use, treatment with 8-day irrigation schedule, proved to be more efficient, with the maximum value of 17.28 kg / m<sup>3</sup>. In view of the foregoing, it is concluded that the efficiency of water usage was higher than in treatments with high turn independently of the presence or non-watering of the soil cover.

Key-words: nitrogen, irrigation interval, chlorophyll, soil quality.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
2.1 Condições Edafoclimáticas do Trópico Úmido.....	14
2.2 Adubação Nitrogenada.....	15
2.3 Eficiência do Uso da Água (EUA).....	17
2.4 Resistência Mecânica do Solo à Penetração.....	18
2.5 Uso de Cobertura do Solo.....	19
<b>3. OBJETIVO.....</b>	<b>21</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
4.1 Localização da Área Experimental, Clima e Solo.....	21
4.2 Descrição do Experimento.....	21
4.3 Condução do Experimento.....	23
4.4 Teor Relativo de Clorofila (TRC).....	24
4.5 Índice de Área Foliar (IAF).....	25
4.6 Física do Solo.....	25
4.7 Eficiência do Uso da Água (EUA).....	26
4.8 Análise Estatística.....	26
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>27</b>
5.1 Teor Relativo de Clorofila (TRC) e Índice de Área Foliar (IAF).....	27
5.2 Resistência Mecânica do Solo à Penetração (RP) e Umidade do Solo.....	28
5.3 Componentes de Produtividade do Milho e Eficiência do Uso da Água (EUA).....	30
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>33</b>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b> Teor relativo de clorofila (TRC I e TRC II) e índice de área foliar ( $m^2/m^2$ ) para os diferentes tratamentos.....	27
<b>Tabela 2.</b> Resistência à penetração ao longo do perfil do solo (MPa) e umidade do solo (%) para os diferentes tratamentos . .....	29
<b>Tabela 3.</b> Valores médios de espigas por parcela, peso de 100 grãos (g), matéria seca (Mg/ha), produtividade (Mg/ha) e índice de colheita (%) do milho e eficiência do uso da água ( $kg/m^3$ ) sob diferentes tratamentos.....	31

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Croqui da área experimental. ....	22
<b>Figura 2.</b> Esquema dos sulcos de irrigação. ....	23
<b>Figura 3.</b> (a) Local de amostragem na folha da planta de milho e (b) o clorofilômetro (SPAD-502) utilizado para determinar o TRC (Adaptado de Peterson et al., 1993).....	24
<b>Figura 4.</b> Determinação da área foliar. ....	25

## 1. INTRODUÇÃO

No trópico úmido, a construção e manutenção da fertilidade dos solos representam grandes desafios para os agricultores e também para os pesquisadores que se dedicam à implantação de sistemas agrícolas sustentáveis, em virtude da combinação espacial de solos de reduzida fertilidade natural, altamente intemperizados e em grande parte, derivados de rochas sedimentares e por isso, apresentam estrutura frágil, baixa capacidade de retenção de cátions e teores de outros nutrientes também baixos (MOURA et al., 2010).

Esses solos possuem uma alta propensão à coesão, pois além de características granulométricas favoráveis a esse fenômeno, esses solos apresentam níveis muito baixos de carbono orgânico e ferro livre, e são submetidos a umedecimento na estação chuvosa (entre janeiro e junho) seguido de secagem na estação de intenso déficit hídrico (entre julho e dezembro), o que culmina em um ciclo de recompactação que reduz consideravelmente o espaço poroso, com efeitos drásticos sobre a disponibilidade de oxigênio, água e nutrientes e com uma grande redução da “enraizabilidade” e da eficiência de uso dos nutrientes (AGUIAR et al., 2010).

Com o intuito de garantir a melhoria da qualidade e conservação do solo, o uso de cobertura da superfície é uma das alternativas para o manejo sustentável no trópico úmido brasileiro, em que o processo de cobertura do solo possibilita a elevação dos níveis de matéria orgânica, amortecimento do impacto das gotas de chuva, manutenção da umidade e estruturação do solo, atuando principalmente na regulação térmica da zona radicular em virtude da redução das perdas de água por evaporação, resultando na preservação da água no perfil do solo (MOURA et al., 2009).

Quanto à produção de grãos, em sua grande maioria é realizada por pequenos e médios produtores, com destaque a região norte-nordeste, em que o reduzido nível tecnológico e o limitado acesso de fontes exógenas de nutrientes, principalmente fontes nitrogenadas, proporcionam reflexos negativos aos rendimentos produtivos (CARVALHO et al, 2012). Aliado a estes problemas tem-se o elevado custo dos fertilizantes nitrogenados e as quantidades insuficientes na maioria dos solos brasileiros desse elemento, tornando-se crucial o fornecimento em concentrações adequadas para garantir o crescimento, desenvolvimento e a produtividade das culturas.

Por sua vez, demais fatores como a indisponibilidade hídrica e a exposição a altas taxas de evapotranspiração, devem ser considerados por limitar os processos

fotossintéticos e eficiência no uso do nitrogênio, o que proporciona como mecanismo de defesa a translocação de fotoassimilados às raízes, alterando seu crescimento e por fim, refletindo negativamente nas produções. Tais processos, bem como os teores de nitrogênio nos tecidos vegetais, podem ser mensurados em função dos pigmentos clorofilados, que atuam na conversão da energia luminosa em energia química. A quantificação dos níveis de clorofila é um procedimento relevante no estudo das práticas de adubações, objetivando a elevação da eficiência fotossintética dos vegetais e, conseqüentemente com desenvolvimento satisfatório e adaptabilidade aos diferentes agroambientes (MOREIRA et al., 2011).

No entanto, metodologias tradicionais de extração e determinação da clorofila e conseqüentemente do nitrogênio foliar, ainda que fáceis, são considerados demorados e onerosos. Sendo assim, o uso de métodos indiretos por meio de medidores portáteis de clorofila oferecem vantagens quanto a rapidez, facilidade e praticidade na obtenção desses resultados, dentre eles o SPAD (Soil Plant Analyses Development), desenvolvido para avaliar em tempo real o estado de nitrogênio no tecido vegetal (FONSECA et al., 2012).

Contudo, vale ressaltar que estudos regionais são necessários para o melhor aproveitamento das potencialidades e entendimento dos mecanismos que promovem alterações no solo pelo uso de cobertura vegetal e adubações, que podem auxiliar na determinação de práticas de manejo que melhorem o rendimento das culturas. Deste modo, pesquisas devem ser direcionadas para alcançar altos índices de produção e da eficiência do uso de nitrogênio inorgânico bem como do uso da água, sem reduções acentuadas da produtividade nas condições agroambientais do trópico úmido.

Diante do exposto, o presente estudo parte da hipótese de que a enraizabilidade do solo, o teor de clorofila das plantas e os componentes de produtividade da cultura do milho podem ser melhorados com o uso de cobertura do solo, incremento de nitrogênio inorgânico; e que os intervalos de irrigações podem influenciar de maneira positiva a eficiência do uso da água nos solos propensos à coesão do trópico úmido.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Condições Edafoclimáticas do Trópico Úmido

No trópico úmido brasileiro, às margens da região amazônica, existem muitos desafios a serem superados para estabelecer e a manter sistemas agrícolas produtivos e sustentáveis, pois esse agrossistema apresenta condições de solos de baixa fertilidade natural e poucas expectativas para os agricultores familiares. Tais desafios surgem a partir da combinação de fatores que reduzem a eficiência do uso de nutrientes agrícolas, o primeiro fator é o endurecimento do solo, causado por repetidos ciclos de molhamento e secagem dos solos com baixos níveis de ferro livre e de carbono orgânico, causando redução do volume de solo hábil para o bom enraizamento das culturas (MULLINS, 1999). O segundo fator é a alta taxa de remoção de nutrientes do perfil do solo decorrente da lixiviação e da baixa capacidade de retenção de cátions dos solos altamente intemperizados, que ocorrem com muita frequência nas regiões dos trópicos (MOURA et al., 2010).

Mais de 60% dos solos são derivados de rochas sedimentares, desestruturados, com baixa capacidade de retenção de cátions, e classificados principalmente como Argissolos, Plintossolos e Latossolos (MOURA et al., 2010). Do ponto de vista climático, tem-se de modo geral na região um período seco de cinco a seis meses, dos quais três podem ser considerados muito secos, com menos de 8% das chuvas. No período chuvoso de seis a sete meses, pelo menos dois podem ser considerados muito chuvosos com mais de 40% de um total de aproximadamente 2000 mm anuais (AGUIAR, 2006).

Além disso, a queima de biomassa em virtude do sistema corte e queima é a maior fonte de emissão de carbono e a segunda maior fonte de gases-traço para a atmosfera, o que contribui significativamente para as mudanças climáticas e o aquecimento global (AKAGI et al., 2010). Entre 1997 e 2005, por exemplo, foi lançada no ar, devido às práticas de queima da vegetação primária, uma média de 2.714 Tg de CO<sub>2</sub> por ano (MIEVILLE et al., 2010).

Diante de tais características peculiares do trópico úmido, alternativas de manejo geradas para esse agrossistema devem levar em consideração as especificidades de clima e solo. Segundo Moura et al. (2009), O processo continuado de aplicação de resíduos vegetais na superfície do solo como cobertura proporcionam reduções das perdas de umidade, melhorando a retenção dos nutrientes na zona radicular, principalmente nas condições do

trópico úmido, uma vez que as perdas de nutrientes por lixiviação são frequentes em virtude das altas taxas pluviométricas.

## **2.2 Adubação Nitrogenada**

Dentre os elementos essenciais para o crescimento das plantas, o nitrogênio deve ser destacado, em virtude de ser o mais caro e requerido em maiores quantidades pela maioria das culturas. O nitrogênio (N) possui papel fundamental no metabolismo vegetal, por participar, diretamente, na biossíntese de proteínas e clorofilas, sendo importante no estágio inicial de desenvolvimento da planta, período em que a absorção é mais intensa. Além disso, o N influencia a taxa de emergência, de expansão e duração da área foliar, assim atuando na interceptação da radiação fotossinteticamente ativa bem como no uso eficiente desta e nos seus efeitos sobre a taxa fotossintética e a produção de biomassa seca (CANCELLIER, 2012).

Visando atender à crescente demanda mundial de alimentos e desenvolver soluções tecnológicas que levem a redução do risco associado à atividade agrícola tem-se buscado uma maior eficiência no uso do nitrogênio em solos tropicais. A obtenção de maior eficiência no uso desse elemento tem sido um objetivo almejado tanto para a agricultura capitalizada, quanto para a de baixos insumos, isto porque, os desperdícios e a escassez do nitrogênio podem gerar problemas econômicos, ambientais, de saúde pública e de segurança alimentar (CARVALHO et al, 2012).

O manejo do N tem sido bastante estudado com o intuito de melhorar a sua eficiência de uso, pois 98% do N no solo encontrar-se na forma orgânica, sendo que apenas 2% apresentam-se sob formas inorgânicas de amônio e/ou nitrato (OKUMURA et al, 2011). O uso de adubação nitrogenada para complementar a quantidade suprida pelo solo otimiza o potencial produtivo, uma vez que a maioria dos solos brasileiros apresenta baixa fertilidade natural.

Em geral, a eficiência nutricional pode expressar a relação entre a produção obtida e os insumos aplicados. Isto significa que a eficiência nutricional é a quantidade de matéria seca ou grãos produzidos por unidade de nutriente aplicado (CARVALHO et al, 2012). No entanto, a eficiência no uso de nutrientes constitui-se de um sistema complexo, principalmente por depender de vários processos fisiológicos, tais como absorção, assimilação e retranslocação do nitrogênio pela planta.

O suprimento inadequado de nitrogênio é considerado um dos principais fatores limitantes à produtividade de grãos, em que, quando da condição de deficiência de nitrogênio na planta resultam em menor produção de clorofila e proteínas, conseqüentemente implicará em menor produção de fotoassimilados, e menor conversão de massa verde. O manejo da adubação nitrogenada deve suprir a demanda da planta, nos períodos críticos, e minimizar o impacto no ambiente, pela redução de perdas (FERNANDES & LIBARDI 2007).

Por ser um dos elementos que mais contribuem para a contaminação de lençóis freáticos, responsável por grande parte dos custos de adubações, práticas conservacionistas têm sido propostas visando a melhoraria da administração de N e, simultaneamente, ao aumento de produtividade com a proteção do meio ambiente, reduzindo a concentração de nitratos no solo e na água. Alternativamente o uso de leguminosas, por meio da fixação biológica de N, melhoram características químicas e biológicas do solo. Outra estratégia é a seleção e/ou o desenvolvimento de cultivares com maior eficiência no uso de nitrogênio (SOUZA et al., 2009).

No entanto, metodologias tradicionais de extração e determinação da clorofila e conseqüentemente do nitrogênio foliar, ainda que fáceis, são considerados demorados e onerosos. Sendo assim, o emprego de medidor portátil de clorofila, equipamento que permite medições instantâneas do índice de clorofila foliar (SPAD), constitui alternativa promissora para avaliação do teor de nitrogênio nas plantas, o que possibilita o manejo mais eficiente da adubação nitrogenada. As razões para isso são: a leitura pode ser realizada em poucos segundos; o aparelho tem custo mínimo de manutenção, ao contrário de outros testes que exigem compra sistemática de produtos químicos; não há necessidade de envio de amostras para laboratório; e podem ser realizadas quantas amostragens forem necessárias, sem destruição de folhas (RAMBO et al., 2008).

A relação entre o teor de nitrogênio foliar e a leitura SPAD é atribuída ao fato de mais de 50% do nitrogênio total das folhas serem integrantes de compostos do cloroplasto e da clorofila das folhas, o que favorece ao maior crescimento e desenvolvimento da planta e, por conseqüência proporciona a um maior índice de área foliar e acúmulo de carboidratos em função da fotossíntese. Deste modo, a planta torna-se mais apta para alocar carboidratos para o sistema radicular, o que promove um maior desenvolvimento e maior aproveitamento do nitrogênio disponível, seja o nitrogênio proveniente do solo ou do fertilizante (VELOSO et al. 2009).



### 2.3 Eficiência do Uso da Água (EUA)

O conteúdo de água no solo é um dos componentes do ciclo hidrológico que influencia diretamente a quantidade de água disponível para as culturas agrícolas, o que por sua vez afeta o seu desenvolvimento, crescimento, produtividade e a necessidade de irrigação. Um dado importante para a estimativa da necessidade hídrica da cultura é a profundidade efetiva do sistema radicular ( $Z$ ), ou seja, a profundidade onde se concentram 80% das raízes da cultura (FERREIRA, 2007).

Alguns fatores abióticos, como por exemplo, o estresse hídrico pode interferir na produtividade das culturas, desde o início do ciclo de desenvolvimento, reduzindo o acúmulo de fitomassa, velocidade de crescimento e conseqüentemente afetando a produtividade final. O déficit hídrico induz o decréscimo da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas; assim, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de  $CO_2$  para produção de carboidratos (COELHO, 2013).

A demanda atmosférica está entre as principais variáveis ambientais que influenciam na abertura e fechamento dos estômatos. O aumento da demanda atmosférica reduz a eficiência de uso da água pela planta. Se as plantas estão em estresse por deficiência hídrica, isto é, se a transpiração supera a capacidade de absorção de água do solo para reposição nas folhas, pode ocorrer o fechamento dos estômatos e cessação da fotossíntese, com conseqüente redução na produção de biomassa (PRIMAVESI et al., 2007).

Embora a água seja um dos principais componentes de produção que afeta a produtividade das culturas, sua variabilidade dentro da área irrigada é, frequentemente, ignorada. Contudo, à aplicação espacialmente diferenciada de água ou irrigação de precisão permite maximizar a produtividade e a eficiência do uso da água em solos com variação espacial da disponibilidade hídrica (QUEIROZ, 2007).

No entanto, é necessário fazer uso eficiente da água de irrigação, uma vez que aplicações de água insuficiente repõe a água apenas nas camadas superficiais do solo, não umedecendo a região das raízes. Por outro lado, irrigações excessivas acarretam perda de água e nutrientes, pela percolação abaixo da zona das raízes.

O desenvolvimento de inovações para a economia de água de irrigação é importante especialmente em regiões com escassez de água, aumentando assim a eficiência do uso da água (EUA) (GENCOGLAN et al., 2006). Um sistema de produção é mais eficiente no

uso da água quando minimiza as perdas por drenagem, evaporação e escoamento superficial, aumentando o volume de água disponível para as plantas. A EUA pela planta é uma das formas de se analisar a resposta dos cultivos às diferentes condições de disponibilidade de água. Normalmente, é definida como a relação entre a produção de biomassa, ou produto comercial, pela quantidade de água aplicada ou evapotranspirada.

Em agricultura irrigada, a elevação e a determinação dos níveis da EUA são bastante complexos e requerem conhecimentos e considerações interdisciplinares. Isto pode ser alcançado mediante a introdução de métodos e dispositivos de irrigação avançados e melhorias das práticas de gestão da água nas áreas produtivas (RAHIL & QANADILLO, 2015).

#### **2.4 Resistência Mecânica do Solo à Penetração**

As condições físicas do solo alteram direta e indiretamente a produção vegetal e a qualidade ambiental. Por isso, solos com bom índice de agregação e bem manejados funcionam adequadamente para manter o balanço equilibrado de ar e água, a ciclagem de nutrientes e o crescimento do sistema radicular das plantas. Essa é uma condição dinâmica, dependente das características pedogenéticas do solo e fortemente influenciada pelas condições de uso e manejo (TORMENA et al., 2008).

A degradação física do solo é associada às perdas de matéria orgânica e da integridade estrutural dos solos. De acordo com Omuto (2008), a perda da qualidade física do solo está associada com modificações dos arranjos de agregados e poros do solo, reduzindo a disponibilidade de ar, água e nutrientes necessários à produção de biomassa.

Essas mudanças interferem nas características da superfície do solo, resultando na compactação do solo, nas mudanças na distribuição e no tamanho de poros, redução da taxa de infiltração de água no solo, diminuição da água disponível, perda de matéria orgânica, redução da diversidade e atividade de microrganismos e no aumento da suscetibilidade à erosão do solo (ÁLVARO-FUENTES et al, 2008).

Para avaliar a qualidade física, a resistência do solo à penetração (RP) é considerada a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes.

A RP apresenta correlação com o crescimento radicular e, conseqüentemente, a parte aérea das plantas. Destacando-se como um indicador tão sensível à compactação do

solo, quanto sua densidade global. O uso da estimativa da resistência do solo a penetração é eficiente na identificação da compactação quando acompanhado da determinação do teor de água no solo na ocasião da estimativa da RP e da densidade do solo, pois a RP varia de forma inversamente proporcional ao teor de água no solo e diretamente com a densidade do solo (FREDDI et al., 2009).

Os níveis críticos de resistência mecânica do solo, para o crescimento radicular das plantas, variam com o tipo de solo e a espécie cultivada (MARTINS et al. 2009). Assim, recomenda-se sua avaliação quando o teor de água do solo estiver próximo ao valor da capacidade de campo. Na literatura, são mencionados valores que variam entre 2,5 MPa a 4,9 MPa, podendo atingir as profundidades de 5 cm e 10 cm. Valores de resistência mecânica a penetração do solo entre 2,0 MPa e 3,0 MPa são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular de várias culturas (HAMZA & ANDERSON, 2005).

A análise das alterações ocorridas nas propriedades físicas do solo pode contribuir para o desenvolvimento de técnicas de manejo, sendo uma maneira prática de se identificar as condições em que o solo se encontra em relação à compactação decorrente do manejo utilizado. A adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo tem recebido grande ênfase, basicamente no que se refere à manutenção e à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados e suas implicações na produtividade das culturas. Essas práticas de manejo aumentam a matéria orgânica na camada superficial, onde os resíduos culturais concentram-se pela ausência de incorporação física através do revolvimento do solo (SILVA et al., 2005).

## **2.5 Uso de Cobertura do Solo**

A implantação e o manejo de sistemas agrícolas sustentáveis nas condições locais do trópico úmido são os maiores desafios da maioria dos agricultores familiares, que utilizam as queimadas como manejo de preparo inicial das áreas e as cinzas para correção e fertilização do solo. As populações que se dedicam à agricultura, na ausência de alternativas adequadas e uso de baixa tecnologia no preparo do solo proporcionam efeitos negativos ao ambiente local e global, sem a contrapartida de benefícios sociais para as comunidades rurais (AGUIAR et al., 2010).

A maneira como o solo é manejado condiciona formas a superfície do terreno, em que na ausência de cobertura do solo por resíduos culturais, as microdepressões

resultantes do preparo do solo, deixam o solo irregular ou rugoso e assume importância fundamental na redução do escoamento da água da chuva e aumentando a infiltração no solo. Em adição, a rugosidade superficial do solo causa aprisionamento dos sedimentos do escoamento, promovendo sua deposição e reduzindo as perdas de solo da lavoura (VOLK et al, 2004).

Para reduzir a coesão dos solos, alguns autores como Becher et al. (1997) recomendaram a aplicação de resíduos na superfície morta para fornecer cobertura do solo. O processo continuado de aplicação de resíduos vegetais na superfície do solo, segundo Moura et al. (2009), proporcionam reduções das perdas de umidade (o que diminui consideravelmente a coesão por interromper os ciclos de umedecimento-secagem-umedecimento) e evita a recompactação, resultando na melhoria da retenção dos nutrientes na zona radicular, na enraizabilidade, na aeração e na infiltração.

Os efeitos da cobertura sobre as populações espontâneas têm origem em processos aleloquímicos e na formação de uma barreira física, devido à acumulação de biomassa, que diminui a incidência da luz onde se encontram os bancos de sementes. Em trabalhos conduzidos por Aguiar et al. (2010), sob as condições edafoclimáticas do trópico úmido, demonstrou-se os benefícios da cobertura do solo sobre os indicadores físicos de qualidade do solo, como a densidade, a porosidade total e a capacidade de aeração, uma vez que a destruição dos agregados em solos arenosos, seja pelo uso de máquinas no preparo do solo ou pela ausência de cobertura para absorver os impactos das gotas de chuva, força a água e o ar a circularem nos mesmos espaços intersticiais, o que diminui o coeficiente de difusão de oxigênio e causa um declínio da respiração da raiz, da absorção de água pelas plantas, da disponibilização de N e, conseqüentemente, da capacidade fotossintética da planta.

São medidas fundamentais à conservação, melhoria dos solos do trópico úmido brasileiro e no aumento da produtividade local: plantio direto na palha de leguminosas, cobertura da superfície edáfica, mediação biológica de nutrientes e o uso de fertilizantes (AGUIAR et al., 2009; MOURA et al., 2010). Com a melhoria da estrutura do solo, há incremento na disponibilidade de água e na difusão de oxigênio, e redução na resistência do solo à penetração das raízes.

### 3. OBJETIVO

Avaliar sob condições de campo a influência do uso de cobertura do solo, do incremento de nitrogênio inorgânico, e da eficiência do uso da água sobre o conteúdo de clorofila, resistência mecânica do solo à penetração e os componentes produtivos do milho nas condições agroambientais do trópico úmido.

### 4. MATERIAL E MÉTODOS

#### 4.1 Localização da Área Experimental, Clima e Solo

O experimento foi conduzido no Campo experimental do Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural do Curso de Agronomia pertencente à Universidade Estadual do Maranhão, situado no interior da Ilha de São Luis-MA, região do meio-norte brasileiro, entre a Amazônia úmida e o Nordeste seco. As coordenadas geográficas compreendem 2° 30' S e 44° 18' W. O clima da região classificado segundo Köppen é do tipo Aw, Equatorial quente e úmido, com estação quente e úmida bem definida: alta pluviosidade nos meses de janeiro a junho e seca com déficit hídrico acentuado de julho a dezembro. As precipitações variam entre 1.600 a 2.000 mm anuais, das quais cerca de 80% concentram-se no primeiro semestre com temperatura média local encontrando-se na faixa de 26° C.

O solo da área é caracterizado como um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2013). Antecedendo a implantação do experimento ocorreu um incêndio acidental na área proveniente de uma área circunvizinha, o que contribuiu para a fertilização da área pela cinza depositada na camada superficial, resultando assim em um sistema corte e queima.

#### 4.2 Descrição do Experimento

O experimento foi implantado em uma área de 640 m<sup>2</sup>, onde a cultura plantada foi milho cultivar AG 1055. Os tratamentos avaliados foram:

Tratamento 1: Milho com cobertura do solo + nitrogênio inorgânico (N<sub>inorg</sub>) + turno de rega a cada 4 dias (4CN);

Tratamento 2: Milho sem cobertura do solo + N<sub>inorg</sub> + turno de rega a cada 4 dias (4SN);

Tratamento 3: Milho com cobertura do solo + turno de rega a cada 4 dias (4C);

Tratamento 4: Milho sem cobertura do solo + turno de rega a cada 4 dias (4S);

Tratamento 5: Milho com cobertura do solo + N<sub>inorg</sub> + turno de rega a cada 8 dias (8CN);

Tratamento 6: Milho sem cobertura do solo +  $N_{\text{inorg}}$  + turno de rega a cada 8 dias (8SN);

Tratamento 7: Milho com cobertura do solo + turno de rega a cada 8 dias (8C);

Tratamento 8: Milho sem cobertura do solo + turno de rega a cada 8 dias (8S);

A biomassa exportada utilizada para cobertura do solo nas parcelas que receberam esse tratamento foi proveniente da leguminosa *Acacia mangium* (acácia).

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com arranjo fatorial  $2 \times 2 \times 2$ , sendo o primeiro fator o turno de rega (4 e 8 dias); o segundo fator adotado foi cobertura do solo (com e sem leguminosa) e o terceiro fator foi aplicação de nitrogênio inorgânico (com e sem nitrogênio inorgânico), composto por 8 tratamentos e 4 repetições, resultando em 32 parcelas (Figura 1).

Cada parcela experimental continham  $20 \text{ m}^2$ , com as dimensões de  $5,0 \times 4,0 \text{ m}$ , nas quais constavam plantadas 5 linhas de milho. Considerou-se como área útil de  $6,75 \text{ m}^2$ , representada pelas 3 linhas centrais.

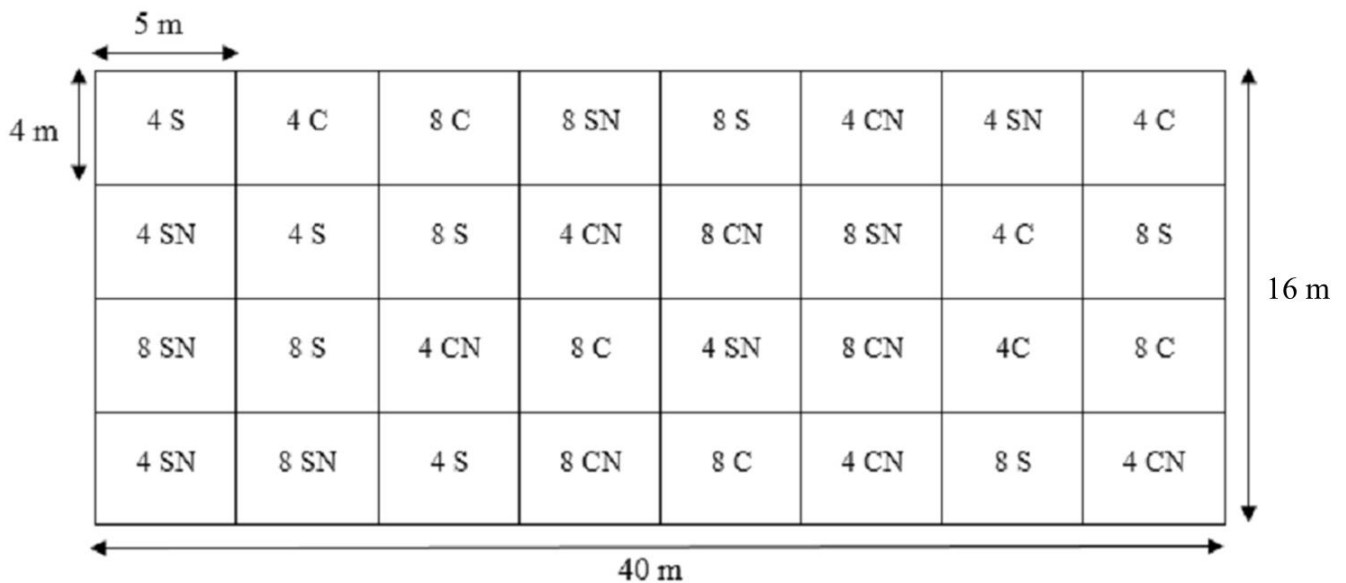


Figura 1. Croqui da área experimental.

Os sulcos de irrigação foram feitos manualmente com auxílio de enxada, apresentavam formato triangular, com largura de 20 cm e profundidade de 10 cm, conforme Figura 2.

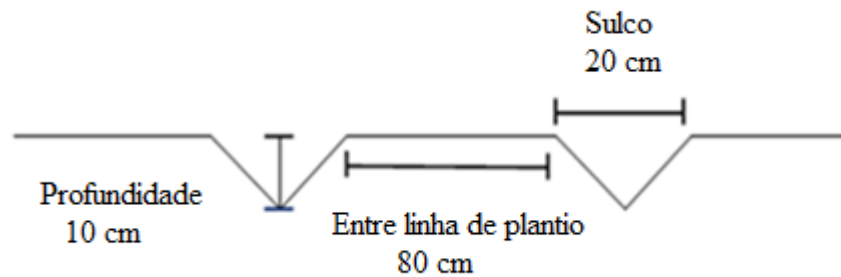


Figura 2. Esquema dos sulcos de irrigação.

### 4.3 Condução do Experimento

A correção da acidez do solo foi realizada por meio de calagem com aplicação superficial de cal hidratada, levando em consideração a recomendação de 2 toneladas/ha. As sementes de milho, cv. AG 1055 foram semeadas com distribuição manual das sementes nos sulcos de plantio, o desbaste foi realizado manualmente 20 dias após a emergência (DAE), mantendo 4 plantas/metro. O espaçamento adotado foi de 0,80 x 0,25 m. O manejo da irrigação foi por turno de rega levando em consideração o tratamento empregado.

Na adubação de semeadura foi utilizado 60-120-60 Kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, na forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. Aplicou-se zinco (Zn) seguindo a recomendação de 5 Kg de Zn/ha, na forma de sulfato de zinco. Para adubação de cobertura foram aplicados 40 Kg/ha de N, na forma de ureia e 40 Kg/ha de K na forma de cloreto de potássio. Vale ressaltar que o nitrogênio inorgânico (N<sub>inorg</sub>) foi distribuído apenas nas parcelas destinadas a receberem esse nutriente conforme o tratamento e os demais fertilizantes foram distribuídos na área total. Nas parcelas predeterminadas para receberem cobertura do solo, foram distribuídos uniformemente 640 Kg de biomassa de acácia, o que correspondeu a 40 Kg de nitrogênio orgânico (N<sub>org</sub>)/ha.

Os tratamentos sob irrigação por sulcos de circuito fechado foram de turno de rega de 4 e 8 dias, sendo que em cada irrigação os tratamentos recebiam lâmina d'água de 20 mm/m<sup>2</sup>, aplicada por gravidade no sulco, permanecendo até o período antecedente a colheita. A colheita dos grãos foi realizada aos 84 dias quando os grãos apresentaram cerca de 25% umidade.

Avaliou-se o número de espigas/planta, produtividade (Mg/ha), peso médio de 100 grãos (g) e matéria seca (Mg/ha). A avaliação da produção de massa seca da parte aérea

foi realizada por ocasião de coleta das plantas no estágio de maturação fisiológica, em que foram coletadas 5 plantas/parcela. O material vegetal coletado foi secado em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65° C, até massa constante, sendo posteriormente pesado e por fim determinado o índice de colheita (IC):

$$IC = \frac{PG}{PBT} \times 100$$

Onde: PG (Mg/ha) é a produção de grãos; PBT (Mg/ha) é a produção biológica total (GHOLIZADEH et al., 2011).

#### 4.4 Teor Relativo de Clorofila (TRC)

O nitrogênio na planta foi avaliado por meio de leitura de medida direta do teor de clorofila, fazendo-se uso de três plantas por parcela na antese e no início da maturação fisiológica. O teor de clorofila foi estimado por meio do medidor de clorofila modelo SPAD-502 (Minolta, Japão). As medidas foram realizadas em folhas escolhidas aleatoriamente em três plantas/parcela, somente da metade da folha para sua extremidade, excluindo-se a nervura central (Figura 3).

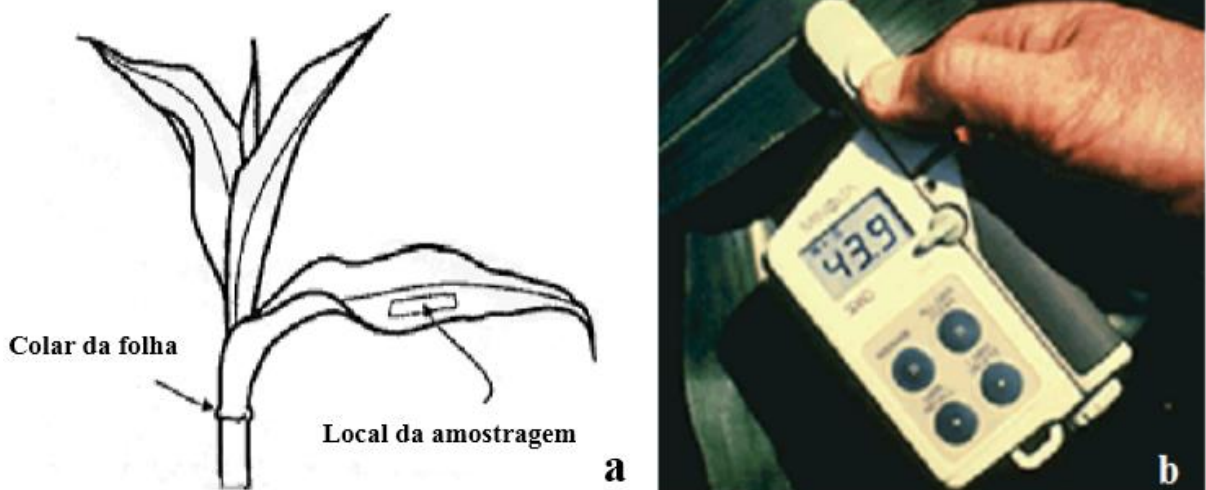


Figura 3. (a) Local de amostragem na folha da planta de milho e (b) o clorofilômetro (SPAD-502) utilizado para determinar o TRC (Adaptado de Peterson et al., 1993).



#### 4.5 Índice de Área Foliar (IAF)

As determinações de IAF foram realizadas na floração, com a utilização de três plantas/parcela, empregando-se fita métrica graduada em cm (Figura 4). A área foliar foi calculada através do produto das medidas de comprimento e largura de cada folha, multiplicada pelo fator de 0,75 (STICLER et al., 1961).

O IAF de cada amostra foi calculado através da divisão da área foliar verde da amostra (m<sup>2</sup>) pela área do terreno ocupada pela amostra (m<sup>2</sup>).



Figura 4. Determinação da área foliar.

#### 4.6 Física do Solo

A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada a cada 4 e 8 dias após a irrigação, totalizando duas leituras com 3 determinações de resistência (pontos/parcela), utilizando-se o Penetrômetro digital Falker, nas profundidades de 0-5, 6-10, 11-15, 16-20 cm.

A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico, com amostragens obtidas nas mesmas datas da avaliação da resistência mecânica do solo à penetração, em três pontos ao longo da linha de determinação, na profundidade de 0-20 cm. O cálculo da umidade foi realizado empregando-se a seguinte equação:

$$U = \frac{MU - MS}{MS} \times 100$$

Onde: U = umidade do solo (g/kg); UM = massa do solo úmido (g/kg); MS = massa do solo seco (g/kg).

#### 4.7 Eficiência do Uso da Água

A EUA é definida como a razão entre o rendimento da cultura à água de irrigação aplicada. A EUA foi calculada utilizando a seguinte expressão (LACERDA et al, 2009):

$$EUA = \frac{PG}{LI}$$

em que: PG = produção de grãos (Kg/ha) e LI = lâmina de irrigação acumulada (mm).

#### 4.8 Análise Estatística

Os resultados obtidos foram testados quanto à normalidade e submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Duncan a 5% de probabilidade no software *Infostat*.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Teor Relativo de Clorofila (TRC) e Índice de Área Foliar (IAF)

Na leitura I do Teor Relativo de Clorofila (TRC I), o tratamento 4CN apresentou maior TRC de 57,14 diferindo de todos os outros tratamentos, sendo semelhante apenas com o tratamento 4SN, ou seja, o TRC I foi influenciado pelo o turno de rega de 4 dias associado com a adubação nitrogenada (Tabela 1). A importância da água está relacionada com a fotossíntese, uma vez que o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento das plantas implica em menor disponibilidade de CO<sub>2</sub> para fotossíntese e na limitação dos processos de alongação celular.

Os resultados relativos ao TRC II mostraram semelhança entre os tratamentos, porém o tratamento 4CN apresentou maior TRC de 49,75 diferindo dos tratamentos 4S, 8CN, 8C, 8SN e 8S, constatando novamente que o menor turno de rega associado com a adubação nitrogenada proporcionou maior teor relativo de clorofila. Estes resultados podem ser justificados, em virtude do menor volume de água aplicado e da falta de manutenção da umidade do solo, o que pode ter resultado numa maior evaporação de água.

As médias do índice de área foliar (IAF) variaram de 2,11 a 3,35 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>; entretanto, todos os tratamentos com cobertura do solo (4CN, 4C, 8CN e 8C) apresentaram maiores IAF, diferindo do tratamento 8S (Tabela 1). Com o aumento do IAF, há uma maior interceptação da luz e, portanto, da fotossíntese, mas essa relação não é contínua indefinidamente, justificando-se pelo auto sombreamento que provoca uma diminuição na taxa fotossintética média por unidade de área foliar.

Tabela 1. Teor relativo de clorofila (TRC I e TRC II) e índice de área foliar (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) para os diferentes tratamentos.

Variáveis	4CN	4SN	4C	4S	8CN	8SN	8C	8S
TRC I	57,14 a	52,44 ab	44,36 bc	37,85 c	39,35 c	44,81 bc	39,38 c	43,55 bc
TRC II	49,75 a	47,61 ab	46,21ab	36,63 d	37,25 cd	38,59 bcd	31,38 d	31,47 d
IAF	3,28 a	2,84 ab	3,20 a	2,67 ab	3,35 a	2,82 ab	3,15 a	2,11 b

Médias com a mesma letra nas linhas, não diferem estatisticamente entre si (Duncan, p<0,05).

TRC I = teor relativo de clorofila leitura antese; TRC II = teor relativo de clorofila leitura no início da maturação fisiológica; IAF = índice de área foliar.

## 5.2 Resistência Mecânica do Solo à Penetração (RP) e Umidade do Solo

Houve diferenças entre os tratamentos nas avaliações realizadas aos 4 e 8 dias após a irrigação, no que se refere as porcentagens de umidade (Tabela 2). Na avaliação realizada aos 4 dias após a irrigação, os tratamentos 4CN, 4C e 8C com maiores porcentagens diferiram dos tratamentos 4SN, 4S e 8SN. Estes resultados indicam que a presença de cobertura do solo possibilitou maior capacidade de conservação da umidade do solo, atuando na redução da evaporação da água, o que favorece a disponibilidade de água e oxigênio, enraizabilidade, controle de erosão, maior controle de plantas daninhas, proteção do solo durante as chuvas intensas e melhoria na capacidade de infiltração de água no solo (MOURA et al, 2009).

No entanto, na avaliação realizada aos 8 dias após a irrigação os tratamentos que se mostraram mais eficientes quanto a manutenção da umidade do solo foram 4CN, 4C, 4S. Já os tratamentos que apresentaram menores porcentagens foram 4SN, 8CN, 8C e 8SN, estes resultados indicam que o turno de rega de 8 dias influenciou de maneira negativa a umidade do solo, nem mesmo a presença de cobertura atenuou a perda de água no solo.

Na avaliação 4 dias após a irrigação, os resultados de resistência à penetração indicaram menores valores nas camadas superficiais (Tabela 2). Foi constatado que não houve diferenças entre os tratamentos nas camadas superficiais de 0-5 cm, já na camada 6-10 cm, o tratamento 8S diferiu dos demais tratamentos, apresentando maior RP de 1,53 MPa. Estes resultados indicam que o aumento do intervalo de disponibilidade hídrica juntamente com a ausência de cobertura do solo podem ter ocasionado o aumento da RP, considerando a necessidade de cobertura do solo para controle de perdas de água e manutenção da umidade no solo.

Maiores variações de RP foram observadas nas profundidades 11-15 cm, 16-20 cm e na penetração máxima (P<sub>MAX</sub>) que é a maior resistência encontrada na profundidade de 0-20 cm. O tratamento 4CN apresentou menor RP em todas as profundidades avaliadas, do mesmo modo foi um dos tratamentos que obteve maior índice de umidade, provavelmente pela presença de cobertura do solo juntamente com o menor turno de rega, que agem de modo conjunto para a manutenção de teores mais elevados de água nas camadas avaliadas e auxiliam a redução dos valores de resistência à penetração.

Constatou-se que o tratamento 8S apresentou maior RP na camada 11-15 cm e na P<sub>MAX</sub>, com valores de 3,35 e 5,28 MPa, respectivamente; na camada 16-20 cm a maior

RP foi observada no tratamento 4SN. Estes valores apontam a profundidade em que o sistema radicular poderá encontrar-se em desenvolvimento reduzido da zona radicular e por consequência comprometer a produtividade. Valores entre 2,0 e 2,5 MPa têm sido indicados como os limites críticos de resistência do solo à penetração para a maioria dos vegetais (SILVEIRA et al., 2010).

Com relação a avaliação realizada aos 8 dias após a irrigação, verificou-se variações entre os tratamentos dentro de cada profundidade e P<sub>MAX</sub>. Entretanto nota-se que nas camadas 0-5 cm, 6-10 cm não há limitação ao crescimento radicular, o que já ocorre em profundidades maiores na maioria dos tratamentos. Na profundidade 11-15 cm, os tratamentos que apresentaram menores RP foram 4CN, 4C, 4S e 8C. Na profundidade de 16-20 cm, as maiores RP encontradas foram 3,33 e 4,68 MPa nos tratamentos 8S e 4SN, respectivamente. A máxima penetração foi observada no 4SN (5,25 MPa). No entanto, deve-se considerar que a RP possui relação potencial com a umidade do solo, em que com o aumento do teor de água, decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, o que provoca então a diminuição da resistência à penetração.

Tabela 2. Resistência à penetração ao longo do perfil do solo (MPa) e umidade do solo (%) para os diferentes tratamentos.

Resistência à penetração (MPa)	4CN	4SN	4C	4S	8CN	8SN	8C	8S
4 Dias								
0 - 5 cm	0,25 a	0,25 a	0,30 a	0,25 a	0,28 a	0,25 a	0,23 a	0,23 a
6 - 10 cm	0,75 a	0,98 a	0,95 a	0,78 a	1,08 a	0,98 a	1,08 a	1,53 b
11 - 15 cm	1,65 a	2,60 ab	2,33 ab	1,78 a	2,70 ab	2,35 ab	2,38 ab	3,35 b
16 - 20 cm	2,33 a	3,65 b	3,03 ab	2,68 ab	2,80 ab	2,83 ab	2,83 ab	3,28 ab
P <sub>MAX</sub>	2,98 a	4,13 c	2,98 a	3,83 bc	4,15 c	3,25 ab	3,50 abc	5,28 d
Umidade (%)	5,18 a	3,23 c	5,15 a	3,88 bc	4,25 ab	3,28 c	4,93 a	4,55 ab
8 Dias								
0 - 5 cm	0,28 b	0,20 ab	0,43 c	0,15 a	0,43 c	0,28 b	0,23 ab	0,25 b
6 - 10 cm	0,75 a	1,40 bc	1,40 bc	0,78 a	1,05 ab	1,75 bc	1,05 ab	1,18 b
11 - 15 cm	1,98 a	3,08 c	2,38 ab	2,03 a	2,95 bc	3,05 c	2,18 a	3,00 bc
16 - 20 cm	3,03 cd	4,68 e	2,28 a	2,45 ab	2,80 bc	2,25 a	2,58 abc	3,33 d
P <sub>MAX</sub>	4,00 ab	5,25 c	3,30 a	3,90 ab	3,90 ab	4,83 bc	4,53 bc	4,53 bc
Umidade (%)	5,00 a	3,28 b	4,63 a	5,05 a	3,60 b	2,88 b	3,20 b	3,53 ab

Médias com a mesma letra nas linhas, não diferem estatisticamente entre si (Duncan,  $p < 0,05$ ).

P<sub>MAX</sub> = penetração máxima.

### 5.3 Componentes de Produtividade do Milho e Eficiência do Uso da Água (EUA)

No que tange aos componentes de produtividade, a matéria seca (MS) do tratamento 4CN foi superior aos demais tratamentos, sendo semelhante apenas ao 4C (Tabela 3). Estes resultados mostram que o fornecimento de N associado com o menor turno de rega e presença de cobertura do solo contribuíram para o aumento da produtividade de grãos de milho. Entre o fornecimento de N e o aumento de biomassa há uma estreita relação, em que o suprimento inadequado de N pode inibir o desenvolvimento da cultura, que por consequência leva à redução da interceptação da radiação solar, a um decréscimo na atividade fotossintética foliar e, portanto, à menor eficiência de uso da radiação. A eficiência fotossintética de utilização do N tem um papel fundamental na regulação fonte-dreno, a qual mantém o balanço proporcional entre matéria seca aérea e radicular, metabolismos integrados e crescimento da planta, consequentemente determinando a produtividade.

Quanto ao número de espigas por plantas (E/P) os tratamentos não diferiram entre si, com exceção do tratamento 4CN que foi superior ao 8CN. Para o peso de 100 grãos, os tratamentos diferiram entre si, com destaque ao tratamento 8C por apresentar o menor peso, 21,56 gramas. Verificou-se que o índice de colheita (IC) não diferiu entre os tratamentos, apresentando resultados mínimos e máximos de 48,99 e 49,29%, respectivamente.

Em relação à produtividade o tratamento 4CN apresentou-se superior (5,33 Mg/ha) aos tratamentos 4S, 8CN, 8SN, 8C e 8S que apresentaram resultados que variaram de 3,82 a 3,41 Mg/ha. Diante desses resultados pode-se inferir que na condição de solo descoberto, suprimento insuficiente de N e maior intervalo de irrigação, as plantas ficam sujeitas aos dias de estresse hídrico que podem ocorrer durante o período de desenvolvimento da cultura, possibilitando resultados insatisfatórios na produção. Segundo Bastos et al (2012), a explicação para a redução da produtividade de grãos em decorrência do déficit hídrico, é que, nesta condição, a planta sofre redução da condutância e da transpiração foliar e, como consequência, há um aumento da temperatura foliar e redução na produção de fotoassimilados, causando redução na produtividade de grãos.

A maioria dos componentes de produtividade demonstra que o tratamento 4CN promoveu diferenças significativas quando comparado aos tratamentos que receberam turno de rega de 8 dias, tal resultado pode ser justificado pelo fato de que, a produtividade de grãos de milho está relacionada com as condições hídricas durante o período crítico, que se estende

desde o pendoamento ao enchimento de grãos. Além disso, o estresse hídrico durante a fase reprodutiva do milho limita o desenvolvimento da espiga, além de limitar a translocação de carboidratos para os grãos.

Em relação a eficiência do uso da água (EUA), a menor EUA foi constatada pelos tratamentos com menor intervalo de irrigação (turno de rega a cada 4 dias), apresentando EUA mínima e máxima de 8,94 kg/m<sup>3</sup> e 12,50 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente (Tabela 3). Diante disso, pode-se afirmar que a perda de água por meio da evaporação nos tratamentos com irrigações mais frequentes é maior. A água que é evaporada não é utilizada pela planta, mas é contabilizada no consumo de água nesses tratamentos, fazendo com que diminuam os valores de EUA.

Os tratamentos com turno de rega de 8 dias, mostraram-se mais eficientes, apresentando EUA máxima de 17,28 kg/m<sup>3</sup>. Isso possibilita a aplicação de menor quantidade de água durante o ciclo da cultura, o que favorece a redução dos custos operacionais da irrigação e economia de água. Esse resultado é considerado satisfatório no que se refere ao melhor aproveitamento do recurso hídrico disponibilizado, além disso, há de se ressaltar a possibilidade do ganho ambiental pela utilização de um menor volume de água.

Tabela 3. Valores médios de espigas por planta, peso de 100 grãos (g), matéria seca (Mg/ha), produtividade (Mg/ha) e índice de colheita (%) do milho e eficiência do uso da água (kg/m<sup>3</sup>) sob diferentes tratamentos.

Variáveis	4CN	4SN	4C	4S	8CN	8SN	8C	8S
E/P	0,99 a	0,94 ab	0,96 ab	0,96 ab	0,86 b	0,92 ab	0,92 ab	0,93 ab
P100 (g)	25,00 a	23,72 ab	22,64 ab	22,10 bc	22,01 bc	22,04 bc	21,56 c	21,87 bc
MS (Mg/ha)	6,90 a	4,51 bc	5,95 ab	4,97 bc	5,01 bc	4,13 c	4,95 bc	3,84 c
IC (%)	49,11 a	49,29 a	49,12 a	49,09 a	48,99 a	49,13 a	49,01 a	49,24 a
Prod (Mg/ha)	5,33 a	4,40 abc	4,75 ab	3,82 bc	3,69 bc	3,34 c	3,51 c	3,41 c
EUA (kg/m <sup>3</sup> )	12,50 bc	10,31 c	11,15 c	8,94 c	17,28 a	15,68 ab	16,46 ab	16,00 ab

Médias com a mesma letra nas linhas, não diferem estatisticamente entre si (Duncan, p<0,05).

E/P = espigas por planta; P100 = peso de 100 grãos; MS =matéria seca; Prod = produtividade; IC = índice de colheita; EUA = eficiência do uso da água.

## CONCLUSÕES

- Os tratamentos com incremento de N e menor intervalo de irrigação (turno de rega) resultaram em maior teor relativo de clorofila;
- A resistência mecânica do solo à penetração apresentou resultados restritivos ao crescimento radicular das plantas a partir da camada 11 – 15 cm, apesar da presença de cobertura do solo;
- A associação entre a adubação nitrogenada, cobertura do solo e menor turno de rega promoveram acréscimos aos componentes de produtividade;
- A eficiência do uso da água foi superior nos tratamentos com maior turno de rega independente da presença ou não de cobertura do solo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A.C. et al. Nutrient recycling and physical indicators of alley cropping system in sandy loam in the pre-Amazon region of Brazil. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v.86, p. 189-198, 2010.

AGUIAR, A.C.F. Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil. **Soil Use and Management**, v. 25, p. 368-375, 2009.

AGUIAR, A. C. F. **Sustentabilidade do sistema plantio direto em Argissolo no trópico úmido**. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho”. Botucatu – SP. 55 f. 2006.

AKAGI, S.K. et al. Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v.10, p.27523-27602, 2010.

ÁLVARO-FUENTES, J. et al. Tillage and cropping intensification effects on soil aggregation: Temporal dynamics and controlling factors under semiarid conditions. **Geoderma**. v. 45, p. 390-396, 2008.

BASTOS, E. A. et al. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verde do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**. v. 1, p.31-37, 2012.

BECHER, H. H.; et al. An index value for characterizing hardsetting soils by fall-cone penetration. **Soil Technology**, v.10, p. 47-56, 1997.

CANCELLIER, L. L. et al. Eficiência no uso de nitrogênio na produção forrageira em populações tropicais de milho. **In: XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Águas de Lindóia, Agosto, 2012.

CARVALHO, R. P. et al. Eficiência de cultivares de milho na absorção e uso de nitrogênio em ambiente de casa de vegetação. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, p. 2125-2136, 2012.

COELHO, H. A. **Diferentes condições de estresse hídrico no desenvolvimento de milhos transgênicos e convencional**. Dissertação Mestrado em Agronomia. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu – São Paulo. 93 f. 2013.

COSTA, C. et al. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal Plant Nutrition**. v.24, p.1173-1194. 2001.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: 2013, 353 p.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Percentagem de recuperação de nitrogênio pelo milho, para diferentes doses e parcelamentos do fertilizante nitrogenado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, p. 285-296, 2007.

FERREIRA, V. M. **Definição de parâmetros para estimativa de risco climático no consórcio milho – feijão–caupi**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Piauí, Teresina-Piauí. 95 f. 2007.

FONSECA, P. R. B. et al. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, em híbridos de milho, (*Zea mays* l.) bt e isogênico. **Revista Verde**. v.7, p. 56-60, 2012.

FRANÇA, S. **Efeitos da disponibilidade de nitrogênio e água na fotossíntese, crescimento e produção do milho, em diferentes sistema de cultura**. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Faculdade de Agronomia. 188 f. Porto Alegre – RS. 2003.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; DUARTE, A. P.; PERES, F. S. C. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. II - Intervalo hídrico ótimo e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.805- 818, 2009.

GENCOGLAN, C. et al. Response of green bean (*P. Vulgaris* L.) to subsurface drip irrigation and partial root zone-drying irrigation. **Agricultural Water Management**. v. 84, p. 274–280, 2006.

GHOLIZADEH, M.R.E. et al. The response of grain yield, biological yield and the harvest index of corn (S.C. 704) to seed source and seed size. **Advances in Environmental Biology**, v.5, p.3477-3482, 2011.

HAMZA, M.A. & Anderson, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research**. v. 82, p. 121-145, 2005.

LACERDA, C. F. et al. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 221-230, 2009.

MARTINS, M. V. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 31, p. 147-154, 2009.

MIEVILLE, A. et al. Emission of gases and particles from biomass burning during the 20<sup>Th</sup> century using satellite data and a historical reconstruction. **Atmospheric Environment**, v.44, p.1469-1477, 2010.

MOREIRA, J. A. A. M. et al. Eficiência de uso de água pela cultura do milho (*Zea mays*) em função da cobertura do solo pela palhada no sistema plantio direto. **Cadernos de Agroecologia**. v.6, 2011.

MOURA, E.G et al. Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. **Plant and Soil**, v.35, p.363–371, 2010.

MOURA, E.G. et al. Patents on periphery of the Amazon rainforest. **Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture**, v.1, p.142-149, 2009.

MOURA, E. G. et al. Avaliação de um sistema de cultivo em aléias em um argissolo franco-arenoso da região amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1735 – 1742, 2008.

MULLINS, C.E. **Hardsetting soils**. In: SUMNER, M.E. (Ed.), *Handbook of soil science*. New York: CRC Press, p.G65-G87. 1999.

OKUMURA, S. R. et al. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, p.226–244, 2011.

OMUTO, C. T. Assessment of soil physical degradation in Eastern Kenya by use of a sequential soil testing protocol. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 128, p. 199-211, 2008.

PEREIRA, A. L. et al. Efeitos de níveis de cobertura do solo sobre o manejo da irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Irriga**, v. 7, p. 42 – 52, 2002.

PETERSON, T.A. et al. **Using a chlorophyll meter to improve N management.** NebGuide. Lincoln, University of Nebraska, Cooperative Extension, Institute of Agricultural and Natural Resources, p. 7, 1993.

PRIMAVESI, O. et al. **Aquecimento global e mudanças climáticas: uma visão integrada tropical.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, p. 213, 2007.

QUEIROZ, T. M. **Desenvolvimento de um sistema automático para irrigação de precisão em pivô central.** Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 142 f. Piracicaba, 2007.

RAHIL, M. H.; QANADILLO, A. Effects of different irrigation regimes on yield and water use efficiency of cucumber crop. **Agricultural Water Management.** v. 148, p. 10 – 15, 2015.

RAMBO, L. et al. Adequação de doses de nitrogênio em milho com base em indicadores de solo e de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** v.43, p.401-409, 2008.

ROBERTS, T.L. Improving nutrient use efficiency. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry,** v.32, p. 177-182, 2008.

SILVA, A. J. N. et al. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 29, p. 833-842, 2005.

SILVEIRA, D. C. et al. Relação umidade versus resistência do solo à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira Ciência do Solo,** v. 34, p. 659-667, 2010.

SOUZA, E. G.; Rocha, T. et al. Índices de vegetação no milho em função da hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v.13, p.865-872, 2009.

STICLER, F. C. et al. Leaf area determination in grain sorghum. **Agronomy Journal.** v. 53, p. 197-188, 1961.

TAVARES FILHO, J. TESSIER, D. Compressibility of oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1525-1533, 2009.

TORMENA, C. A. et al. Resistência tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.33-42, 2008.

VELOSO, M. E. C. et al. Teor de nitrogênio, índices de área foliar e de colheita, no milho, em função da adubação nitrogenada, em solos de várzea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, p. 12-25, 2009.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P.; STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.763-774, 2004.