

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
MESTRADO EM AGROECOLOGIA**

ADENILSON KERLISSON CARVALHO DE OLIVEIRA

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E CRESCIMENTO DE RAÍZES DO MILHO NO
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO SOBRE PALHA DE LEGUMINOSAS**

**SÃO LUÍS
Maranhão – Brasil
Fevereiro – 2011**

ADENILSON KERLISSON CARVALHO DE OLIVEIRA
Engenheiro Agrícola e Ambiental

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E CRESCIMENTO DE RAÍZES DO MILHO NO
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO SOBRE PALHA DE LEGUMINOSAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.
Orientador: **Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura**

SÃO LUÍS
Maranhão – Brasil
Fevereiro – 2011

Oliveira, Adenilson Kerlisson Carvalho.

Atributos físicos do solo e crescimento de raízes do milho no sistema de plantio direto sobre palha de leguminosas/ Adenilson Kerlisson Carvalho de Oliveira. – São Luis, 2011.

41f.

Dissertação (Mestrado), Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2011.

Orientador: Prof..Dr. Emanuel Gomes de Moura.

1.Aléias. 2.Milho. 3.Comprimento radicular. I.Titulo

CDU:631.427: 633.15

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E CRESCIMENTO DE RAÍZES DO MILHO NO
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO SOBRE PALHA DE LEGUMINOSAS**

ADENILSON KERLISSON CARVALHO DE OLIVEIRA

Aprovada em:

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura (UEMA)
Orientador

Prof. Dr. Christoph Gehring (UEMA)

Dr. Valdemício Ferreira de Sousa (Embrapa Cocais)

DEDICO

A Deus, pela minha saúde.

A minha esposa Tatiana, pelo amor e incentivo nessa caminhada ao estimular minhas ambições.

Aos meus pais, por me apoiarem nas minhas decisões e me ensinar valores e condutas.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Emanuel Gomes de Moura pelas importantes observações e visão atual de pesquisador produtivo;

Ao Professor Christoph Gehring, pelos ensinamentos, atenção e disponibilidade;

À Professora Alana, por sua eficiência e competência no ramo da pesquisa;

À Karina, Marta, Meyrijane, Aurélio, pela ajuda na contagem das raízes;

Aos colegas Geyson e Edilaine, pelo auxílio nas atividades em campo;

Aos professores e colegas com que pude compartilhar experiências e conhecimentos

À FAPEMA, pela concessão da bolsa de estudos durante todo o período de mestrado;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, pela oportunidade;

Aos colegas Geyson, Edilaine, Renato, Neto, Fernando, Luiz, Gislane, Danniele e Sylvia.

“É fazendo que se aprende a fazer aquilo que se deve aprender a fazer.”

Aristóteles

SUMÁRIO

CAPÍTULO I..... 6

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E CRESCIMENTO DE RAÍZES DO MILHO NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO SOBRE PALHA DE LEGUMINOSAS

I - Introdução geral.....	6
II – Referencial teórico	7
1. Características dos solos do trópico úmido.....	7
2. Eficiência do uso de nutrientes (N e K).....	10
3. Cultivo em aléias	12
4. Absorção x enraizamento.....	14
5. Referências bibliográficas.....	16

CAPÍTULO II 22

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E CRESCIMENTO DE RAÍZES DO MILHO NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO SOBRE PALHA DE LEGUMINOSAS

Resumo	22
Abstract.....	22
1. Introdução	24
2. Material e Métodos	25
3. Resultados e Discussões	28
4. Conclusões	36
5. Referências bibliográficas.....	37

CAPITULO I

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E CRESCIMENTO DE RAÍZES DO MILHO NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO SOBRE PALHA DE LEGUMINOSAS

I - Introdução geral

A concepção de um agroecossistema que assemelhe as condições da natureza e substitua algumas práticas consideradas agressivas ao meio ambiente sem que haja a diminuição da produtividade das culturas ao longo do tempo é um grande desafio para os agricultores, pesquisadores e profissionais da agricultura. Por isso, compreender as ligações e complexidades dos diferentes componentes ambientais naturais tornou-se importante avaliar as opções de uso sustentável ou conservacionista do solo, além de determinar a sua contribuição para os serviços ambientais gerados pela agricultura em benefício da sociedade (Jackson *et al.*, 2007; Jose, 2009).

No trópico úmido o principal sistema de manejo utilizado pelos agricultores é o corte e queima ou itinerante, mas a sustentabilidade desse modelo depende da regeneração da vegetação secundária e da recuperação da fertilidade do solo no período de pousio (Szott *et al.*, 1999). Na região a ocorrência de solos intemperizados submetidos a vários ciclos de umedecimento e secagem gera a coesão e conseqüentemente diminui a adsorção de nutrientes pela acentuada remoção dos resíduos, levando à degradação da fertilidade do solo e diminuição da produtividade. As chuvas intensas e a composição mineralógica dos solos inviabilizam o uso da mecanização no preparo do solo por causar uma recompactação, limitando: o movimento da água no perfil, a aeração, a atividade biológica e o enraizamento em profundidade. Dessa forma, é necessário garantir ao solo condições físicas favoráveis ao pleno desenvolvimento das raízes do milho (Letey, 1985).

Aprofundar o conhecimento da interação solo-raiz para compreender os efeitos do manejo sobre a cultura pode ser importante, principalmente se há algum impedimento ao desenvolvimento das raízes, pois o sistema radicular está intimamente relacionado com a parte aérea no que diz respeito à absorção, transporte de água e nutrientes.

O estudo dos atributos físicos do solo é extremamente importante em áreas onde o solo apresenta estrutura frágil e de baixa fertilidade, atrelado a manejos inadequados, pois a análise do desenvolvimento da planta poderá indicar alternativas para reduzir os efeitos naturais do solo na produção das culturas, bem como aumentar a possibilidade de se estimarem respostas dos indicadores de qualidade do solo em virtude de determinadas práticas de manejo.

O objetivo deste trabalho foi determinar indicadores físicos de qualidade do solo e estabelecer sua relação com o desenvolvimento radicular do milho sob influência do sistema de plantio direto na palha de leguminosas.

II – Referencial teórico

1. Características dos solos do trópico úmido

No Maranhão a agricultura predominante é a itinerante ou derruba e queima que consiste basicamente em corte e queima da biomassa vegetal com inadequado tempo de pousio, seguido de abandono da área devido ao esgotamento nutricional do solo e infestação por plantas daninhas. Essa prática é constantemente realizada nas principais classes de solos da região: Argissolos, Plintossolos e Latossolos, inseridos geologicamente na Formação Itapecuru, abrangendo aproximadamente 60% da região Centro-norte da área do Maranhão, que se caracteriza pela presença de solos de estrutura frágil constituídos de areia fina, silte e baixa capacidade de retenção de cátions, sendo suscetível a coesão. Aliado a essa problemática o clima oferece duas estações bem definidas, uma muito úmida de janeiro a junho, com uma distribuição pluviométrica de aproximadamente 1600 mm e outra, muito seca, de julho a dezembro com não mais de 200 mm de chuva. A combinação dessa precipitação irregular com uma evapotranspiração potencial, que pode atingir até 10 mm em dias sem nuvens, aumenta a importância dos indicadores de qualidade do solo, como aeração e disponibilidade de nutrientes (Moura *et al.*, 2009).

Diante de tais adversidades climáticas, como alternância de períodos de seca e chuva, os solos apresentam vários problemas como a formação de camadas subjacentes de baixa condutividade hidráulica, encrostamento superficial e conseqüentemente má drenagem, promovendo a coesão do solo (Mullins, 1999) que altera indiretamente a

temperatura do solo, atividade biológica e crescimento das raízes, afetando a produção agrícola (Rezende *et al.*, 2002). Segundo Mueller *et al.* (2010), temperatura, umidade e fertilidade do solo são os principais obstáculos para o potencial de produtividade do solo em escala global.

O manejo dos solos de baixa fertilidade natural continua sendo o principal entrave para os pequenos agricultores do trópico úmido (Brady, 1996). A saída mais utilizada para fertilização e correção da acidez é o uso da cinza como fonte de nutrientes proveniente do corte e da queima da vegetação para posterior plantio de cultivos anuais, porém essa rotina causará desmatamento e escassez do material vegetal a ser incinerado, após dois ou três anos, afetando a biodiversidade e aumentando o aquecimento global.

Are *et al.* (2009), avaliando os impactos da agricultura itinerante em Argissolo após a queima, verificaram que houve uma obstrução dos poros do solo pela cinza e com isso, reduziu o volume de macroporos, taxa de infiltração, sorvidade e mais de 60% da condutividade hidráulica, o que refletiu em maior resistência a penetração do solo, desse modo o sistema de corte e queima tem um impacto direto e imediato sobre propriedades físicas do solo.

Os solos do trópico úmido são predominantemente ácidos, caracterizados pelo baixo teor de Ca (cálcio) e Mg (magnésio); elevado teor de alumínio (Al) e baixa disponibilidade de fósforo (P) (Smithson & Giller, 2002). A acidez torna o Al e o ferro (Fe), os principais constituintes do complexo de adsorção do solo, ativado por meio da aplicação de fertilizantes como cloretos ou nitratos e com isso Al e Fe podem contribuir substancialmente para a fixação de fósforo e molibdênio (Sommer, 2002). Assim sendo, as condições do solo pode comprometer o crescimento radicular e com isso prejudicar a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Tang *et al.*, 2003).

Na grande maioria dos solos tropicais há uma carência de elementos como Ca, Mg, N, P e K, os quais são responsáveis pelo aumento da produtividade das culturas. Vale salientar que o uso de corretivos e fertilizantes contendo tais nutrientes podem resolver as deficiências nutricionais da planta, porém é preciso compreender que entre o Ca e o Mg existe uma inter-relação das propriedades químicas, fazendo com que haja uma competição pelos sítios de adsorção no solo, e na absorção pelas raízes. Assim sendo, a presença de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro.

Na região, a prática da calagem com o intuito de neutralizar H^+ e Al no complexo sortivo, apesar de aumentar a disponibilidade de P e reduzir a toxicidade do Al (Caíres *et al.*, 2008), exige enormes quantidades de calcário e quando utilizada provoca

apenas um aumento temporário do pH, pois a alta precipitação eleva a remoção de nutrientes solúveis como cálcio, magnésio, sódio e potássio por lixiviação, principal processo de transferência dos nutrientes essenciais em profundidade por percolação, a qual está relacionada com a permeabilidade do solo, acentuado em solos revolvidos e com baixo teor de matéria orgânica. Uma vez que os solos de regiões tropicais possuem capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases e retenção de cálcio muito dependentes da quantidade de matéria orgânica.

Conforme Doncheva *et al.* (2005), nos solos ácidos o grande problema é a toxicidade do Al que atinge as plantas e como consequência apresenta um sistema radicular atrofiado, grosso e com raízes secundárias frágeis, entretanto uma maneira interessante de reduzir a toxicidade é por meio do processo de complexação do Al por compostos orgânicos, a qual pode ser alcançada pela adição de resíduos vegetais na superfície do solo (Haynes & Mokolobate, 2001; Caíres *et al.*, 2008). Além disto, reduz a necessidade de calagem e melhora a disponibilidade de fósforo (P).

O fósforo é tido como um nutriente que apresenta pouca mobilidade e elevada concentração nas camadas superiores do solo, geralmente associado com a matéria orgânica, porém pode ser perdido via escoamento superficial e transportado para águas oceânicas costeiras, assim como, forma sais de baixa solubilidade e, é fortemente retido pelo Ca, Fe e Al ficando indisponível para as plantas (Salcedo, 2010). Nessas condições, a alta reatividade do P com o solo têm sido considerados a principal limitação para produção agrícola em regiões tropicais.

No Brasil a definição do caráter coeso está em constante discussão diante da constatação que não está vinculado apenas a Latossolos Amarelos da formação geológica do Grupo Barreiras, tendo sido observado também solos vermelhos coesos na região dos Tabuleiros do sul da Bahia, norte do Espírito Santo e nordeste de Minas Gerais (Corrêa *et al.*, 2008). Atualmente o caráter coeso é utilizado para designar horizontes minerais subsuperficiais do solo que apresentam aumento acentuado na coesão entre as suas partículas, tornando-se duro, muito duro ou até extremamente duro, quando seco, e friável, quando úmido (Embrapa, 2006). Comportamento semelhante foi constatado em solos da Austrália, sendo chamado de “hardsetting” e observado predominantemente em solos com baixa concentração de matéria orgânica (Mullins, 1990) menor que 20g Kg^{-1} , tal hipótese foi comprovada por Giarola *et al.* (2001), após encontrarem similaridades entre os parâmetros utilizados para definir o comportamento “hardsetting” e aqueles para determinar o caráter coeso.

Lima *et al.* (2004) ao avaliarem três perfis de Argissolos provenientes de sedimentos arenosos, detectaram a ocorrência de solos coesos nos tabuleiros costeiros no estado do Ceará e concluíram que a diminuição da umidade de apenas 2 % na faixa de 13-20 %, foi suficiente para aumentar a resistência à penetração do solo (RP) de 4,7 MPa para 8,5 MPa no horizonte Bt1 coeso. Os resultados mostraram que a RP pode ser utilizada como um indicador eficiente na caracterização do comportamento coeso.

A ocorrência de horizontes coesos influencia a distribuição espacial dos poros, assim como o tamanho, forma e orientação. Como constatado por Lima *et al.* (2006) ao observar que a porosidade total e a percentagem de macroporos foram menores nos horizontes coesos, podendo constituir um dos principais fatores que determinam o comportamento peculiar dos solos coesos. Becher *et al.* (1997) relatam que a coesão pode ser reduzida pela aplicação de resíduos na superfície como cobertura morta para fornecer proteção ao solo. Isso atrasa a perda de umidade e melhora a capacidade de aeração e a infiltração (Moura *et al.*, 2009).

2. Eficiência do uso de nutrientes (N e K)

O manejo da fertilidade do solo visa basicamente elevar o nível da produção, obter produtos com alta qualidade, melhorar e manter a fertilidade do solo, conservar a qualidade ambiental e ajudar a manejar o carbono orgânico do solo. Neste aspecto, a interação entre nutrientes precisa ser compreendida, pois a melhoria do aproveitamento de um nutriente pode conduzir o aumento das perdas de outro nutriente (Delgado & Lemunyon, 2006). Assim sendo, a eficiência do uso dos nutrientes integra a conservação do solo e da água, o equilíbrio nutricional, o enraizamento e o sincronismo entre demanda e necessidade das plantas. Entretanto, na maioria das vezes, a quantidade de nutriente aplicado é mal utilizado resultando em baixa eficiência do uso.

Aguiar *et al.* (2010) relatam que na periferia da Amazônia Maranhense dois fatores reduzem a eficiência de uso dos nutrientes nos solos: 1) Coesão das partículas finas em solos com baixos teores de carbono e ferro livre, o que reduz a enraizabilidade do solo e prejudica a absorção dos nutrientes; 2) a alta taxa de remoção de nutrientes no perfil, devido à intensa lixiviação e a baixa capacidade de retenção os cátions. Desta forma, é comum observar uma baixa eficiência na utilização de nutrientes inorgânicos com destaque para o nitrogênio (N) e potássio (K) pela elevada mobilidade no perfil do

solo, o que pode comprometer a sua disponibilização aos vegetais em regiões com elevada precipitação.

A lixiviação e a denitrificação são os principais processos envolvidos na perda de N. Na lixiviação a perda de N na forma de nitrato (NO_3^-) há uma predominância de cargas negativas na camada superficial do solo e baixa interação química do NO_3^- com os minerais do solo, entretanto na forma de amônio (N-NH_4^+) a lixiviação é reduzida pela adsorção deste cátion no complexo de cargas negativas do solo. Os fatores que influenciam a lixiviação de N estão relacionados com manejo inadequado do solo, fontes e forma de aplicação, tipo do solo e precipitação pluviométrica (Xu *et al.*, 2010) determinando o nível da eficiência de N aplicado.

A denitrificação é o processo pelo qual o nitrato (NO_3^-) e o nitrito (NO_2^-) passam para as formas gasosas como óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O) ou nitrogênio atmosférico (N_2) mediado por bactérias em condições anóxicas. No trópico úmido esse processo está presente nos períodos de maior precipitação pluviométrica, principalmente em solos de baixa condutividade hidráulica (Moura *et al.*, 2008).

Inibidores da nitrificação têm sido propostos como uma maneira de prolongar o nitrogênio amoniacal no solo e melhorar a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados por coincidir a demanda da planta com o N disponível, e desta forma, minimizar a lixiviação de N no solo (Zaman *et al.*, 2008). A medida que diminui a nitrificação, o N fica retido na forma de amônio por mais tempo no solo e poderá ser absorvido pelas raízes, além disso reduz o risco de lixiviação. Vale salientar, que o milho absorve o N tanto na forma nítrica como na amoniacal, embora a assimilação de amônio requeira menos energia do que o nitrato.

As maiores perdas de nutrientes por lixiviação podem ocorrer na fase inicial de crescimento do milho, quando as raízes ainda não ocupam um volume de solo suficiente para interceptar os nutrientes. Quando há um maior enraizamento, aumenta-se a possibilidade de recuperar nutrientes lixiviados como N e K. Sitthaphanit *et al.* (2009) avaliaram a eficácia de N, P, K em solos arenosos sob elevado regime de chuvas e concluíram que o parcelamento da adubação em 0, 30 e 45 dias após a germinação é uma estratégia que proporcionou uma redução de 60, 75 e 50% das perdas por lixiviação de N, P e K, respectivamente. Além disto, aumentou a absorção e recuperação desses nutrientes, o que resultou num maior rendimento do milho.

Segundo Constatin *et al.* (2010) o cultivo intercalado é uma técnica adequada para reduzir a lixiviação de N em até 26% sob plantio direto, no entanto essa maneira é altamente variável, dependendo do clima, local e tipo de cultura.

O uso da adubação potássica em solos com baixo teor de argila e pequeno poder tampão, no qual o K⁺ não interage fortemente com a matriz, promove um aumento da concentração de K, sendo posteriormente lixiviado pela água da chuva (Jalali *et al.* 2008).

3. Cultivo em aléias

O cultivo em aléias é um sistema agroflorestal que combina em uma mesma área espécies arbóreas, preferencialmente leguminosas e culturas anuais ou perenes de interesse econômico. As leguminosas são plantadas em linhas simples ou duplas, espaçadas por 2 a 6 metros. Os ramos das leguminosas são periodicamente cortados à altura que variam de 0,1 a 0,5 m, e são adicionados às entrelinhas das culturas de interesse econômico, servindo como cobertura e adubo verde (Atta-Krah, 1989; Kang *et al.*, 1990 & Cooper *et al.*, 1996).

O uso de adubação verde melhora a utilização dos nutrientes, principalmente quando a espécie possui um sistema radicular capaz de extrair e mobilizar nutrientes de camadas mais profundas (Jose, 2009), especialmente para evitar a lixiviação de nitrato e potássio. Neste contexto é importante destacar o papel das leguminosas na fixação biológica de nitrogênio e na reciclagem de N fixado, e quando os resíduos das leguminosas são depositados no solo podem ser uma fonte expressiva de N, alcançando a fertilidade a longo prazo (Okogun *et al.*, 2000).

De acordo com Brady (1996), o sistema de corte e queima representa uma sustentabilidade temporária, pois ao ser implementado em áreas com densidade populacional crescente está fadado ao fracasso pela necessidade dos agricultores reduzirem o período de pousio. Nesta perspectiva, o cultivo em aléias surge como uma alternativa para o trópico úmido pelas condições climáticas como temperatura e precipitação que viabilizam o rápido crescimento de leguminosas arbóreas, ciclagem de nutrientes e grande produção de biomassa, promovendo a melhoria dos indicadores de qualidade do solo sem interromper o cultivo na área.

A decomposição e a liberação de nutrientes dos resíduos orgânicos variam em função de diversos fatores: quantidade e qualidade do resíduo orgânico, clima, pH, disponibilidade de nutrientes; textura e estrutura do solo, fauna do solo e biomassa microbiana (Ferraz Junior, 2004).

Entre as limitações estão a competição entre as árvores e a cultura consorciada, por água, luz e nutrientes. A competição por água e luz pode ser minimizada como no trabalho conduzido por Chirwa *et al.* (2007) ao constarem que o consórcio de milho com gliricídia ao sofrer podas antes e durante o cultivo, não provocaram uma concorrência negativa por água com as culturas consorciadas. No entanto, regiões sob precipitação inferior a 600 mm apresentam dificuldade na decomposição dos materiais orgânicos aplicados e também na absorção de nutrientes liberados pela cultura. (Makumba *et al.*, 2006).

Leite *et al.* (2008) recomendam o sistema de cultivo em aléias como adequado ao manejo sustentável dos agroecossistemas no trópico úmido, pela capacidade de cobertura do solo e reciclagem dos nutrientes (potássio, cálcio e nitrogênio), e por aumentar a produtividade das culturas. Além disso, o aporte de matéria orgânica causa melhoria da estrutura e porosidade do solo, favorecendo a disponibilidade de água e O₂, enraizabilidade, controle da erosão, maior controle de ervas daninhas e pela cobertura adicionada protegendo o solo durante as chuvas intensas, conservando sua umidade durante nos períodos mais secos (Moura *et al.*, 2009). Esse sistema é amplamente utilizado em solos de baixa fertilidade na África; e na Ásia para controle de erosão em regiões montanhosas.

A adubação verde com podas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. é considerada uma fonte útil de N para as plantas, mas a substituição integral do adubo inorgânico precisa ser adequadamente avaliada. De acordo com Sharma & Behera (2010) o uso combinado de adubação verde com resíduo de leucena mais uréia resulta em maior produtividade do milho e uso eficiente de N, como também seu efeito residual em termos de C orgânico contribui para o processo de construção da fertilidade do solo.

Makumba *et al.*, (2006) após 11 anos de poda intensiva, árvores de gliricídia *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. mantiveram elevados níveis de produção de biomassa de folhas (4 a 5 Mg ha⁻¹). O consórcio de milho com gliricídia usando resíduos provindos da poda provocou um aumento três vezes maior na produtividade do milho, quando comparado ao tratamento sem adição de resíduos.

Pandey & Rai (2007) estudando um cultivo em aléias com gliricídia verificaram que a decomposição das folhas liberou 50% de nitrogênio no período de 15 dias. Dessa forma, para sincronização da liberação de N proveniente das folhas de gliricídia e da sua absorção pela cultura de milho, as folhas devem ser aplicadas duas semanas após a semeadura.

Na pré-Amazônia Maranhense em que boa parte dos solos arenosos são suscetíveis à lixiviação e à coesão, é fundamental considerar o equilíbrio entre resíduos de baixa e alta qualidade para aumentar a eficiência de uso desses nutrientes. Moura *et al.* (2010) avaliando a dinâmica da decomposição dos resíduos de leguminosas e a absorção de nutrientes no sistema de cultivo em aléias verificaram que a combinação leucena mais acácia liberou maiores quantidades de N e K e de forma mais lenta durante o ciclo todo o vegetativo do milho.

A acácia mangio (*Acacia mangium* Willd) e o sombreiro (*Clitoria fairchildiana* R.A. Howard) são leguminosas arbóreas utilizadas em sistemas agroflorestais, caracterizam-se por terem alta relação C/N de 27 e 23; e aporte de biomassa em torno de 9 e 13 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ respectivamente, sendo mais adequadas para cobertura e proteção solo facilitando o enraizamento. Em decorrência do elevado teor de lignina a taxa de decomposição é lenta, porém a acácia possui os menores teores de N, P, K e Mg quando comparado com leucena, gliricídia e sombreiro. No que diz respeito ao Ca e o P, todas as quatro espécies estudadas apresentam semelhanças, ressaltando a alta concentração do Ca (13,82 a 17,84 g/kg) e a baixa do P (0,51 a 2,83 g/kg) no sistema de cultivo em aléias (Aguiar *et al.*, 2010).

4. Absorção x enraizamento

As raízes crescem por um processo de divisão celular na região do meristema apical protegido e revestido pela coifa colaborando para a raiz penetrar o solo (Hodge *et al.*, 2009). A entrada de água para dentro das células gera uma pressão de turgor, permitindo o alongamento e conseqüentemente, o crescimento da raiz (Clark *et al.*, 2003). A distribuição do sistema radicular do milho pode variar por uma ampla gama de parâmetros fisiológicos que determinam o crescimento das raízes e a arquitetura, assim como os parâmetros relacionados com o solo, tais como: resistência, densidade, estrutura, teor de água e temperatura do solo, além de fatores externos, como temperatura do ar, precipitação e fornecimento de nutrientes (Kuchenbuch *et al.* 2009).

Sabe-se que a absorção de nutrientes está intimamente relacionada com indicadores de qualidade do solo que podem ser manejadas para fornecer condições favoráveis ao crescimento das plantas e posterior capacidade de resistir ao estresse ambiental (Bathke, 1992). Segundo Moura *et al.* (2009) a absorção de N e K pelas culturas está intimamente relacionada com as condições de enraizabilidade dentro do perfil.

Segundo Sangakkara *et al.*, (2004) o uso da adubação verde promove melhoria nas condições físicas e químicas do solo, além de estimular o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea. A capacidade da raiz crescer e explorar o solo por água e nutrientes, logo, diminui conforme aumenta a resistência do solo (Imhof *et al.*, 2010) ou pelas raízes não serem capazes de deslocarem as partículas do solo. Com a melhoria da estrutura do solo há um incremento na disponibilidade de água, na difusão de oxigênio e redução da resistência do solo à penetração das raízes.

A alta resistência do solo à penetração é a propriedade física que mais influencia na redução do comprimento e maior espessura das raízes, refletindo em menor produtividade de matéria seca da parte aérea e de grãos, devido ao inadequado suprimento de água e nutrientes à parte aérea, indicando o grau de compactação do solo que está relacionado com suas características e uso (Streck *et al.*, 2004).

A dificuldade de penetrar o solo varia conforme a espécie (Clarck *et al.*, 2003), pois as raízes de maior diâmetro podem superar uma camada coesa e resistir a deformação, influenciando na quantidade de água que pode ser extraída do solo. Ley *et al.* (1995) verificaram que o crescimento radicular foi limitado quando os solos atingiram potencial matricial em torno de -100 kPa com valores da resistência à penetração próxima ou superiores a 2 MPa. Bengough e Mullins (1990) relataram que a maioria das culturas podem ter seu funcionamento e crescimento da parte aérea comprometido quando a resistência à penetração se aproxima de 2 MPa.

A ausência da matéria orgânica e umidade insuficiente podem levar a modificações na estrutura do solo, o que pode restringir o crescimento radicular, limitando o movimento da água e do ar ao longo do perfil, o que altera a distribuição de umidade e assim, diminui a absorção de nutrientes, que por sua vez acarretam uma série de problemas diretos e indiretos ao desenvolvimento e crescimento das plantas.

Calonego & Rosolem (2010) afirmaram que após três anos com rotação de culturas (soja/aveia preta/milho/triticale) a estrutura do solo foi melhorada, o que permitiu um maior enraizamento por meio dos bioporos resultantes da decomposição de

raízes, como também alcançou valores de resistência à penetração similar aos do primeiro ano com escarificação que destruiu a continuidade dos macroporos e causou uma recompactação do solo. Nesse trabalho ficou evidenciado que a escarificação tem efeito de curta duração e apesar de aumentar a porosidade total não permitiu um maior crescimento radicular.

Kay (2006), ao avaliar o desenvolvimento do milho e absorção dos nutrientes verificou que a umidade do solo aumentou o sistema radicular, e também a quantidade total de P nas folhas, refletindo a acessibilidade desse nutriente no solo.

5. Referências Bibliográficas

AGUIAR, A.C.F.; BICUDO, S.J.; COSTA SOBRINHO, J.R.S.; MARTINS, A.L.S.; COELHO, K.P.; MOURA, E.G. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the Pre-Amazon region of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems.**, v. 86, p.189–198, 2010.

ARE, K.S.; OLUWATOSIN, G.A.; ADEYOLANU, O.D.; OKE, A.O. Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: soil physical properties, **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 4–10, 2009.

ATTA-KRAH, A.N. Alley farming with leucaena: Effects of short grazed fallows on soil fertility and crop yields. **Experimental Agriculture**, v. 20, p. 1-10, 1989.

BATHKE, G.R.; CASSEL, D.K.; HARGROVE, W.L.; PORTER, P.M. Modification of soil physical properties and root growth response. **Soil Science**, v. 154, p. 316-329, 1992.

BECHER, H.H.; BREUER, J.; KLINGLER, B. An index value for characterizing hardsetting soils by fall-cone penetration. **Soil Technology**, v. 10, p. 47–56, 1997.

BENGOUGH A.G.; MULLINS C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, v. 41, p. 341-358, 1990.

BRADY, N.C. Alternatives to slash and burn: a global imperative. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 58, p. 3–11, 1996.

CAIRES, E.F.; PEREIRA FILHO, P.R.S.; ZARDO FILHO, R.; FELDHAUS, I.C. Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 302-309, 2008.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 242-249, 2010.

CHIRWA, P.W.; ONG, C.K.; MAGHEMBE, J.; BLACK, C.R. Soil water dynamics in cropping systems containing *Gliricidia sepium*, pigeonpea and maize in southern Malawi. **Agroforestry Systems**, v. 69, p. 29-43, 2007.

CLARK, L.J.; WHALLEY, W.R.; BARRACLOUGH, P.B. How do roots penetrate strong soil? **Plant and Soil**, v. 255, p. 93-104, 2003.

CONSTANTIN, J.; MARY, B.; LAURENT, F.; AUBRION, G.; FONTAINE, A.; KERVEILLANT, P.; BEAUDOIN, N. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 135, p. 268-278, 2010.

COOPER, P.J.M.; LEAKEY, R.R.B.; RAO, M.R.; REYNOLDS, L. Agroforestry and the mitigation of land degradation in the humid and sub-humid tropics of Africa. **Experimental Agriculture**, v. 21, p. 235-290, 1996.

CORREA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.C. P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 297-313, 2008.

DELGADO, J.A.; LEMUNYON, J. Nutrient management, p. 1157-1160 In R Lal (ed.) **Encyclopedia soil science**, Markel and Decker, 2006.

DONCHEVA, M.; AMENÓS, C.; POSCHENRIEDER & BARCELÓ, J. Root cell patterning: a primary target for aluminum toxicity in maize, **Journal of Experimental Botany**, v. 56, p. 1213-1220, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed.** 306p., 2006.

FERRAZ JUNIOR, A.S.L. O cultivo em aléias como alternativa para a produção de alimentos na agricultura familiar do trópico úmido. In: MOURA, E.G. (Ed.). **Agroambientes de transição: entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, cap.3, p. 71-100, 2004.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.; SOUZA, L.S.; RIBEIRO, L.P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento *hardsetting*: estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 239-247, 2001.

HAYNES, R.J.; MOKOLOBATE, M.S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: A critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 59, p. 47-63, 2001.

HODGE, A.; BERTA, G.; DOUSSAN, C.; MERCHAN, F.; CRESPI, M. Plant root growth, architecture and function. **Plant and Soil**, v. 321, p. 153-187, 2009.

IMHOFF, S.; KAY, B.D.; SILVA, A.P.; HAJABBASI, M.A. Evaluating responses of maize (*Zea mays* L.) to soil physical conditions using a boundary line approach. **Soil and Tillage Research**, v. 106, p. 303-310, 2010.

JACKSON, L.E.; PASCUAL, U.; HODGKIN, T. Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. **Agriculture Ecosystems Environment**, v. 121, p. 196-210, 2007.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 1-10, 2009.

KANG, B.T. Alley cropping - soil productivity and nutrient recycling. **Forest Ecology and Management**, v. 97, p.75-82, 1997

KANG, B.T.; REYNOLDS, L.; ATTA-GRAH, A.N. Alley farming. **Advances in Agronomy**, v. 4, p. 315-359, 1990.

KAY, B.D.; HAJABBASI, M.A.; YING J.; TOLLENAAR, M. Optimum versus non-limiting water contents for root growth, biomass accumulation, gas exchange and the rate of development of maize (*Zea mays* L.). **Soil and Tillage Research**, v. 88, p. 42-54, 2006.

KUCHENBUCH, R.O.; GERKE, H.H.; BUCZKO, U. Spatial distribution of maize roots by complete 3D soil monolith sampling. **Plant and Soil**, v. 315, p. 297-314, 2009.

LEITE, A.A.L.; FERRAZ JÚNIOR, A.S.L.; MOURA, E.G.; AGUIAR, A.C.F. Comportamento de dois genótipos de milho cultivados em sistema de aléias pré-estabelecidos com diferentes leguminosas arbóreas. **Bragantia**, v. 67, p. 817–825, 2008.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

LEY, G.J.; MULLINS, C.E.; LAL, R. The potential restriction to root growth in structurally weak tropical soils. **Soil and Tillage Research**, v. 33, p. 133–142, 1995.

LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; JACOMINE, P.T.K.; ROMERO, R.E.; LIBARDI, P.L. Identificação e caracterização de solos coesos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 467-476, 2004.

LIMA, H.V., SILVA, A.P.; SANTOS, M.C.; COOPER M.; ROMERO R.E. Micromorphology and image analysis of a hardsetting Ultisol (Argissolo) in the state of Ceará (Brazil). **Geoderma**, v. 132, p. 416-426, 2006.

MAKUMBA, W.; JANSSEN, B.; OENEMA, O.; AKINNIFESI, F.K.; MWETA, D.; KWESIGA, F. The long-term effects of a gliricidia–maize intercropping system in Southern Malawi, on gliricidia and maize yields, and soil properties. **Agriculture Ecosystems Environment**, v. 116, p. 85-92, 2006.

MOURA, E.G.; ALBUQUERQUE, J.M.; AGUIAR, A.C.F. Growth and productivity of corn as affected by mulching and tillage in alley cropping systems. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 204–208, 2008.

MOURA, E.G.; MOURA, N.G.; MARQUES, E.S.; PINHEIRO, K.M.; COSTA SOBRINHO, J.R.S.; 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.

MOURA, E.G.; SERPA, S.S.; SANTOS, J.G.D.; COSTA SOBRINHO, J.R.S.; AGUIAR, A.C.F. Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. **Nutr Cycl Agroecosyst**, v. 86, p. 189–198, 2010.

MUELLER, L.; SCHINDLER, U.; MIRSCHEL, W.; SHEPHERD, T.G., BALL, B.C.; HELMING, K.; ROGASIK, J.; EULENSTEIN, F.; WIGGERING, H. Assessing the productivity function of soils. **Agron. Sustain**, v. 30, p. 601–614, 2010.

MULLINS, C.E. Hardsetting soils. In: **Handbook of soil science** (ed. M.E. Summer), 65–87p. CRC Press, 1999.

MULLINS, C.E.; MACLEOD, D.A.; NORTHCOTE, K.H.; TISDALL, J.M.; YOUNG, I.M. Hardsetting soils: behaviour, occurrence and management. **Advances in Soil Science**, v. 11, p. 37-108, 1990.

NORTHCOTE, K.H.; HUBBLE, G.D.; ISBELL, R.F.; THOMPSON, C.F.; BETTANY, E. A description of Australian soils. **CSIRO Division of Soils**. 1975.

OKOGUN, J. A.; SANGINGA, N.; MULONGOY, K. Nitrogen contribution of five leguminous trees and shrubs to alley cropped maize in Ibadan, Nigeria. **Agroforestry Systems**, v. 50, p. 123–136, 2000.

PANDEY, C.B.; RAI, R.B. Nitrogen cycling in gliricidia (*Gliricidia sepium*) alley cropping in humid tropics. **Tropical Ecology**, v. 48, p. 87-97, 2007.

PATRICK, W.H. Jr.; MIKKELSEN, D.S.; WELLS, B.R. Plant nutrients behavior in flooded soils. In: Fertilizer Technology and use. 3rd, ed. **Am. Soc. of Agr.**, 197-228p., 1985.

ROMERO, V.M.; VEGA, J.B.; BELLIDO, R.J.L.; FONTÁN, J.M.; BELLIDO, L.L. Effect of tillage system on the root growth of spring wheat. **Plant and Soil**, v. 326, p. 97–107, 2010.

SANGAKKARA, U.R.; LIEDGENS, M.; SOLDATI, A.; STAMP, P. Root and shoot growth of maize (*Zea mays*) as affected by incorporation of *Crotalaria juncea* and *Tithonia diversifolia* as green manures. **J. Agron. Crop Sci.**, v. 190, p. 339–346, 2004.

SAVANT, N.K.; DE DATTA, S.K. Nitrogen transformations in wetland rice soils. **Advances in Agronomy**, v. 35, p. 241-302, 1982.

SHARMA, A.R.; BEHERA, U.K. Green leaf manuring with prunings of *Leucaena leucocephala* for nitrogen economy and improved productivity of maize (*Zea mays*)–wheat (*Triticum aestivum*) cropping system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 86, p. 39–52, 2010.

SITTHAPHANIT, S.; LIMPINUNTANA, V.; TOOMSAN, B.; PANCHABAN, S.; BELL, R.W. Fertiliser strategies for improved nutrient use efficiency on sandy soils in high rainfall regimes. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 85, p. 123-139, 2009.

SMITHSON, P.C.; GILLER, K.E. Appropriate farm management practices for alleviating N and P deficiencies in low-nutrient soils of the tropics. **Plant and Soil**, v. 245, p. 169–180, 2002.

SOMMER, K. Control of Al/Fe activities in soils of the humid tropics by a balanced fertiliser management. **Plant Nutrition**, Developments in Plant and Soil Sciences, v. 92, 998-999p., 2002.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 755-760, 2004.

SZOTT, L.T.; PALM, C.A. and BURESH, R.J. Ecosystem fertility and fallow function in the humid and subhumid tropics. **Agroforestry Systems**, v. 47, p. 163-196, 1999.

TANG, C.; RENGEL, Z.; DIATLOFF, E.; GAZEY, C. Responses of wheat and barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. **Field Crops Research**, v. 80, p. 235-244, 2003.

WANG, L.; TANG, L.; WANG, X.; CHEN, F. Effects of alley crop planting on soil and nutrient losses in the citrus orchards of the Three Gorges Region. **Soil and Tillage Research**, v. 110, p. 243-250, 2010.

WANG, Y.; WANG, E.; WANG, D.; HUANG, S.; MA, Y.; SMITH, C.J.; WANG., L. Crop productivity and nutrient use efficiency as affected by long-term fertilisation in North China Plain. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 86, p. 105–119, 2010.

XU, L.; ZHANG, Q.; HUANG, L. Nitrogen leaching in a typical agricultural extensively cropped catchment, China: experiments and modeling. **Water and Environment Journal**, v. 24, p. 97–106, 2010.

ZAMAN, M.; NGUYEN, M.L.; BLENNERHASSETT J.D.; QUIN, B.F. Reducing NH₃, N₂O and NO₃⁻ N losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, p. 693–705, 2008.

CAPÍTULO II

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E CRESCIMENTO DE RAÍZES DO MILHO NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO SOBRE PALHA DE LEGUMINOSAS

Resumo:

No Maranhão a maior parte da produção de culturas alimentares é realizada por meio da agricultura itinerante em solos predominantemente de baixa fertilidade natural e suscetível à coesão. O objetivo deste trabalho foi determinar os indicadores físicos do solo e estabelecer sua relação com o desenvolvimento radicular do milho sob influência do sistema de plantio direto na palha de quatro leguminosas: *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Clitoria fairchildiana* e *Acacia mangium*. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Amostras para avaliação de densidade e porosidade do solo foram coletadas com anéis volumétricos de capacidade de 100cm³. A taxa de infiltração de água foi determinada com o auxílio do permeâmetro de Guelph. Amostras para determinação da densidade do comprimento radicular e massa de raízes do milho foram coletadas com auxílio de um trado tipo caneca, como também foram colhidas três plantas de milho por parcela para calcular a produção de matéria seca. Os resultados de produtividade da matéria seca da parte aérea do milho mostraram que nas parcelas sem resíduo as plantas produziram menos biomassa, tendo uma produção consideravelmente inferior em relação às parcelas cobertas. Os valores de densidade, umidade, porosidade total, e resistência à penetração nas parcelas cobertas mostraram diferença em relação às parcelas descobertas, resultado semelhante ocorreu em relação à densidade do comprimento radicular e massa de raízes do milho. O maior volume de macroporos, promovido pela adição dos resíduos proporcionou maior velocidade de entrada da água na superfície e redução na densidade do solo.

Palavras-chave: aléias, milho, comprimento radicular.

PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL AND ROOT GROWTH OF CORN IN NO-TILLAGE ALLEY CROPPING SYSTEMS

Abstract:

In Maranhão state (Brazil) most of the production of food crops is done by shifting cultivation in soils predominantly of low natural fertility and susceptible to cohesion. The objective of this study was to determine selected soil physical indicators and their relation with corn root development in an alley cropping system with mixtures of four leguminous trees, *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Acacia mangium* and *Clitoria fairchildiana*. The experimental design was a randomized block with four replications. Samples for assessment of bulk density and porosity of the soil were collected with 100cm³ sized rings. The rate of water infiltration was determined using a Guelph permeameter. Samples for determination of root length density and root mass of maize were collected with the aid of an auger. I also collected three maize plants per plot to calculate dry matter production. Results indicate that maize shoot dry mass in plots without legume residues was considerably lower than in plots covered by mulch. Estimates of soil density and penetration resistance, as well as maize root density and root mass differed significantly between plots with or without mulch cover. The larger macropore volume associated with soil cover resulted in higher water infiltration into the topsoil and lower soil bulk density.

Key words: alley cropping, corn, root length density

1. Introdução

Os solos agrícolas vêm sendo explorados constantemente com diferentes sistemas de manejo e mesmo utilizando práticas de conservação são inevitáveis vários tipos de degradações nas suas propriedades físicas. Isso pode ser evidenciado pelo aumento da densidade e resistência do solo à penetração e pela diminuição da estabilidade de agregados (Costa et al., 2003). Dessa forma, tem-se aplicado a sensibilidade dos atributos físicos do solo como indicador de qualidade do solo ao influenciar diretamente na sustentabilidade produtiva das culturas.

Os sistemas de preparo e manejo do solo determinam as condições físicas para o crescimento e produtividade das culturas. Em regiões tropicais, solos que possuem uma estrutura frágil com baixos teores de carbono e ferro livre, sob precipitações superiores a 2000 mm e altas temperaturas, quando utilizado o plantio convencional, esse manejo tende a interferir negativamente em alguns atributos do solo tais como: densidade, umidade e resistência à penetração gerando a compactação (Chamen et al., 2003). Desse modo, o cultivo em aléias que consiste no plantio de leguminosas arbóreas que são periodicamente podadas para servirem como cobertura morta tem se mostrado eficiente em promover melhorias em relação à umidade, a capacidade de aeração do solo e a atividade biológica, além de reduzir a demanda por insumos externos (Moura et al., 2008).

O método mais utilizado para quantificação das raízes é o proposto por Tennant (1975), que serve de base para a maioria das metodologias inclusive embutido em softwares como WinRHIZO e Siarcs, que utilizam o processamento de imagens digitais das raízes para caracterizar a distribuição radicular. Na avaliação do sistema radicular, o método do trado proporciona uma amostragem volumétrica (Böhm, 1979), além de ser uma forma melhor que o método do perfil que analisa apenas em plano único (Vasconcelos, 2003).

O estudo do sistema radicular permite compreender as interações entre solo e planta, no sentido de servir como parâmetro para avaliar a capacidade do sistema de manejo do solo em criar um ambiente adequado para fornecer água, ar, nutrientes e suporte mecânico para o crescimento das plantas. Além disso, um sistema radicular profundo e ativo reduz a perdas por lixiviação, aumentando a retenção de nutrientes na zona radicular.

O objetivo deste trabalho foi determinar indicadores físicos do solo e estabelecer sua relação com o desenvolvimento radicular do milho sob influência do sistema de plantio direto na palha de leguminosas.

2. Material e Métodos

O experimento foi instalado em um sistema implantado em 2002 na Universidade Estadual do Maranhão no Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural, no início do período chuvoso, em São Luís - Maranhão, nordeste do Brasil. As coordenadas geográficas compreendem 2° 30' Latitude Sul e 44° 18' Longitude a Oeste do meridiano de Greenwich. O clima da região na classificação de Köppen é do tipo Aw, equatorial quente e úmido. As precipitações variam de 1700 a 2300 mm anuais, dos quais mais de 80% ocorrem de janeiro a maio. A precipitação pluviométrica para São Luís, do período de janeiro a julho de 2009, é apresentada na Figura 1.

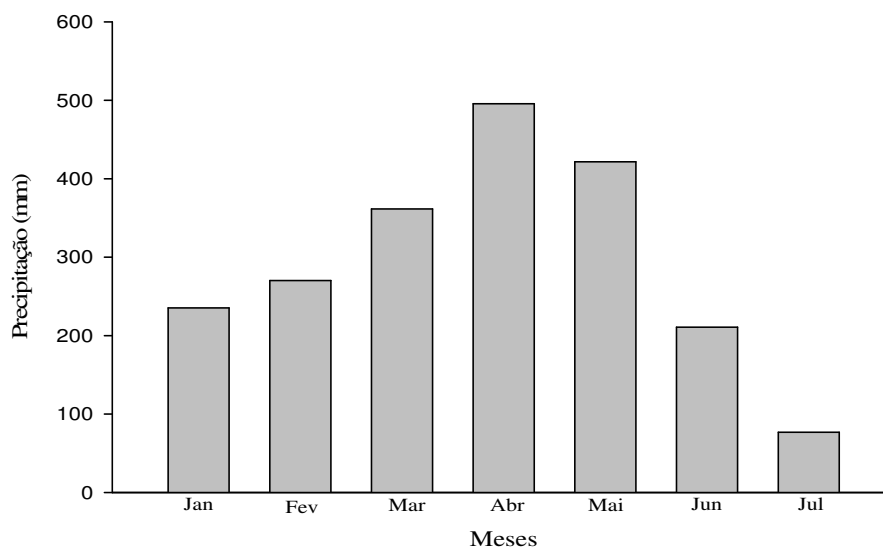


Figura 1. Precipitação pluviométrica para São Luís-MA em 2009.

O solo da área experimental é denominado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico (EMBRAPA, 2006), com as seguintes características granulométricas: 260 g kg⁻¹ de areia grossa, 560 g kg⁻¹ de areia fina, 80 g kg⁻¹ de silte e 100 g kg⁻¹ de argila. Para produção dos resíduos utilizou-se o sistema de cultivo em aléias implantado em janeiro de 2002 com quatro espécies de leguminosas duas de alta

qualidade de resíduos - *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. (leucena) e *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp (gliricídia), e duas espécies de baixa qualidade de resíduos - *Clitoria fairchildiana* R.A. Howard (sombreiro) e *Acacia mangium* Willd (acácia). As espécies foram semeadas em fileiras duplas de forma que cada parcela recebeu dois tipos de resíduos, resultante da combinação de duas leguminosas, formando os seguintes tratamentos: Leucena + Acácia (L+A); Leucena + Sombreiro (L+S); Gliricídia + Leucena (G+L); Acácia + Gliricídia (A+G); Sombreiro + Gliricídia (S+G) e Testemunha, sem aléias. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. As leguminosas foram espaçadas de 0,5m entre plantas, em parcelas de 21 x 4m. As quantidades de biomassa seca produzidas e aplicadas ao solo foram igualmente distribuídas entre todas as parcelas de cada tratamento. No ano de 2009 a quantidade de matéria seca está indicada na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidade de biomassa seca produzida pela combinação de leguminosas

Tratamento	S+G	G+L	A+G	L+S	L+A
Massa Seca (Mg ha ⁻¹)	8,5	10,2	20,4	10,5	22,6

Entre as leguminosas foi cultivado o milho, em parcelas de 12 x 4m, com densidade de 5 plantas por m². As adubações básicas do milho foram de 400 kg ha⁻¹ da formulação 5-25-15 + 0,05% Zn. Para adubação em cobertura, aplicou-se 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de uréia, aos 35 dias após a emergência das plantas.

As amostras para avaliações físicas do solo foram coletadas horizontalmente em anéis volumétricos com capacidade de 100cm³, em maio de 2009, com três repetições por parcela, na profundidade de 10 cm. As amostras foram saturadas, pesadas, levadas à mesa de tensão e equilibradas no potencial de 6 kPa. Após a pesagem, o solo de cada anel foi seco em estufa a 105 °C. A densidade do solo foi calculada pela fórmula $\rho_s = m_s/v_s$, onde: ρ_s = densidade do solo; m_s = massa do solo da amostra seca a 105 °C; v_s = volume do solo. A porosidade total (Φ_t) foi calculada pela fórmula $\Phi_t = [1 - (\rho_s/2,65)]$, onde: Φ_t = porosidade total; ρ_s = densidade do solo e densidade de partícula foi adotada o valor de 2,65 (Moura, 1992). A capacidade de aeração corresponde ao volume de macroporos e foi calculada como a diferença de massa entre a amostra saturada em água e a amostra equilibrada a 6 kPa. A resistência a penetração foi medida com auxílio do penetrômetro digital da marca Fieldsout (Spectrum Technologies, Oriente Plainfield,

EUA), com armazenamento de dados das leituras realizadas aleatoriamente a cada 2,5 cm. Nesse experimento foram feitas três repetições por parcela.

A amostragem das raízes de milho foi realizada no estádio de pendoamento aproveitando o período de máxima densidade radicular do milho (Mengel e Barber, 1974), utilizando um trado manual tipo caneca de base serrilhada de 5,4 cm de diâmetro e volume total de 475,2 cm³. As amostras foram coletadas a 20 cm de cada linha de milho.

Em todas as parcelas foram coletadas amostras das raízes de 0-5, 5-10, 10-15 e de 15-20 cm de profundidade, com três repetições em cada parcela. Para o preparo de tais amostras utilizou-se uma peneira de 2 mm e outra de 1 mm conjugada, segundo Böhm (1976), no qual o solo foi separado das raízes por jatos d'água para posterior separação das impurezas, no qual a perda de raízes foi irrelevante. Imediatamente após limpeza, as raízes foram armazenadas e conservadas a temperatura de -12°, procedeu-se a contagem manual utilizando o método da interseção de Newman (1966) modificado por Tennant (1975). O método consiste em distribuir as raízes obtidas de cada volume de solo em placas de Petri, dividida em quadriculas de 1 x 1 cm. Cada raiz que interceptou uma linha foi computada, para isto foi utilizada uma contagem manual. O total acumulado foi convertido para densidade do comprimento radicular (DCR), usando a seguinte equação:

$$DCR = \frac{\frac{11}{14} \times N \times U}{V_t} (\text{cm cm}^{-3})$$

em que N= Número de interseções; U= Unidade do quadriculado (cm); V_t= volume do trado (cm³).

No período da antese foram colhidas três plantas por parcela e, em seguida, foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 60 °C (até atingir peso constante) para determinar a produção da matéria seca do milho.

Amostras para análises químicas de Ca, Mg, H+Al, do solo foram coletadas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 cm e analisadas segundo IAC (2001)

As análises químicas do solo foram as seguintes: pH em CaCl₂, P, K, Ca, Mg, H+Al, segundo metodologia do Instituto Agrônomo de Campinas (2001). As amostras foram coletadas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 cm, e determinados a capacidade de troca catiônica (CTC) pela fórmula [SB + (H + Al)], onde SB = Ca + Mg + K e a saturação por bases, calculada por V = (SB/CTC)x100.

Os dados foram analisados estatisticamente com auxílio do programa STATISTICA 7.0 (StatSoft, Inc.) e os resultados das análises físicas do solo, assim como os parâmetros de densidade radicular do milho foram submetidos ao teste de normalidade de Lilliefors e à análise de variância, com comparação de médias pelo teste LSD de Fisher a 5% de probabilidade.

3. Resultados e Discussões

De maneira geral os indicadores de qualidade do solo estão relacionados de forma direta ou indireta ao volume de poros, o que permite a compreensão da ligação dos atributos físicos com produtividade, dinâmica da água e solutos no solo (Reynolds et al., 2009).

A porosidade do solo (Tabela 3) foi maior nos tratamentos que receberam os resíduos, com valores de 0,50 a 0,52 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, enquanto nas parcelas sem cobertura foi 0,47 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. É importante destacar que, para as raízes acessarem a água armazenada no solo é preciso crescer por poros tão grandes quanto o diâmetro da própria raiz ou construir um novo sistema de poros pelo deslocamento das partículas do solo (Taylor, 1974). Pode-se afirmar que a aplicação dos resíduos foi responsável pelo volume de poros maiores, o que segundo Shepherd et al., (2002) se deve ao efeito da fração leve da matéria orgânica sobre o que denominou de estabilidade efêmera dos agregados, resultante da adição continuada dos resíduos em solos de textura franco-arenosa, evidenciando que houve uma melhoria na estrutura do solo ao criar condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Além disso, o tamanho e a continuidade dos poros determinam a capacidade de transporte de água e oxigênio para as raízes (Lipiec & Hatano, 2003).

A capacidade de aeração do solo foi de 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ nas parcelas sem resíduo (Tabela 3), esse valor é considerado o limite crítico que pode restringir a difusão de gases no solo (Thomasson, 1978) e conseqüentemente reduzir a taxa de crescimento das raízes e da parte aérea, além disso, a diminuição da disponibilidade de O_2 no solo causa uma redução da transpiração na folha e da fotossíntese, influenciando o funcionamento dos estômatos (Imhoff et al., 2010). Após análise da capacidade de aeração verificou-se que o maior volume de macroporos promovido pela adição dos resíduos, aumentou consideravelmente a velocidade de entrada da água na superfície (Tabela 3). Isso pode ter importância fundamental nos períodos de maior precipitação pluviométrica, quando

o excesso de água pode limitar o crescimento das plantas como reportado por Moura et al. (2009).

Os parâmetros taxa de infiltração e densidade do solo foram fortemente influenciadas pelo manejo, pois em todas as parcelas que receberam a cobertura, houve melhora de até 52% na taxa de infiltração da água e uma menor densidade do solo (Tabela 3). Além disso, a infiltração e a retenção de água no solo são essenciais no balanço de água na zona de enraizamento (Cruz et al., 2005). Desse modo, a maior infiltração contribuiu para um menor escoamento superficial e conseqüentemente maior armazenamento de água.

No tratamento sem cobertura a densidade do solo foi maior, o que causou uma redução na porosidade total, devido à diminuição dos macroporos e aumento dos microporos, e, dessa forma, os valores de infiltração de água diminuíram (Tabela 3).

Tabela 3. Valores da porosidade total (Φ_t), densidade do solo (ρ_s), e umidade volumétrica de saturação, capacidade de aeração e umidade volumétrica a 6 Kpa com 10cm de profundidade.

	Tratamentos					
	L+S	G+L	A+G	L+A	S+G	T
Porosidade total ($m^3 m^{-3}$)	0,51a	0,50a	0,52a	0,51a	0,50a	0,47b
Umidade vol. de saturação ($m^3 m^{-3}$)	0,50a	0,48a	0,50a	0,51a	0,49a	0,45b
Capacidade de aeração ($m^3 m^{-3}$)	0,13a	0,13a	0,13a	0,14a	0,13a	0,10b
Densidade do solo ($g cm^{-3}$)	1,29a	1,31a	1,30a	1,29a	1,31a	1,41b
Umidade volumétrica 6 KPa ($m^3 m^{-3}$)	0,33ns	0,33ns	0,35ns	0,34ns	0,32ns	0,31ns
Infiltração da água ($mm h^{-1}$)	70,58a	70,35a	67,53a	71,58a	65,20a	37,17b

L+S = Leucena + Sombreiro; G+L = Gliricídia + Leucena; A+G = Acácia + Gliricídia; L+A = Leucena+Acácia; S+G = Sombreiro + Gliricídia; T= Testemunha. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Fischer, a 5% de probabilidade.

Houve aumento da resistência do solo à penetração nas camadas inferiores ao longo do perfil (Figura 2), o que se deve ao efeito da coesão intensificado pela menor umidade e elevada densidade (Lima, 2009), o que resultou na redução da capacidade de armazenamento e fornecimento de água e nutrientes, que conduz à exigência adicional de fertilizantes, aumento do custo de produção (Hamza & Anderson, 2005), redução do crescimento das plantas, diminuição do aporte de matéria orgânica fresca para o solo e declínio da reciclagem de nutrientes e mineralização.

O tratamento com leucena e acácia apresentou os menores valores de resistência a penetração (RP), no entanto atingiu 2 MPa com apenas 10 cm de profundidade (Figura

2). Os maiores valores de resistência do solo à penetração foram constatados nas parcelas sem resíduos, alcançando valores superiores a 4 MPa com 20 cm de profundidade. Materechera et al. (1991) mostraram que a resistência de 3,6 MPa, pode impedir completamente o crescimento da raiz. Além disso, o solo coeso atinge a resistência mecânica à penetração (RP) acima de 2 MPa antes de atingir 10cm de profundidade (Figura 2). Segundo Hamza & Anderson (2005), valores de RP acima de 2,5 MPa são considerados limitantes ao pleno crescimento das raízes das plantas. Desse modo a resistência à penetração não depende apenas do teor de umidade e da densidade do solo, mas também do conteúdo de carbono orgânico (Tarkiewicz & Nosalewicz, 2005).

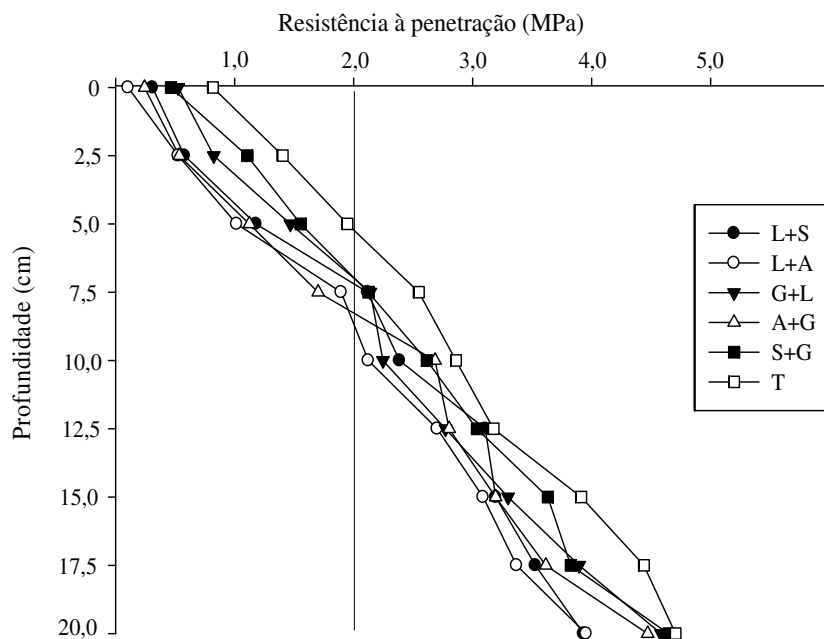


Figura 2. Resistência mecânica a penetração do solo. L+S = Leucena + Sombreiro; L+A = Leucena + Acácia; G+L = Gliricídia + Leucena; A+G = Acácia + Gliricídia; S+G = Sombreiro + Gliricídia.

Como se poderia esperar a densidade do comprimento radicular (DCR) diminui com o aumento da profundidade em todos os tratamentos (Figura 3), sendo que nas parcelas com cobertura ocorreu melhor distribuição do sistema radicular e uma maior concentração de raízes em todas as profundidades quando comparada à testemunha, que apresentou menor crescimento radicular. Esse comportamento evidencia que a cobertura morta ao diminuir a evaporação, retarda o processo de secamento e endurecimento do solo nos períodos sem chuva, minimiza o efeito do grau de coesão pela manutenção da

umidade do solo e promove uma maior enraizabilidade do solo; favorece a adaptação das plantas de milho ao ambiente desfavorável pela maior exploração de água e nutrientes do solo (Sangakkara et al., 2004). Segundo Souza et al. (2007), o desenvolvimento radicular em profundidade em solo coeso é mínimo, pois as raízes tendem a se desenvolver apenas nas fraturas existentes nas camadas coesas; além disso, ocorre redução no volume de solo explorado pelas raízes, em relação aos horizontes sobre e subjacentes.

No tratamento com leucena e acácia houve maior crescimento de raízes nas camadas de 0-5; 5-10; 10-15; e 15-20 cm quando comparado aos tratamentos restantes, entretanto nessas profundidades, constatou-se menor taxa de crescimento radicular de 53%; 57%; 72%; 75%, respectivamente, nas parcelas sem cobertura (Figura 3). Provavelmente esse crescimento inferior está relacionado a uma tendência de que os nutrientes resultantes da decomposição fiquem acumulados na camada superficial sob plantio direto, embora os nutrientes acumulados junto à superfície possam restringir a distribuição do sistema radicular dentro de uma camada do solo (Qin et al., 2005).

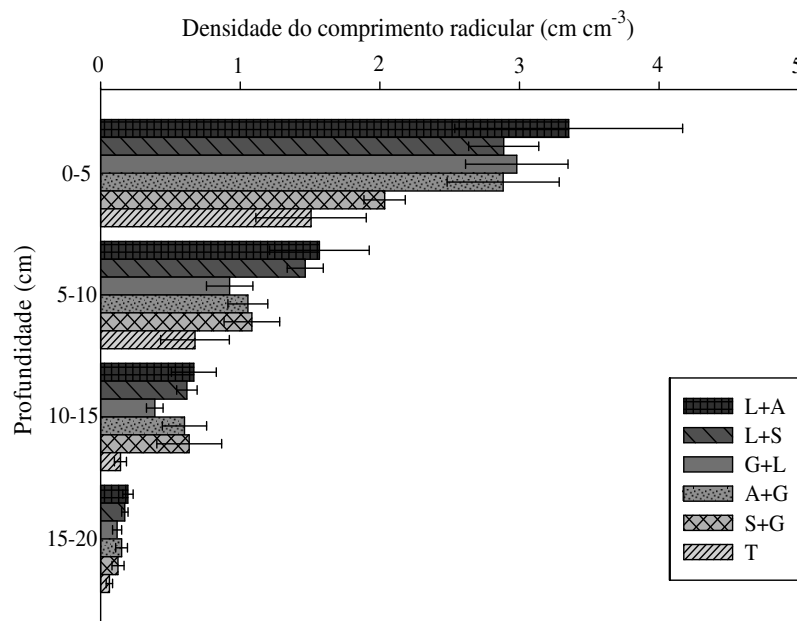


Figura 3. Efeito dos tratamentos sobre o crescimento radicular do milho. L+A = Leucena + Acácia; L+S = Leucena + Sombreiro; G+L = Gliricídia + Leucena; A+G = Acácia + Gliricídia; S+G = Sombreiro + Gliricídia; T= Testemunha. As linhas horizontais em cada barra representam o erro-padrão das médias.

É importante destacar que na camada de 15-20 cm, ocorreu uma considerável redução no comprimento radicular, tal limitação está relacionada ao fato de que as

raízes se desenvolvem melhor acima das camadas com maiores valores de RP. Nesse sentido, Giarola & Silva (2003) enfatizam que as raízes que crescem em solos coesos e, simultaneamente, os secam, contribuem para aumentar progressivamente o impedimento mecânico do solo e, conseqüentemente, reduzem a taxa de crescimento radicular. Desse modo, ficou evidenciado que o plantio direto permitiu o crescimento da raiz pelo efeito dos bioporos formado pelos organismos do solo e pela morte das raízes das plantas, o que proporciona um ambiente radicular favorável ao enraizamento (Williams & Weil, 2004).

Nas parcelas sem resíduo mesmo com calagem, adubações de plantio e de cobertura regulares não houve vantagem significativa no crescimento radicular, o que significa que isoladas estas práticas não contribuem para a produção de matéria seca do milho (Figura 4). Estes resultados destacam que a cobertura morta propicia ao solo condições favoráveis no suprimento de água e nutrientes, o que reflete em maiores produtividade do milho, no entanto é importante salientar que o efeito da cobertura varia com a qualidade do resíduo vegetal aplicado associado a fatores meteorológicos (Moura et al., 2010).

A produção da matéria seca da parte aérea do milho (MSPA) variou de 5,7 Mg ha⁻¹ na testemunha a 14,2 Mg ha⁻¹ no tratamento (L+S) (Figura 4). Isto se deve ao fato de que, a permanência dos resíduos sobre o solo indica que a combinação de adubos inorgânicos com orgânico, pode ser usada como fonte de nutrientes e ao mesmo tempo poderá servir como uma estratégia para aumentar a produtividade das culturas.

Quanto à produção da MSPA, os tratamentos submetidos à cobertura com resíduos de leguminosas obtiveram rendimento duas vezes maior quando comparado ao tratamento sem resíduos ao inibir o potencial produtivo do genótipo (Figura 4). Assim sendo, o uso da adubação verde promoveu melhoria nas condições físicas e químicas do solo, além de estimular o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea.

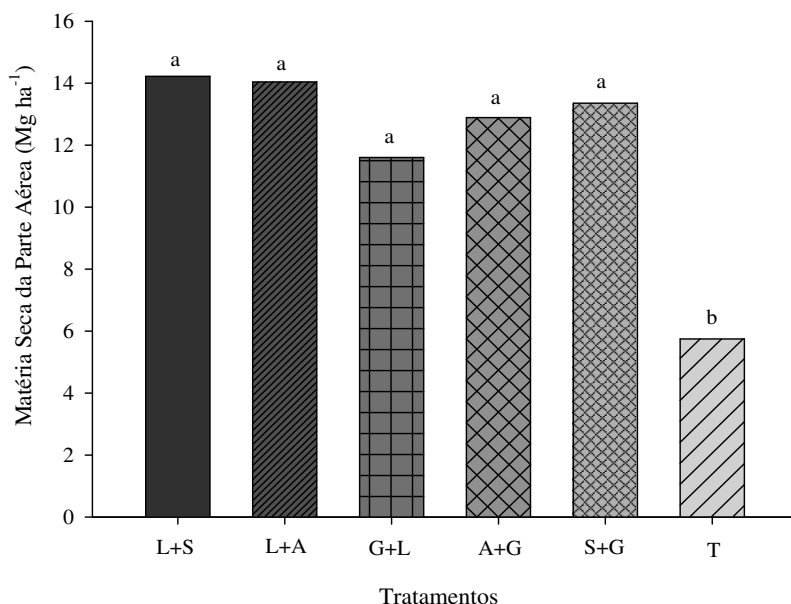


Figura 4. Matéria seca da parte aérea (MSPA) do milho sob diferentes tratamentos. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Fischer, a 5% de probabilidade.

Portanto, leucena e acácia foram os principais contribuintes para a produção de resíduos de baixa e alta qualidade, respectivamente, o que sugere que, quando combinadas, condicionam o solo ao aprofundamento radicular, pela melhoria das características físicas, o que facilita a absorção de água, nutrientes e difusão de oxigênio.

Nas parcelas sem resíduos as raízes enfrentaram adversidades e apresentaram DCR inferior a $3 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ até 20 cm de profundidade, dificultando o acesso a quantidades adequadas de água e nutrientes isso causou estresse no ambiente radicular, o que resultou na baixa produção de matéria seca (Figura 5).

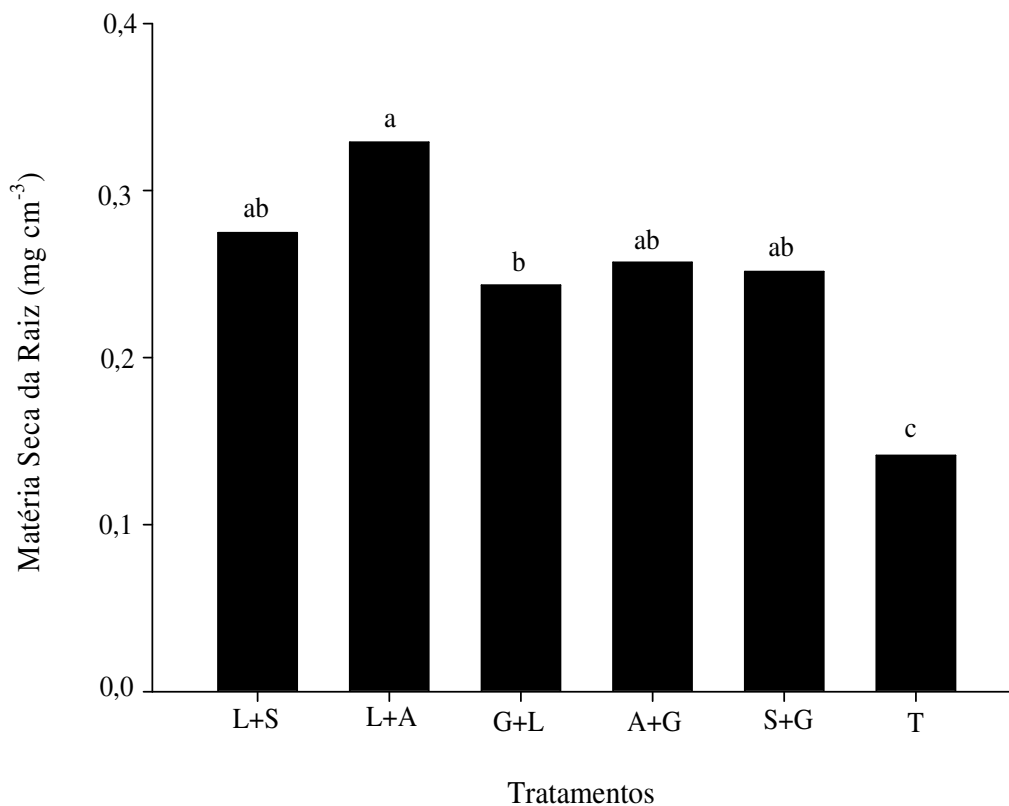


Figura 5. Matéria seca da raiz (MSR) do milho sob diferentes tratamentos. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Fischer, a 5% de probabilidade.

Em relação à massa seca das raízes do milho do tratamento (L+A), na profundidade de 0-20, o tratamento (L+A) foi 26% maior que (G+L), isso está relacionado à capacidade da acácia em proteger o solo e desse modo pode ser uma maneira interessante para reduzir as perdas por lixiviação, pois a combinação dessas leguminosas disponibilizam os nutrientes gradativamente (Moura et al., 2010), aproveitando o fato de que o milho alcança a taxa máxima de absorção no florescimento (Hanway 1963). Além de induzir o maior desenvolvimento radicular em profundidade, sobretudo na época de escassez de água.

O efeito da adição de resíduos vegetais causou um maior impacto na camada de 0-5 cm com destaque para a soma de bases (SB), e apesar disso, as diferenças estatísticas não foram suficientes para explicar os ganhos de produtividade (Tabela 3).

Tabela 3. Características químicas do solo após colheita do experimento em 2009

	L+S	L+A	G+L	A+G	S+G	T
0-5 cm						
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	12,0 ab	11,7 ab	12,7 a	11,4 ab	10,4 ab	6,2 b
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	3,9 a	3,7 a	3,7 a	3,0 ab	2,9 ab	1,8 b
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,9 a	0,6 a	1,2 a	1,0 a	0,9 a	1,4 a
P (mg kg ⁻¹)	15,8 a	10,3 a	12,0 a	14,5 a	14,3 a	15,1 a
SB (cmol _c dm ⁻³)	16,8 a	16,0 a	17,6 a	15,4 ab	14,2 ab	9,4 b
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	44,3 a	45,8 a	43,8 a	45 a	41,3 a	37,3 a
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	61,0 a	61,8 a	61,4 a	60,4 ab	55,5 ab	46,6 b
pH (CaCl ₂)	4,0 a	3,9 a	4,1 a	4,0 a	4,1 a	4,2 a
V%	27,4 ab	25,3 ab	27,7 a	25,7 ab	25,8 ab	20 b
5-10 cm						
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	7,7 a	8,2 a	6,2 ab	7,9 a	7,0 ab	4,2 b
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	2,2 a	2,3 a	1,7 ab	1,8 ab	1,4 bc	0,9 c
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,5 a	0,3 a	0,5 a	0,4 a	0,4 a	0,6 a
P (mg kg ⁻¹)	13,9 a	7,5 a	14,1 a	20,2 a	10,4 a	11,7 a
SB (cmol _c dm ⁻³)	10,4 a	10,8 a	8,4 ab	10,1 a	8,9 ab	5,7 b
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	33,5 b	36,3 ab	38,8 ab	38,0 ab	35,0 ab	41,8 a
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	43,9 a	47,0 a	47,2 a	48,1 a	43,9 a	47,5 a
pH (CaCl ₂)	4,1 a	4,0 ab	4,1 ab	4,0 ab	4,0 ab	3,9 b
V%	23,6 a	22,6 a	17,9 ab	21,4 a	20,2 a	12,1 b
10-15 cm						
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	7,0 a	7,4 a	5,5 ab	5,7 ab	5,9 ab	3,2 b
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	1,5 ab	1,8 a	1,4 ab	1,3 ab	1,0 ab	0,8 b
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,5 a	0,2 a	0,2 a	0,4 a	0,1 a	0,4 a
P (mg kg ⁻¹)	11,4 a	7,3 a	16,0 a	24,6 a	14,2 a	17,7 a
SB (cmol _c dm ⁻³)	9,0 a	9,4 a	7,1 ab	7,3 ab	7,0 ab	4,5 b
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	33,0 a	36,5 a	34,0 a	38,0 a	32,8 a	36,8 a
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	42,0 a	45,9 a	41,1 a	45,3 a	39,8 a	41,2 a
pH (CaCl ₂)	4,1 a	4,0 ab	4,0 ab	4,0 ab	4,1 ab	3,9 b
V%	21,5 a	20,3 a	17,2 ab	16,5 ab	17,8 ab	11,1 b
15-20 cm						
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	5,6 ab	7,1 a	4,7 ab	4,5 ab	5,4 ab	2,8 b
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	1,2 ab	1,6 a	1,1 ab	0,9 bc	1,0 bc	0,4 c
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,2 a	0,2 a	0,2 a	0,2 a	0,2 a	0,3 a
P (mg kg ⁻¹)	14,8 a	7,3 a	10,8 a	23,2 a	15,3 a	18,1 a
SB (cmol _c dm ⁻³)	7,1 ab	8,9 a	5,9 abc	5,6 bc	6,6 abc	3,5 c
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	34,0 a	37,5 a	35,8 a	39,5 a	33,0 a	37,0 a
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	41,1 a	46,4 a	41,7 a	45,1 a	39,6 a	40,5 a
pH (CaCl ₂)	4,0 a	4,0 a	4,0 ab	3,9 ab	4,1 a	3,8 b
V%	17,3 a	19,1 a	14,5 ab	13,1 ab	16,7 ab	9,0 b

L+S = Leucena + Sombreiro; G+L = Gliricídia + Leucena; A+G = Acácia + Gliricídia; L+A = Leucena+Acácia; S+G = Sombreiro + Gliricídia; T= Testemunha. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Fischer, a 5% de probabilidade.

4. Conclusões

Os resultados desse experimento mostraram claramente o efeito positivo da adição de resíduos das leguminosas sob os indicadores físicos do solo como porosidade, umidade, resistência à penetração, capacidade de aeração, infiltração e densidade.

A resistência à penetração reduziu a capacidade de crescimento das raízes e de produção vegetal do milho.

O aumento da densidade do comprimento radicular quando comparado com as parcelas sem resíduo indicam uma maior eficiência na aquisição de nutriente por volume de solo explorado, resultando em maior produção vegetal.

5. Referências Bibliográficas

Böhm, W., 1976. In situ estimation of root length at natural soil profiles. J. Agric. Sci. 87, 365-368.

Böhm, W., 1979. Methods of studying root systems. New York, Springer-Verlag, 194p.

Chamen, T., Alakukku, L., Pires, S., Sommer, C., Spoor, G., Tjink, F., Weiskopf, P., 2003. Prevention strategies for field traffic induced subsoil compaction: a review. Part 2. Equipment and field practices. Soil Tillage Res. 73, 161-174.

Costa, F.S., Albuquerque, J.A., Bayer, C., Fontoura, S.M.V., Wobeto, C., 2003. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. R. Bras. Ci. Solo 27, 527-535.

Cruz, A.C.R., Libardi, P.L., Carvalho, L.A., Rocha, G.C., 2005. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. R. Bras. Ci. Solo 29, 1-10.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 306.

Giarola, N.F.B., Silva, A.P., 2003. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. Scientia Agrícola 59, 613-620.

Hamza, M.A., Anderson, W.K., 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. Soil Tillage Res. 82, 121-145.

Hanway, J.J., 1963. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). Agron J 55, 487-492.

IAC 2001. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. IAC, Campinas.

Imhoff, S., Kay, B.D., Silva, A.P., Hajabbasi, M.A., 2010. Evaluating responses of maize (*Zea mays* L.) to soil physical conditions using a boundary line approach. Soil and Tillage Research 106, 303-310.

Lima Neto, J.A., Ribeiro, M.R., Corrêa, M.M., Souza Júnior, V.S., Lima, J.F.W.F., Ferreira, R.F.A.L., 2009. Characterization and genesis of cohesive horizons in oxisols and ultisols of the coastal tablelands of Alagoas State, Brazil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 33, 1001-1012.

Lipiec, J., Hatano, R., 2003. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma* 116, 107-136.

Materechera, S.A., Dexter, A.R., Alston, A.M., 1991. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. *Plant and Soil* 135, 31-41.

Mengel, D.B., Barber, S.A., 1974. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. *Agron J* 66, 399-402.

Moura, E.G., Vieira, S.R., Carvalho, A.M., 1992. Avaliação da capacidade de aeração e de água disponível dos solos de duas transeções na baixada maranhense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 16, 7-18.

Moura, E.G., Albuquerque, J.M., Aguiar, A.C.F., 2008. Growth and productivity of corn as affected by mulching and tillage in alley cropping systems. *Scientia Agricola* 65, 204–208.

Moura, E.G., Moura, N.G., Marques, E.S., Pinheiro, K.M., Costa Sobrinho, J.R.S., Aguiar, A.C.F., 2009. Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil. *Soil Use and Management* 25, 368–375.

Moura, E.G., Serpa, S.S., Santos, J.G.D., Costa Sobrinho, J.R.S., Aguiar, A.C.F., 2010. Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. *Nutr Cycl Agroecosyst* 86, 189–198.

Newman, E.I., 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *Journal of Applied Ecology*, Oxford, 3, 139-145.

Qin, R.J., Stamp, P., Richner, W., 2005. Impact of tillage and banded starter fertilizer on maize root in the top 25 centimeters of the soil. *Agronomy Journal* 97, 674-683.

Reynolds, W.D., Elrick, D.E., 1985. In situ measurement of fieldsaturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the μ parameter using the Guelph permeameter. *Soil Sci.* 140, 292-302.

Sangakkara, U.R., Liedgens, M., Soldati, A., Stamp, P., 2004. Root and shoot growth of maize (*Zea mays*) as affected by incorporation of *Crotalaria juncea* and *Tithonia diversifolia* as green manures. *J. Agron. Crop Sci.* 190, 339–346.

Shepherd, M.A., Harrison, R., Webb, J., 2002. Managing soil organic matter-implications for soil structure on organic farms. *Soil Use Management* 18, 284–292.

Souza, L.D., Souza, L.S., Ledo, C.A.S., 2007. Sistema radicular dos citros em Neossolo Quartzarênico dos Tabuleiros Costeiros sob irrigação e sequeiro. *Pesq. agropec. bras.* 42, 1373-1381.

Tarkiewicz, S., Nosalewicz, A., 2005. Effect of organic carbon content on the compactibility and penetration resistance of two soils formed from loess. *Int. Agrophysics* 19, 345-350.

Taylor, H. M., 1974. Root behavior as affected by soil structure and strength. In: CARSON, E. W. (Ed.). *The plant root and its environment*. Charlottesville : University Press of Virginia, 271-291.

Tennant, D., 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.* 63, 995-1001.

Thomasson, A.J., 1978. Towards an objective classification of soil structure. *Journal Soil Science* 29, 38-46.

Vasconcelos, A.C.M., Casagrande, A.A., Perecin, D., Jorge, L.A.C., Landell, M.G.A., 2003. Avaliação do sistema radicular de cana-de-açúcar por diferentes métodos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27, 849-858.

Williams, S.M., Weil, R.R., 2004. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 1403-1409.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.