

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
MESTRADO EM AGROECOLOGIA

**PLANTIO DIRETO NA PALHA DE LEGUMINOSAS COMO
ESTRATÉGIA PARA MELHORAR A EFICIÊNCIA DE USO DE
NUTRIENTES EM MILHO QPM**

ELIALDO ALVES DE SOUZA

São Luís-MA
2013

ELIALDO ALVES DE SOUZA

Engenheiro Agrônomo

**PLANTIO DIRETO NA PALHA DE LEGUMINOSAS COMO
ESTRATÉGIA PARA MELHORAR A EFICIÊNCIA DE USO DE
NUTRIENTES EM MILHO QPM**

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Alana das Chagas Ferreira Aguiar

**São Luís-MA
2013**

ELIALDO ALVES DE SOUZA

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

Aprovado em: 05/02/2013

Comissão Julgadora:

Prof^a. Dr^a. Alana das Chagas Ferreira Aguiar (Orientadora)

Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura

Dr. Eugênio Celso Emérito Araújo

DEDICO

A Deus, pela vida e pelas oportunidades confiadas.

Aos meus pais, pelo amor incondicional e apoio.

OFEREÇO

À minha família, especialmente a meus irmãos e sobrinhos, pelo espaço de crescimento compartilhado.

AGRADECIMENTOS

À Professora Alana das Chagas Ferreira Aguiar, pelo apoio, orientação e confiança.

Ao Professor Emanuel Gomes de Moura, pelos conselhos, dicas e conversas esclarecedoras.

Ao Professor Eneidas Chagas Filho, pelo acesso ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas e pelo auxílio em minhas análises.

Ao Professor João Reis Salgado Costa Sobrinho, pelo acesso ao Laboratório de Química do Solo.

À minha “esposa” Kelly Jane Cavalcante, pela amizade e moradia compartilhada durante o meu período de permanência em São Luís.

A Rayanne Cristine Cardoso Ewerton, pelo apoio da Secretaria do Programa, pelas dúvidas esclarecidas e pelo auxílio prontamente prestado.

Aos companheiros Marta Arruda, Virley Sena, Mariana Corrêa, *Danúbia Dadalto, Fabíola Santos, Weslley Sodré, Deyvison Soares, Carlos César, Anágila Janenis, Francisca Maria, Márcia Vieira, Tibério Monteiro e Flávio Roberto pelas informações, pelo auxílio no laboratório e no campo e pelos momentos de descontração e riso.

Aos funcionários Dionísio e Neto, pelo suporte nas atividades de campo e laboratório.

À Professora Francirose Shigaki e ao Dr. Eugênio Celso Emérito Araújo pelas importantes contribuições prestadas como membros das bancas de qualificação e defesa.

À CAPES pela concessão da bolsa e apoio financeiro.

“Se você deseja a paz, cultive a justiça, mas ao mesmo tempo cultive os campos para produzir mais pão, caso contrário não haverá paz.”

NORMAN BORLAUG

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação pluviométrica mensal para Chapadinha-MA em 2012.....	39
Figura 2. Temperaturas mensais para Chapadinha-MA em 2012.....	40
Figura 3. Representação esquemática das parcelas experimentais.....	41
Figura 4. Quantidades aportadas de P, K, Ca e Mg pelas diferentes combinações de leguminosas.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, antes da calagem e do plantio das leguminosas. Chapadinha-MA, 2009.....	41
Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental, antes do plantio da cultivar QPM. Chapadinha-MA, 2012.....	43
Tabela 3. Caracterização química das leguminosas.....	47
Tabela 4. Produtividade, índice de colheita e massa de 100 grãos para o cultivar BR 473.....	49
Tabela 5. Remobilização de N, acúmulo de N após o pendoamento (ANPP) e conteúdo de N no pendoamento.....	50
Tabela 6. Conteúdo de N no grão e conteúdo de proteína nos grãos do milho QPM BR 473.....	51
Tabela 7. Eficiência Agronômica do N (EAN) e Eficiência Agronômica do K (EAK).....	52
Tabela 8. Eficiência de Recuperação do N Orgânico (ER-NO) e do K Orgânico (ER-KO), Eficiência Fisiológica do N (EFN) e do K (EFK) e Eficiência de Utilização do N Orgânico (EU-NO) e do K Orgânico (EU-KO).....	53
Tabela 9. Eficiência de Recuperação do N Inorgânico (ER-NI) e do K Inorgânico (ER-KI), Eficiência Fisiológica do N (EFN) e do K (EFK) e Eficiência de Utilização do N Inorgânico (EU-NI) e do K Inorgânico (EU-KI).....	54

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	10
------------------------	-----------

BIOFORTIFICAÇÃO EM SISTEMA DE ALEIAS: UMA ALTERNATIVA PARA MELHORAR A EFICIÊNCIA DO USO DE NUTRIENTES NO SISTEMA SOLO-PLANTA-HUMANO

1. Introdução Geral.....	11
2. Referencial Teórico.....	13
2.1. Centro-Norte Maranhense.....	13
2.2. A Segurança Alimentar e os Solos do Trópico Úmido.....	15
2.3. A Segurança Alimentar e os Alimentos Biofortificados.....	16
2.4. Sistema de Cultivo em Aleias.....	18
2.5. Ciclagem de Nutrientes em Sistemas de Cultivo em Aleias.....	21
2.6. Eficiência do Uso de Nutrientes e Sustentabilidade Agrícola.....	23
2.7. Eficiência do Uso de Nutrientes na Cultura do Milho.....	26
3. Referências Bibliográficas.....	28

CAPITULO II.....	34
-------------------------	-----------

PLANTIO DIRETO NA PALHA DE LEGUMINOSAS COMO ESTRATÉGIA PARA MELHORAR A EFICIÊNCIA DE USO DE NUTRIENTES EM MILHO QPM

Resumo.....	35
Abstract.....	36
1. Introdução.....	37
2. Material e Métodos.....	39
2.1. Local do Experimento.....	39
2.2. Implantação do Sistema de Aleias e Histórico de Cultivos na Área.....	40

2.3. Montagem e Condução do Experimento em Campo.....	42
2.4. Análises na Cultura do Milho.....	43
2.5. Análises nas Leguminosas.....	46
2.6. Análise Estatística.....	46
3. Resultados.....	47
3.1. Caracterização Química das Leguminosas e Aporte de Nutrientes.....	47
3.2. Parâmetros e Índices de Produtividade do Milho.....	48
3.3. Remobilização de N, Conteúdo de N e Conteúdo de Proteína.....	49
3.4. Eficiência Agronômica.....	51
3.5. Eficiências dos Nutrientes Aplicados Via Biomassa Arbórea.....	52
3.6. Eficiências dos Nutrientes Aplicados Via Fertilização Mineral.....	53
4. Discussão.....	54
4.1. Caracterização Química das Leguminosas e Aporte de Nutrientes.....	54
4.2. Parâmetros e Índices de Produtividade do Milho.....	55
4.3. Remobilização de N, Conteúdo de N e Conteúdo de Proteína.....	57
4.4. Eficiência Agronômica.....	58
4.5. Eficiências dos Nutrientes Aplicados Via Biomassa Arbórea.....	59
4.6. Eficiências dos Nutrientes Aplicados Via Fertilização Mineral.....	61
5. Conclusões.....	62
6. Referências Bibliográficas.....	63

**BIOFORTIFICAÇÃO EM SISTEMA DE ALEIAS: UMA ALTERNATIVA PARA
MELHORAR A EFICIÊNCIA DO USO DE NUTRIENTES NO SISTEMA SOLO-
PLANTA-HUMANO**

CAPÍTULO I

1. Introdução Geral

O trópico úmido é caracterizado por uma série de peculiaridades agroambientais que precisam ser levadas em consideração na busca por tecnologias adequadas à realidade local que visem o aumento da produtividade e a melhoria das condições de vida das populações rurais.

Os solos do Centro-Norte maranhenses possuem, em sua maioria, uma baixa fertilidade natural, pois mais de 60% deles são derivados de rochas sedimentares, desestruturados, com baixa capacidade de reter cátions, e classificados principalmente como Argissolos, Plintossolos e Latossolos (MOURA et al., 2010; MOURA et al., 2009a). Além disso, eles 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), anualmente, 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). A alta pluviosidade (com uma média de 2.100 mm anuais) e a rápida decomposição da matéria orgânica favorecem a lixiviação de nitrato, a remoção de bases no perfil e intensificam a acidez tóxica, dificultando ainda mais o aproveitamento dos insumos aplicados (AGUIAR et al., 2009).

O baixo poder aquisitivo da população aliado à falta de tecnologias adequadas para a construção de uma agricultura que dê dignidade àqueles que dela vivem, tornam o Maranhão, cuja população ainda vive no campo em sua maioria, o Estado com o quadro mais grave de insegurança alimentar no país, com 64,6% das famílias submetidas a essa condição, e o segundo quadro mais grave de desnutrição infantil, com 36,5% das crianças atingidas (IBGE, 2012). Na tentativa de produzir alimentos de maneira eficiente os agricultores recorrem à “agricultura itinerante”, que consiste na derrubada e queima da vegetação nativa, cujos objetivos são limpar a área de plantio e promover a melhoria das condições químicas devido à adição das cinzas na camada superficial, com a correção da acidez e a elevação dos teores de nutrientes (MOURA et al., 2008a).

Porém, com o advento do programa de reforma agrária e o crescimento acelerado da população, tornou-se necessária a substituição urgente desse modelo, pois grande parte dos

agricultores ficou limitada a produzir sempre nas mesmas áreas todos os anos, o que diminui o tempo de pousio e impede a completa regeneração dos ecossistemas, com um consequente empobrecimento da fauna e da flora e diminuição anual da produtividade e da margem de lucro das famílias camponesas (MOURA et al., 2008a). Além disso, essa “agricultura de corte e queima” não garante dignidade às famílias e é responsável, juntamente com outras práticas de supressão e queima florestal, pela intensificação da problemática do aquecimento global. Afinal, a queima da vegetação primária lança, em média, de 2.714 Tg de CO₂ por ano na atmosfera (MIEVILLE et al., 2010).

O cultivo de alimentos biofortificados em agroecossistemas sustentáveis e de baixo *input* pode mostrar-se como uma estratégia viável para melhorar o quadro nutricional das famílias, elevar a renda das populações e mitigar uma série de problemas ambientais. O plantio direto na palha de leguminosas é indicado para esse contexto, pois combina duas possibilidades que normalmente andam separadas ao permitir a produção agrícola e a regeneração da fertilidade do solo no mesmo período e lugar (MOURA et al., 2010). Moura et al. (2009a) afirmam que o cultivo em aleias mantém a cobertura do solo, o que melhora os seus indicadores físicos de qualidade e a eficiência do uso de nutrientes, reduz a necessidade de fontes externas de nutrientes e mantém um equilíbrio dinâmico entre a entrada e a saída de carbono na superfície do solo, quando comparado com a “agricultura de corte e queima”.

O cultivo de variedades de milho QPM (Quality Protein Maize) pelas famílias camponesas pode auxiliar sobremaneira no combate à deficiência proteica, pois esse cereal representa a maior parte de toda a proteína consumida nas regiões mais pobres do mundo (FAO., 2012). As variedades QPM possuem os mesmos valores de energia quando comparadas aos cultivares tradicionais, porém, possuem maiores teores de lisina e triptofano, dois aminoácidos essenciais normalmente ausentes na dieta das famílias que vivem abaixo da linha da pobreza (ZHAI et al., 2007).

Assim, o presente trabalho teve por objetivos: 1) avaliar o efeito do sistema de plantio direto na palha de leguminosas sobre a disponibilidade e a eficiência de uso de N e K; 2) estudar o desempenho agrônomico da variedade de milho QPM BR 473 dentro desse agroecossistema de baixo *input*.

2. Referencial Teórico

2.1. O Centro-Norte Maranhense

A região Centro-Norte maranhense é uma zona de transição entre o Semiárido e a Amazônia com grande extensão territorial, alta densidade demográfica e que detém algumas peculiaridades de relevância agrônômica e ambiental por conta de sua localização.

O clima local é quente e semiequatorial úmido e a pluviosidade média possui grande variabilidade espacial, com 2.100 mm ano⁻¹ irregularmente distribuídos em duas estações bem definidas: uma estação chuvosa de janeiro a junho e uma estação seca com intenso déficit hídrico de julho a dezembro (MOURA et al., 2008a). A alta insolação acelera a decomposição e a queima da matéria orgânica do solo (MOS), que é muito importante para neutralizar a acidez tóxica local e manter a estrutura edáfica, garantindo o fluxo do excesso de água (AGUIAR et al., 2009).

Os solos são altamente intemperizados e derivam, em grande parte, de rochas sedimentares clásticas, com estrutura frágil e baixa capacidade de retenção de cátions (MOURA et al., 2010). A região apresenta Argissolos, Plintossolos e Latossolos, constituídos principalmente de areia fina e silte, com drenagem interna dificultada pela presença quase constante de camadas subjacentes de baixa condutividade hidráulica (MOURA et al., 2009a). Além disso, ciclos repetitivos de umedecimento-secagem associados com baixos teores de ferro livre e carbono orgânico (CO) causam a coesão nas áreas sob cultivo, o que reduz drasticamente o volume de solo ocupado pelas raízes e, conseqüentemente, prejudica a absorção de nutrientes, a aeração e a infiltração (AGUIAR et al., 2010).

Ao lado dessas condições edafoclimáticas, as áreas de fronteira agrícola, onde a vegetação original já foi devastada, abriga um grande número de famílias abaixo da linha da pobreza. Por conta disso, o Maranhão apresenta o quadro mais grave de insegurança alimentar no país, com 64,6% das famílias submetidas a essa condição, e o segundo quadro mais grave de desnutrição infantil, com 36,5% das crianças tendo o seu desenvolvimento comprometido por conta de uma alimentação de baixa qualidade e em quantidade insuficiente (IBGE, 2010).

A pobreza leva as comunidades a um uso intensivo e predatório dos diferentes recursos representados pela flora e fauna, o que acaba por gerar gravíssimas conseqüências ambientais

sem contrapartida econômica, em um ciclo onde a pobreza aumenta a degradação do meio ambiente e a degradação do meio ambiente intensifica a miséria (MOURA et al., 2009b). Os agricultores familiares locais, por exemplo, produzem alimentos no “sistema itinerante”, na qual a vegetação é inicialmente derrubada e queimada em seguida, cujos objetivos são a limpeza da área e a fertilização pelas cinzas (MOURA et al., 2009a).

A agricultura de corte e queima resolve temporariamente os problemas com as deficiências de aeração e nutrientes através do plantio sem preparo prévio do solo (o que mantém intacta a estrutura edáfica e a continuidade dos poros) e da deposição de cinza após as queimadas (o que corrige a acidez e adiciona uma quantidade significativa de elementos minerais na camada superficial) (MOURA et al., 2008a). Porém, essa prática provoca uma série de efeitos ambientais deletérios, como a seleção de espécies mais resistentes ao fogo e o empobrecimento da biodiversidade, sem a contrapartida de benefícios sociais para a população rural (MOURA et al., 2009a). Além disso, a queima de biomassa 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 CO₂ por ano (MIEVILLE et al., 2010).

Para MOURA et al. (2008b), o sistema itinerante foi sustentável durante muito tempo devido à abundância de áreas e à baixa densidade demográfica; no entanto, com advento do programa de reforma agrária e o crescimento acelerado da população, se tornou necessário a substituição urgente desse modelo, pois grande parte dos agricultores ficou limitada a produzir sempre na mesma área todos os anos, o que diminui o tempo de pousio e impede a completa regeneração dos ecossistemas. Alguns países da África (como Gana) e da Ásia (como a China) passam por um problema parecido, com o aumento da população exercendo grande pressão sobre o cultivo da terra e obrigando os agricultores a diminuírem o período necessário à recuperação das áreas utilizadas na produção de alimentos (PARTEY et al., 2011; ZHAO et al., 2012).

2.2. A Segurança Alimentar e Os Solos do Trópico Úmido

Segurança alimentar implica em acesso econômico e social a alimentos nutritivos e em quantidade suficiente para todas as pessoas durante todo o tempo, de forma a atender às suas necessidades e preferências, garantindo-lhes uma vida ativa e saudável (FAO, 2012).

Para Moyó (2007), a segurança alimentar se divide em quatro componentes distintos, a saber: (1) produção de alimentos através do manejo do recurso solo; (2) estabilidade na produção alimentar e disponibilidade durante todo o ano; (3) acesso aos alimentos através do poder econômico das famílias e comunidades; e (4) qualidade biológica e nutricional dos produtos agropecuários. Porém, o conceito de segurança alimentar está altamente relacionado ao conceito de sustentabilidade agrônômica. Nesse contexto, Lal (2009) define como agronomicamente sustentável o sistema de produção que atende aos seguintes preceitos: (1) mantém ou melhora a qualidade do solo; (2) garante o suprimento de alimentos seguros, acessíveis e em quantidades suficientes; e (3) assegura ganhos sociais, ambientais e econômicos para todos os membros da sociedade.

Assim, existe uma relação de causa e efeito entre a qualidade do solo e a qualidade dos alimentos produzidos. Segundo Pimentel et al. (2007), a degradação do solo tem efeitos negativos diretos e indiretos sobre a segurança alimentar. Os efeitos diretos são a perda de produtividade e o declínio da qualidade nutricional (redução dos teores de proteínas, micronutrientes, dentre outros); os efeitos indiretos são a redução da eficiência dos insumos aplicados, a necessidade de áreas maiores para compensar a perda de produtividade, a poluição do solo e da água e os seus impactos sobre a saúde humana.

As práticas da “agricultura moderna”, como uso excessivo de irrigação, aplicação de pesticidas, herbicidas e fertilizantes industriais, mecanização intensiva, a completa remoção dos restos culturais, dentre outras, têm consequências agrônômicas graves, pois causa a perda da qualidade do solo, como observado por Fan et al. (2012) na China. Por isso, as tentativas de introdução das técnicas tradicionais de preparo do solo no trópico úmido brasileiro, feitas por iniciativas do Estado e seus órgãos de execução da política agrícola, resultaram na degradação de extensas áreas devido à compactação das camadas edáficas superficiais pelas chuvas torrenciais. Os efeitos deletérios dessas práticas foram mais pronunciados porque os solos locais são formados basicamente por areia fina e silte e, além disso, a exposição da superfície aos rigores da

insolação acelera a degradação da matéria orgânica, o que elimina a possibilidade de reestruturação e aumenta os efeitos nocivos da acidez (MOURA et al., 2008a).

Segundo Lal (2009), quando as práticas utilizadas não são adequadas e quando não há uma preocupação com as técnicas de conservação, o solo se torna sujeito a processos de degradação de natureza física (desestruturação, erosão, compactação), química (depleção de nutrientes, desequilíbrio químico entre os cátions, acidificação, salinização) e biológica (depleção da matéria orgânica do solo, redução da diversidade, menor atividade da microbiota). A depleção de nutrientes está intimamente associada à erosão e pode ser acelerada pelo uso de práticas inadequadas, o que acarreta sérios danos econômicos, pois os custos envolvidos com aplicação de fertilizantes e outras práticas que visam contornar as perdas de nutrientes dos agroecossistemas são muito altos. (TELLES et al., 2011). No Brasil, por exemplo, os custos anuais para compensar a depleção de nutrientes giram em torno de US\$ 242 milhões (BERLOT et al., 2007) e na União Europeia os valores são de US\$ 45,4 bilhões por ano (TELLES et al., 2011).

As práticas sustentáveis para os solos tropicais incluem plantio direto, aplicação de compostagem e biomassa, uso de bio sólidos, cobertura superficial com leguminosas e sistemas agroflorestais (LAL, 2009). São medidas fundamentais na conservação e 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). Dessa maneira, esses conhecimentos são indispensáveis na adoção de programas que visem a segurança alimentar das populações locais.

2.3. A Segurança Alimentar e os Alimentos Biofortificados

Dados da FAO (2008) indicam que um bilhão de pessoas em todo o mundo – uma em cada seis – estão subnutridas. O termo “subnutrição” engloba também o conceito de “fome oculta”, caracterizada por uma falta crônica de nutrientes essenciais cujos danos à saúde são sentidos apenas depois de certo tempo (HARVEST PLUS, 2012).

O problema da má nutrição está no centro das discussões das políticas públicas voltadas para a segurança alimentar e para a promoção da saúde nas comunidades, e como ainda não é

possível o acesso de muitas populações a uma dieta diversificada, principalmente nos países em desenvolvimento, outras soluções ganham importância, tais como: 1) a fortificação, que é a adição de nutrientes específicos durante o processamento; 2) a suplementação, baseada no uso de capsulas, fornecidas a grupos específicos como gestantes e crianças; 3) a biofortificação, que é a técnica de aumentar o teor de nutrientes nas partes comestíveis das plantas, via intervenção genética e agrônômica. (MEENAKSHI et al., 2010). A grande vantagem da biofortificação em relação às outras estratégias é que os programas de melhoramento investem principalmente em pesquisas com as culturas de maior importância alimentar local e que são consumidas por todos os membros das famílias, podendo ser cultivadas para suprimento próprio, o que é especialmente vantajoso para as áreas rurais, normalmente as mais afetadas (HARVEST PLUS., 2012).

Em outras palavras, a biofortificação é a técnica de incrementar a quantidade e a biodisponibilidade de nutrientes nas culturas alimentares (seja através do melhoramento clássico ou via biotecnologia), associando a isso o manejo nutricional adequado do sistema solo-planta, com o objetivo de melhorar a nutrição humana e, conseqüentemente, a saúde das populações (YANG et al., 2007). Por isso, os cultivares biofortificados contêm altos teores de vitaminas, como as variedades de mandioca, aminoácidos essenciais, como as variedades de milho, ou mesmo minerais, especialmente ferro e zinco, como as variedades de feijão e arroz (HARVEST PLUS, 2012).

No caso específico do milho, para muitos indivíduos no mundo essa é a principal fonte de proteínas, especialmente na América Latina, Ásia e África, continentes onde a desnutrição proteica ainda é recorrente (FAO., 2012). Os grãos desse cereal representam metade de toda a proteína consumida diariamente no mundo e, nos países em desenvolvimento, eles representam 70% do total, embora a sua proteína seja considerada de baixa qualidade, por conta dos pequenos teores de lisina e triptofano (dois aminoácidos essenciais) (NUSS & TANUMIHARDJO, 2010).

Os esforços a partir dos anos 60 para desenvolver cultivares com uma maior razão de eficiência proteica (ou seja, com teores mais altos de lisina e triptofano) culminaram no desenvolvimento de cultivares QPM (*Quality Protein Maize*) pelo Centro de Melhoramento de Milho e Trigo (México), sendo que o primeiro resultado prático foi uma variedade originada a partir de um mutante (o “opaco-2”) (SOFI et al., 2009). No Brasil, pesquisadores do Centro Nacional de Pesquisa em Milho e Sorgo (EMBRAPA) vêm melhorando as qualidades nutricionais e agrônômicas das variedades QPM que, embora possuam os mesmos valores de

energia quando comparadas aos cultivares tradicionais, possuem maiores teores de lisina e triptofano (ZHAI et al., 2007). Dos cultivares desenvolvidos no Brasil a variedade mais conhecida é a BR 473, da EMBRAPA, que contém 9,04% de proteína, 4,44% de gorduras, 0,40% de fibras, 75,3% de carboidrato, 0,59% de minerais e é mais rica em lisina (0,40%) e triptofano (0,09%) (SILVA et al., 2007).

Do ponto de vista ecológico, o cultivo de variedades biofortificadas se torna ainda mais sustentável quando envolve um ajustamento do fluxo de nutrientes a fim de garantir uma melhor ciclagem e os seus respectivos benefícios ambientais, de forma que a qualidade dos produtos vegetais é também um fator crítico para melhorar o balanço de elementos no sistema solo-planta-animal-humano (YANG et al., 2007). Por isso, para as famílias do trópico úmido terem acesso aos benefícios dessa tecnologia não basta o acesso aos genótipos desenvolvidos, pois é fundamental implantar e conduzir agroecossistemas sustentáveis e adaptados às condições de baixa aptidão das terras (MOURA et al., 2009a).

2.4. Sistema de Cultivo em Aleias

O cultivo em aleias é um sistema de produção em que as culturas de interesse econômico são cultivadas entre as linhas de espécies arbóreas, normalmente leguminosas, cujos ramos são periodicamente podados e incorporados ao solo a fim de servirem de cobertura e fonte de nutrientes (KREMER et al., 2011).

O sistema de aleias é uma prática tradicional de controle de erosão e melhoria da fertilidade do solo consagrada na África e na Ásia, que vem se difundindo na Europa Central (QUINKENSTEIN et al., 2009) e no Haiti (BAYARD et al., 2007) e é altamente recomendada para a construção de agroecossistemas sustentáveis nas condições do trópico úmido (DRINKWATER & SNAPP, 2007; MOURA et al., 2009a).

Esse sistema agroflorestal combina duas possibilidades que normalmente andam separadas, pois permite a produção agrícola e a regeneração da fertilidade do solo, no mesmo período e lugar, o que também não é possível apenas com a adubação verde tradicional (MOURA et al., 2010). Quinkenstein et al. (2009) avaliaram os benefícios da adoção do cultivo em aleias em regiões da Europa e constataram que esse sistema estabelece um microclima mais favorável à biota e melhora a eficiência do uso da água e dos nutrientes, o que garante uma

estabilidade nos rendimentos. Esse sistema sustentável e de baixo *input*, devido à pequena demanda por fertilizantes e mão de obra, potencializa o retorno econômico, aumenta a heterogeneidade estrutural da paisagem, aumenta a biodiversidade e sequestra carbono nos tecidos das plantas lenhosas perenes.

Moura et al. (2009a) afirmam que o cultivo em aleias oferece as seguintes vantagens agronômicas e ambientais: 1) mantém um equilíbrio dinâmico entre a entrada e a saída de carbono na superfície do solo, quando comparado com a “agricultura de corte e queima”; 2) mantém a cobertura do solo, melhorando os seus indicadores físicos de qualidade, como capacidade de aeração e percentagem de saturação de água; 3) mantém ou mesmo aumenta o conteúdo de carbono orgânico do solo (CO); 4) reduz a necessidade de fontes externas de nutrientes e ainda facilita o desenvolvimento de reservas minerais, devido à melhor reciclagem do cálcio (Ca), nitrogênio (N), potássio (K) e magnésio (Mg), principalmente; 5) aumenta a produtividade das culturas. Aguiar et al. (2009) concluíram que esse sistema é uma alternativa para substituir a “roça no toco” e que pode diminuir a quantidade do CO₂ emitido para a atmosfera, devido à capacidade da liteira de sustentar até 10 Mg ha⁻¹ de C na forma de compostos orgânicos.

Em trabalhos conduzidos por Aguiar et al. (2010), Aguiar et al. (2009) e Moura et al. (2008a) sob as condições edafoclimáticas da Pré-Amazônia, ficou demonstrado o benefício da deposição do material podado 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 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.

Para Moura et al. (2009b), a cobertura morta estimula a biota do solo e, como muitas dessas espécies são artrópodes escavadores, o material vegetal tem função dupla na melhoria das condições físicas, pois esses “engenheiros” aumentam a aeração e o fluxo de água, devido ao seu trabalho na reconstrução da continuidade dos poros ao longo do perfil.

O sistema de cultivo em aleias também tem um impacto positivo sobre os indicadores químicos de qualidade do solo. Nos experimentos conduzidos por Moura et al. (2010) e Aguiar

et al. (2010) na Periferia da Amazônia, a adição de resíduos de leguminosas aumentou significativamente os níveis de Ca, Mg e da saturação por bases (V%) nos primeiros 10 cm do perfil do solo, comparando-se com as testemunhas, de superfície descoberta e as melhorias nas condições químicas do solo foram mantidas por pelo menos cinco anos após a aplicação do material podado das árvores.

Outro benefício desse sistema agroflorestal é a sua eficiência no controle de plantas daninhas, seja através do sombreamento via liteira, da supressão física ou da liberação de substâncias alelopáticas (MOURA et al., 2009c). No caso do sombreamento via liteira, ganham destaque espécies de alta relação C/N, pois o uso apenas de resíduos de baixa relação C/N, como leucena e/ou guandu, tem baixo poder de controle devido à rápida decomposição do material, além de aumentar a fertilidade local, o que favorece o crescimento das espécies invasoras. 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 (SILVA et al., 2009).

Porém, o sucesso de sistemas baseados no uso da biomassa de leguminosas está condicionado a alguns fatores, destacando-se a quantidade e a qualidade do material podado, o teor de nutrientes liberados da cobertura, o tempo de liberação e a sincronia entre a liberação de elementos minerais e as necessidades das culturas (CATTANIO et al., 2008). Moura et al. (2010), trabalhando no trópico úmido maranhense, constataram que os tratamentos com acácia (*Acacia mangium* Willd) garantiram uma melhor cobertura do solo, com apenas 40% do material degradado após 90 dias da aplicação; enquanto a cobertura com *Clitoria fairchildiana* R. A. Howard apresentou uma velocidade de decomposição maior, com 50% do material degradado após os três meses.

O cultivo em aleias apresenta algumas limitações, como dificuldade de aceitação da tecnologia por parte dos agricultores (BAYARD et al., 2007), competição entre as árvores e as culturas por água, luz e nutrientes e dificuldade de estabelecimento do estande (ZHAO et al., 2012). Em um trabalho com agricultores do Haiti, Bayard et al. (2007) constataram que agricultores treinados, organizados e com conhecimentos acerca da problemática da erosão adotam mais facilmente o sistema de cultivo em aleias; da mesma forma, as mulheres e os mais jovens se mostraram mais abertos a esse novo modelo agroflorestal. A competição entre as árvores e as culturas, por sua vez, pode ser minimizada, ou até mesmo suprimida, através da

adoção de algumas medidas: plantio de espécies perenes e anuais com sistemas radiculares compatíveis entre si, aumento do espaçamento entre as linhas de leguminosas, poda periódica dos ramos e cobertura da superfície edáfica com a biomassa arbórea (ZHAO et al., 2012).

Sistemas de cultivo em aleias mantêm ou aumentam a produtividade de grãos e biomassa quando comparados com sistemas solteiros de produção, como observado por Bayard et al. (2007) no Haiti, Quinkenstein et al. (2009) na Europa, Zhao et al. (2012) na China, Kremer et al. (2011) nos Estados Unidos e Aguiar et al. (2010) e Moura et al. (2010) no trópico úmido brasileiro.

2.5. Ciclagem de Nutrientes em Sistemas de Cultivo em Aleias

Com a utilização de árvores um novo componente é introduzido no agroecossistema, com forte efeito sobre a ciclagem de elementos, que pode ser analisada a partir da relação *input-output* de insumos e biomassa, da exportação de elementos e da eficiência do uso de nutrientes (EUN) (QUINKENSTEIN et al., 2009).

A preferência pelo uso de leguminosas se deve à grande vantagem dessas espécies em melhorar a fertilidade do solo devido à introdução de nitrogênio (N) no sistema, principalmente via fixação biológica (FBN), mas também pela captura de elementos percolados ao longo do perfil, tornando-os disponíveis na superfície por conta da poda e uso da biomassa como cobertura edáfica (PARTEY et al., 2011). A produtividade das culturas aumenta com os anos por conta da melhoria gradual da fertilidade do solo, uma vez que a exportação de nutrientes se restringe àqueles removidos pelos grãos, pois os restos culturais e o material podado ficam retidos no sistema; porém, um manejo inadequado pode afetar negativamente o sistema através da remoção de grande quantidade de elementos minerais via biomassa (QUINKENSTEIN et al., 2009).

No processo de ciclagem, o material podado libera quantidade significativa de diferentes nutrientes na superfície do solo, o que está relacionado com a produtividade de biomassa e com a “qualidade de resíduo”, como encontrado por Aguiar et al. (2009) num ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico, São Luís-MA. Nesse experimento a biomassa de *Leucaena leucocephala* (Lam.) apresentou os seguintes teores de nutrientes: 40,17 g kg⁻¹ de N; 1,55 g kg⁻¹ de P; 11,18 g kg⁻¹ de K; 17,84 g kg⁻¹ de Ca e 2,92 g kg⁻¹ de Mg. Para *Clitoria*

fairchildiana R. A. Howard as concentrações foram: 22,71 g kg⁻¹ de N; 1,31 g kg⁻¹ de P; 6,75 g kg⁻¹ de K; 14,44 g kg⁻¹ de Ca e 2,91 g kg⁻¹ de Mg. Para a *Acacia mangium* Willd, os valores encontrados foram: 18,28 g kg⁻¹ de N; 0,51 g kg⁻¹ de P; 5,40 g kg⁻¹ de K; 16,38 g kg⁻¹ de Ca e 1,73 g kg⁻¹ de Mg. As quantidades de massa seca (Mg ha⁻¹) produzidas por *L. leucocephala*, *C.fairchildiana* e *A. mangium* foram 4,17, 4,73 e 13,88, respectivamente.

A decomposição e a liberação de nutrientes dos resíduos vegetais seguem uma tendência exponencial, relacionando-se diretamente com as características do material, a assimilação pelas culturas e com a reciclagem dentro do sistema (AGUIAR et al., 2010). A qualidade do material está relacionada à sua composição química e, mais especificamente, com os conteúdos de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), lignina, polifenóis e as interações entre estes (TEKLAY, 2007). Para o mesmo autor, são considerados de “alta qualidade” resíduos de com teores de nitrogênio acima de 2,5%, conteúdo de lignina inferior a 15% e de polifenóis abaixo de 4%. Resíduos com características inversas às expostas são chamados de resíduos de “baixa qualidade”.

Segundo Moore et al. (2011), os materiais vegetais contêm sempre 40-50% de C em seu peso seco, mas o conteúdo de N varia consideravelmente, alterando a relação C/N. A baixa razão C/N causa rápida mineralização, enquanto uma razão alta indica uma lenta decomposição do material. Os resíduos de “alta qualidade” liberam rapidamente os nutrientes, o que não é vantajoso, por favorecer a falta de sincronia entre a mineralização e as necessidades paulatinas da cultura (CATTANIO et al., 2008). Além disso, os nutrientes podem ser completamente imobilizados caso estejam presentes em teores muito baixos e coincidam com conteúdos de lignina e polifenóis muito altos. Assim, a “melhor qualidade” do resíduo não é um critério inquestionável na escolha das espécies arbóreas para o desenho do agroecossistema, uma vez que em muitas situações o efeito de cobertura é mais importante que o fornecimento de nutrientes, por isso existe o conceito de resíduos de “qualidade média”: aqueles que liberam os nutrientes, e mais especificamente o N, de acordo com as demandas da espécie de interesse econômico (Moura et al., 2008a).

Trabalhos conduzidos no trópico úmido maranhense por Moura et al. (2010) e Aguiar et al. (2010) mostraram que a técnica de combinar espécies de “alta qualidade” (como *Leucaena leucocephala* e *Pigeon pea*) com outras de “baixa qualidade” (como *Clitoria fairchildiana* e *Acacia mangium*) garante uma liberação de nutrientes sincronizada com as demandas da cultura,

ao mesmo tempo em que protege o solo durante o período de cultivo. Porém, além da qualidade, outros fatores como temperatura, umidade, condições físicas e químicas do solo e aplicação de fertilizantes, influenciam na atividade dos microrganismos e, conseqüentemente, na decomposição da cobertura morta (ROTTMAN et al., 2011).

Como os nutrientes exportados para fora do agroecossistema na forma de produtos precisam ser repostos, principalmente em solos de baixa e média fertilidade, os fertilizantes são componentes que precisam ser introduzidos no agroecossistema e que têm forte impacto sobre a ciclagem de nutrientes (QUINKENSTEIN et al., 2009). A adição de N, por exemplo, através dos adubos ou mesmo via precipitação, diminui a relação C/N no sistema, o que favorece a proliferação de microrganismos decompositores e de enzimas que catalisam a degradação da celulose e da lignina, acelerando a degradação da biomassa e a liberação de seus nutrientes, que serão perdidos, imobilizados e utilizados pela biota ou pelas plantas (FANG et al., 2007).

2.6. Eficiência do Uso de Nutrientes e Sustentabilidade Agrícola

A eficiência de uso de nutrientes (EUN) é a relação entre produtividade e a quantidade disponível do elemento mineral, seja ele fornecido pelo próprio solo ou pela fertilização (HIREL et al., 2011). Para MI et al. (2007), a EUN é determinada por dois fatores: 1) a eficiência de absorção, que é a capacidade da planta em capturar o elemento no solo (quantidade absorvida do nutriente/ quantidade aplicada); 2) e a eficiência fisiológica ou a capacidade da cultura em utilizar o elemento capturado para produzir (produtividade/ quantidade absorvida do nutriente).

A EUN pode ser analisada a partir de três diferentes perspectivas inter-relacionadas, a saber: 1) a eficiência agrônômica, que é definida como o acúmulo dos nutrientes absorvidos nas partes aéreas da planta; 2) a eficiência econômica, caracterizada pela relação entre os investimentos em fertilizantes e o retorno econômico por conta dos incrementos de produtividade e, por isso, varia em função do preço dos produtos agropecuários, do preço do petróleo e insumos, das janelas de mercado, etc.; 3) a eficiência ambiental, relacionada ao nível de dano ecológico causado ao solo, ao clima, aos ciclos biogeoquímicos e às águas pela perda dos nutrientes aplicados (ROBERTS et al., 2008).

Ao lado dos conhecimentos acerca da EUN, na atualidade, existe um interesse crescente em torno da sustentabilidade na agricultura, por parte da comunidade científica, dos

consumidores e do público geral. Nesse contexto, não apenas os agrotóxicos, mas também o excessivo uso de fertilizantes industriais é visto como prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente, ao passo que os agricultores se sentem pressionados por conta dos crescentes preços desses insumos (KANT et al., 2011). Assim, a melhoria da EUN é uma estratégia que reduzirá a necessidade de adubos, o que minimizará os problemas ambientais, aumentará a margem de lucro dos produtores e permitirá que a produção de alimentos se torne mais sustentável. Afinal, se por um lado os incrementos em produtividade observados nas últimas décadas são devidos principalmente ao aporte de grande quantidade de nutrientes nos agroecossistemas, por outro lado vários problemas ecológicos se devem à prática da adubação, tais como a eutrofização de mananciais hídricos (via lixiviação de nitrato e despejo de uma série de nutrientes pelas enxurradas), as emissões de óxido nitroso (um dos mais importantes gases de efeito estufa) e alterações nos ciclos biogeoquímicos (MI et al., 2007; DRINKWATER e SNAPP, 2007).

A agricultura sozinha é responsável pela depleção de, por exemplo, 19 Mt por ano de fósforo (P) através da mineração de fosfatos de rocha para a produção de fertilizantes, com uma perda de 4/5 de todo o P_2O_5 disponibilizado para os agricultores, por conta da ineficiência do processo de produção de alimentos, da longa cadeia de consumo e da baixa eficiência de uso do nutriente pelas plantas (CORDELL et al., 2009). E a tendência é a demanda por fosfato e por todos os nutrientes essenciais aumentar consideravelmente, pois nas próximas décadas a população mundial crescerá em mais 3 bilhões de pessoas, requerendo muito mais alimentos (UNITED NATIONS, 2009). Assim, melhorar a eficiência do uso de nutrientes é fundamental para reduzir a demanda atual e, conseqüentemente, adiar a exaustão total das últimas reservas fósseis existentes, dando tempo à humanidade para o desenvolvimento de outras tecnologias que envolvam a reciclagem completa desses elementos minerais através da integração entre indústria e agricultura, cidade e campo e entre processamento e consumo (SCHRODER et al., 2011).

Porém, as medidas para otimizar a EUN passam não apenas pela escolha de genótipos superiores nesse quesito, mas também por uma série de práticas de manejo como a aplicação de adubos na medida, tempo e lugar corretos (ROBERTS et al., 2008). Além disso, quaisquer tecnologias que melhorem as condições físicas, químicas e biológicas do solo, contribuirão significativamente para uma maior eficiência no uso de nutrientes, por isso, o sistema de cultivo em aléias e o sistema de plantio direto têm um grande papel na redução dos gastos com fertilizantes e na sustentabilidade agrícola (QUINKENSTEIN et al., 2009).

As mudanças no uso da terra são capazes de afetar a fertilidade do solo e a EUN, através da alteração de uma série de propriedades físicas (densidade, porosidade e enraizabilidade), químicas (bases trocáveis, pH e saturação por bases) e biológicas (biota do solo, microbiota do solo, matéria orgânica) (DIANWEI et al., 2009; LIDING et al., 2011). Moura et al. (2010), por exemplo, após avaliarem a eficiência de uso de N e K na cultura do milho em um sistema de plantio direto na palha de leguminosas, perceberam que coberturas de diferentes espécies melhoram o solo, minimizam a lixiviação do nitrato, impedem a remoção das bases trocáveis e otimizam a EUN em intensidades diferentes. Mas são poucos os trabalhos como esse, pois os estudos conduzidos com o objetivo de pesquisar a influência da mudança de uso das terras nas propriedades e na dinâmica dos nutrientes no solo dificilmente levam em consideração a EUN (ZHANG et al., 2008).

A expansão do sistema de plantio direto (SPD), por exemplo, provocou uma alteração radical nas condições de grande parte dos solos do país, pois a diferença fundamental que se verifica em uma área cultivada nesse sistema e outra no sistema convencional (SC) é, respectivamente, a preservação e a destruição frequente das relações construídas com o tempo de cultivo, por conta da diferença no grau de intensidade de revolvimento da superfície edáfica, no manejo da palhada e na diversidade biológica, o que acaba por determinar situações muito diferentes para o crescimento e desenvolvimento das culturas (NICOLODI et al., 2008). Com o aumento do tempo de adoção desse novo sistema, os benefícios (redução da erosão, aumento do teor de carbono orgânico, maior infiltração, maior disponibilidade de oxigênio e redução da evaporação) tendem a se tornarem mais pronunciados.

Para o trópico úmido maranhense, dois fatores são destacados por Aguiar et al. (2010) na redução da eficiência do uso de nutrientes: 1) a coesão, causada por ciclos repetitivos de umedecimento-secagem-umedecimento em solos com baixos teores de carbono orgânico e ferro livre, que reduz consideravelmente a enraizabilidade e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes; 2) a alta remoção de bases do perfil, uma vez que esses solos têm uma baixa capacidade de retenção de cátions e estão situados em uma região de alta pluviosidade.

Em ambos os casos, a adição de matéria verde podada das árvores das aleias (ou plantio direto na palha de leguminosas) tem um efeito benéfico no solo, pois a aplicação contínua de biomassa promove a formação de uma “estrutura efêmera” que aumenta a capacidade de retenção de água e melhora a sua capacidade de reciclar e reter nutrientes na camada superficial

(MOURA et al., 2009a). A aplicação de biomassa na superfície edáfica retarda a perda de umidade (o que diminui consideravelmente a coesão por interromper os ciclos de umedecimento-secagem-umedecimento) e evita a recompactação, o que melhora a enraizabilidade, a aeração, a infiltração e, conseqüentemente, a EUN (MOURA et al., 2008b).

Outro problema a ser superado é que a maior parte dos estudos com EUN destacam apenas o nitrogênio (N) por conta do seu alto nível de perda devido a vários fenômenos como lixiviação, erosão, desnitrificação, volatilização e imobilização na matéria orgânica do solo (HIREL et al., 2011; KANT et al., 2011). Porém, o fósforo (P) e o potássio (K) têm também importância fundamental dentro desse contexto. Afinal, o P é o elemento menos móvel no solo e altamente sujeito à fixação, sendo exigido em grande quantidade nas adubações e tendo reservas minerais finitas e já bastante exploradas; e o K, por sua vez, conta com poucos trabalhos a esse respeito, embora já se saiba que a sua eficiência de uso normalmente é mais alta, pois ele não está sujeito à fixação como o P e nem a perdas em formas gasosas como o N (ROBERTS et al., 2008).

2.7. Eficiência do Uso de Nutrientes na Cultura do Milho

O milho, devido à sua grande importância para a humanidade, é muito estudado e, por conta disso, são conhecidos inúmeros genótipos com diferenças importantes entre si quanto à eficiência de uso de nutrientes, ou seja, quanto à assimilação de nutrientes e à produtividade por unidade de elemento mineral aplicado, o que é de fundamental importância para os programas de melhoramento genético (ANBESSA et al., 2009; NAMAI et al., 2009).

O milho apresenta dois períodos de intensa absorção de nutrientes: o primeiro ocorre durante a fase de crescimento vegetativo (entre os estádios V12 e V18), quando o número potencial de grãos está sendo definido; o segundo durante a fase reprodutiva, na formação da espiga, quando o potencial produtivo é atingido (COELHO et al., 2011). Em um trabalho conduzido por Moura et al. (2010) no trópico úmido maranhense, as quantidades de macronutrientes encontradas nas partes aéreas do milho cultivado nas parcelas com aplicação superficial das biomassas combinadas de *L. leucocephala* e *A. magnium* foram: 60,8 kg. ha⁻¹ de N; 25,95 kg. ha⁻¹ de P; 48,8 kg. ha⁻¹ de K; 20,9 kg. ha⁻¹ de Ca; 3,7 kg. ha⁻¹ de Mg.

O nitrogênio (N) e o fósforo (P), como a maioria dos elementos essenciais, têm os períodos de máxima absorção durante os estádios V12 e V18 (da fase vegetativa) e na fase reprodutiva; porém, a absorção de potássio (K) apresenta um padrão diferente, com a sua máxima absorção no estágio vegetativo, entre 30 e 40 dias de desenvolvimento, o que sugere o uso de maior quantidade de K_2O na fase inicial, como um elemento de "arranque" (COELHO et al., 2011).

Um genótipo de milho é considerado eficiente no uso de N quando apresenta as seguintes características: 1) um sistema radicular largo para interceptação e acumulação de N; 2) uma grande eficiência fisiológica para a construção de raízes, folhas e espigas durante o ciclo da cultura; 3) lenta senescência foliar para manutenção prolongada da assimilação do nutriente pós-antese. Para essa cultura, existe uma relação positiva, em muitos casos, entre a acumulação de N e a EUN, o que sugere que o N total acumulado pode ser tão ou mais importante que a eficiência fisiológica para a planta; a eficiência fisiológica, por sua vez, torna-se mais importante que a capacidade de estocagem quando em condições de deficiência do nutriente (MI et al., 2007).

A remobilização de N das folhas mais velhas e das raízes para as folhas mais jovens e partes reprodutivas é outro mecanismo de grande importância para a EUN na cultura do milho, sendo uma resposta fisiológica à deficiência do nutriente no solo (KANT et al., 2011). As folhas funcionam como dreno de N durante o estágio vegetativo e mais tarde, no estágio de reprodutivo, o elemento acumulado é remobilizado para o desenvolvimento dos grãos (KICHEY et al., 2007). Essa remobilização de N dos órgãos vegetativos para as espigas é resultante da degradação da clorofila e ocorre durante a antese e o enchimento de grãos, o que explica a clorose típica das folhas mais velhas da cultura de milho no período de colheita (MI et al., 2007).

Os modernos cultivares de milho respondem diferentemente à aplicação de potássio (K), devido às suas peculiaridades na absorção, translocação, acumulação e uso do nutriente no crescimento (MINJIAN et al., 2007). Os genótipos eficientes no uso de K são caracterizados pela presença de mecanismos complexos que garantem eficiência de absorção e eficiência fisiológica superiores, tais como: 1) a capacidade de exsudar compostos orgânicos que solubilizam e liberam para a solução do solo o K^+ presente em formas não disponíveis; 2) maior área foliar; 3) maior facilidade de substituir Na^+ por K^+ ; 4) mais contato entre a raiz e o solo, ou seja, maior crescimento radicular; 5) e mecanismos mais eficientes em manter o K^+ no citosol em sua faixa

de concentração ideal, devido a um maior gradiente de difusão através da raiz e uma melhor translocação desse cátion entre diferentes órgãos do vegetal (RENGEL & DAMON, 2008).

3. Referências Bibliográficas

AGUIAR, A.C.F. et al. Environmental and agricultural benefits of a management system designed for sandy loam soils of the humid tropics. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1473-1480, 2009.

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

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.

ANBESSA, Y. et al. Genetic variability in nitrogen use efficiency of spring barley. **Crop Science**, v.49, p.1259-1269, 2009.

BAYARD, B.; JOLLY, C.M.; SHANNON, D.A. The economics adoption and management of alley cropping in Haiti. **Journal of Environmental Management**, v.84, p.62-70, 2007.

BERLOT, I. et al. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.133-142, 2007.

CATTANIO, J.H.; KUEHNE, R.; VLEK, P.L.G. Organic material decomposition and nutrient dynamics in a mulch system enriched with leguminous trees in the Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1073-1086, 2008.

COELHO, M.A.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; ALVES, V.M.C.; HERNANI, L.C. (2011). Cultivo do milho: fertilidade de solos. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_7ed/feraduba.htm. Acesso em: 20 out 2012.

CORDELL, D.; DRANGERT, J.O.; WHITE, S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environmental Change**, v.19, p.292-305, 2009.

DIANWEI, L.; ZONGMING, W.; KAISHAN, S. Land use/cover changes and environmental consequences in Songnen plain, Northeast China. **Chinese Geographical Sciences**, v.19, n.4, p. 299-305, 2009.

DRINKWATER, L.E.; SNAPP, S.S. Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm. **Advances in Agronomy**, v.92, p.163-186, 2007.

FAN, M.; SHEN, J.; YUA, L.; JIANG, R.; CHEN, X.; DAVIES, W.J.; ZHANG, F. Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China. **Journal of Experimental Botany**, v.63, n.1, p.13-24, 2012.

FANG, H. et al. Cumulative effects of nitrogen additions on litter decomposition in three tropical forests in southern China. **Plant and Soil**, v.297, p.233-242, 2007.

FAO (2012). Committee on World Food Security. Disponível em: <http://www.fao.org/cfs/en/>. Acesso em: 12 out 2012.

FAO (2008). The state of food insecurity in the world 2008: high food prices and food security-threats and opportunities. Disponível em: www.fao.org/docrep/001/i029/i0291e00.htm. Acesso em: 23 jun 2012.

HARVEST PLUS (2012). Growing Goodness: a new plant breeding strategy promises to combat malnutrition. Disponível em: <http://www.harvestplus.org/content/nutrients>. Acesso em: 23 ago 2012.

HIREL, B.; TÉTU, T.; LEA, P.J.; DUBOIS, F. Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture. **Sustainability**, v.3, p. 1452-1485, 2011.

IBGE. Insegurança alimentar diminui, mas ainda atinge 30,2% dos domicílios brasileiros. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1763&id_pagina=1. Acesso em: 23 jun 2012.

KANT, S.; BI, Y.; ROTHSTEIN, S.J. Understanding plant response to nitrogen limitation for the improvement of crop nitrogen use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.4, p. 1499-1509, 2011.

KICHEY, T. et al. In winter wheat (*Triticum aestivum* L.) post-anthesis nitrogen uptake and remobilization to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. **Field Crops Research**, v.102, p.22-32, 2007.

KREMER, R.J.; KUSSMAN, R.D. Soil quality in a pecan-kura clover alley cropping system in the Midwestern USA. **Agroforestry Systems**, v.83, p.213-223, 2011.

LAL, R. Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. **Food Security**, 1: 45-57, 2009.

LIDING, C. et al. Effect of agricultural land use changes on soil nutrient use efficiency in an agricultural area, Beijing, China. **Chinese Geographical Sciences**, v.21, n.4, p. 392-402, 2011.

MEENAKSHI, J.V. et al. How cost-effective is biofortification in combating micronutrient malnutrition? An ex ante assessment. **World Development**, v.38, n.1, p. 64-75, 2010.

MI, G.; CHEN, F.; ZHANG, F. Physiological and genetic mechanisms for nitrogen-use efficiency in maize. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v.10, n.2, p. 57-63, 2007.

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

MINJIAN, C. et al. Difference in tolerance to potassium deficiency between maize inbred lines. **Plant Production Science**, v.10, n.1, p.42-46, 2007.

MOORE, T.R. et al. Nature and nurture in the dynamics of C, N and P during litter decomposition in Canadian forests. **Plant and Soil**, v.339, p. 163-175, 2011.

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

MOURA, E.G.; ALBURQUERQUE, 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, n.2, p.204-208, 2008b.

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

MOURA, E.G. et al. Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil. **Soil Use and Management**, v.25, p.368-375, 2009b.

MOURA, E.G. et al. Influência de ervas daninhas e atributos do solo em um agroecossistema da pré-Amazônia sob efeito da cobertura morta de diferentes combinações de leguminosas em aleias. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.1, p.7-14, 2009c.

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.

MOYO, D. The future of food: elements of integrated food security strategy for South Africa and food security status in Africa. **American Society of International Law**, p.103-112, 2007.

NAMAI, S.; TORIYAMA, K.; FUKUTA, Y. Genetic variations in dry matter production and physiological nitrogen use efficiency in Rice (*Oryza sativa* L.) varieties. **Breeding Science**, v.59, p.269-276, 2009.

NICOLODI, M. et al. Insuficiência do conceito mineralista para expressar a fertilidade do solo percebida pelas plantas cultivadas no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2735–2744, 2008.

NUSS, E.T.; TANUMIHARDIO, S.A. Maize: a paramount staple crop in the context of global nutrition. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Security**, v.9, p.417-436, 2010.

UNITED NATIONS (2009). Commission on population and development to focus on population growth. Disponível em: <http://www.un.org/News/Press/docs/2009/pop970.doc.htm>. Acesso em: 25 out 2012.

PARTEY, S.T. et al. Decomposition and nutrient release patterns of the leaf biomass of the wild sunflower (*Tithonia diversifolia*): a comparative study with four leguminous agroforestry species. **Agroforestry Systems**, v.81, p.123-134, 2011.

PIMENTEL, D. et al. Ecology of increasing diseases: population growth and environmental degradation. **Human Ecology**, v.35, p.653-668, 2007.

QUINKENSTEIN, A. et al. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. **Environmental Science & Policy**, v.12, p.1112-1121, 2009.

RENGEL, Z.; DAMON, P.M. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. **Physiol Plant**, v.133, n.4, p.624-636, 2008.

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

ROTTMANN, N. et al. Litter decomposition in fertilizer treatments of vegetable crops under irrigated subtropical conditions. **Biology and Fertility of Soils**, v.47, p.71-80, 2011.

SCHRODER, J.J. et al. Improved phosphorus use efficiency in agriculture: a key requirement for its sustainable use. **Chemosphere**, v.84, p.822-831, 2011.

SILVA, P.S.L. et al. Weed control via intercropping with gliricidia. II. Corn crop. **Planta Daninha**, v.27, n.1, p.105-112, 2009.

SILVA, C.A.; MURADAS, R.F.; FERREIRA, E.G.; BRAGA, D.K.; OLIVEIRA, F.M. Efeito da adição dietética de milho de alta qualidade proteica em camundongos. **Revista de Nutrição**, v.20, n.3, p.249-255, 2007.

SOFI, P.A. et al. Review article: Quality protein maize (QPM) – Genetic manipulation for the nutritional fortification of maize. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v.1, n.6, p.244-253, 2009.

TEKLAY, T. Decomposition and nutrient release from pruning residues of two indigenous agroforestry species during the wet and dry seasons. **Nutrient Cycling In Agroecosystems**, v.77, p.115-126, 2007.

TELLES, T.S.; GUIMARÃES, M.F.; DECHEN, S.C.F. The costs of soil erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.287-298, 2011.

YANG, X. E.; CHEN, W. R.; FENG, Y. Improving human micronutrient nutrition through biofortification in the soil–plant system: China as a case study. **Environmental Geochemistry and Health**, 29: 413-428, 2007.

ZHAI, S.W.; ZHANG, M.L. Comparison of true metabolisable energy and true amino acid availability between normal maize and quality protein maize (Shandan 17). **Italian Journal of Animal Science**, v.6, p.289-294, 2007.

ZHANG, Y.; LIU, X.J.; FANGMEIER, A. Nitrogen inputs and isotopes in precipitation in the North China Plain **Atmospheric Environment**, v.42, n.7, p. 1436-1448, 2008.

ZHAO, Y.; ZHANG, B.; HILL, R. Water use assessment in alley cropping systems within subtropical China. **Agroforestry Systems**, v.84, p.243-259, 2012.

**PLANTIO DIRETO NA PALHA DE LEGUMINOSAS COMO ESTRATÉGIA PARA
MELHORAR A EFICIÊNCIA DE USO DE NUTRIENTES EM MILHO QPM**

CAPÍTULO II

Resumo

A baixa eficiência do uso de nutrientes e a desnutrição da população rural são dois grandes desafios para o desenvolvimento socioeconômico do trópico úmido. Os objetivos desse estudo foram: 1) estudar o efeito do plantio direto na palha de leguminosas sobre a eficiência do uso de N e K; 2) avaliar a adequabilidade de uma variedade QPM nesse sistema. A variedade de milho BR 473 foi cultivada em um sistema de aleias e os tratamentos consistiram de diferentes combinações de biomassas de leguminosas com e sem adubação mineral, mais duas testemunhas em solo descoberto: 1) S+L+NK - sombreiro + leucena + 40-40 kg.ha⁻¹ de N-K; 2) A+L+NK - acácia + leucena + 40-40 kg ha⁻¹ de N-K; 3) S+G+NK - sombreiro + gliricídia + 40-40 kg ha⁻¹ de NK; 4) A+G+NK - acácia + gliricídia + 40-40 kg ha⁻¹ de N-K; 5) S+L - sombreiro + leucena; 6) A+L - acácia + leucena; 7) S+G - sombreiro + gliricídia; 8) A+G - acácia + gliricídia; 9) NK - 40-40 kg ha⁻¹ de N-K, em solo descoberto; 10) Testemunha - cultivo em solo descoberto e sem adubação mineral. Os resultados mostraram que plantio direto na palha melhora a eficiência de uso de N e K e disponibiliza nutrientes para a cultura ao longo do ciclo de cultivo, porém, a adubação mineral complementar é fundamental para que o cultivar alcance maior produtividade. O tratamento S+L+NK foi superior aos demais ao se considerar todos os parâmetros analisados e a variedade QPM mostrou-se adequada para o cultivo em sistemas de aleias no trópico úmido maranhense.

Palavras-chave: Aleias. Nitrogênio. Potássio. Manejo do solo.

Abstract

The low nutrient use efficiency and undernourishment of rural population are the greatest challenges for socioeconomic development in humid tropic. The aims of this study were: 1) to evaluate the effect of no-till in combination with residues of leguminous on the N and K use efficiency; 2) to study the agronomic performance of QPM maize BR 473 in that system. The maize variety BR 473 was grown in a alley cropping system and the treatments consisted of different legume biomass combinations with and without mineral fertilizer, and two controls in discovered soil: 1) S+L+NK - clitoria + leucaena + 40-40 kg ha⁻¹ of N-K; 2) A+L+NK - acacia + leucaena + 40-40 kg ha⁻¹ of N-K; 3) S+G+NK - clitoria + gliricidia + 40-40 kg ha⁻¹ of N-K; 4) A+G+NK - acacia + gliricidia + 40-40 kg ha⁻¹ of N-K; 5) S+L - clitoria + leucaena; 6) A+L - acacia + leucaena; 7) S+G - clitoria + gliricidia; 8) A+G - acacia + gliricidia; 9) NK - 40-40 kg ha⁻¹ of N-K in discovered soil; 10) Control – without biomass and without mineral fertilization. The results showed that no-till farming with residues of leguminous improves the N and K use efficiency and provides nutrients throughout the crop cycle. However, mineral fertilizer is essential for corn to reach maximum yield. S+L+NK was the best treatment and the QPM variety can improves the economic and nutritional conditions of people.

Keywords: Alley cropping. Nitrogen. Potassium. Soil management.

1. Introdução

A região Centro-Norte maranhense está situada entre o Semiárido e a Amazônia, com um vasto domínio sobre diferentes agroambientes e, conseqüentemente, com condições edafoclimáticas diversas do restante do país. Por essa razão, as práticas empregadas em outras regiões produtoras não se adequam à realidade local e os agricultores do trópico úmido convivem com o desafio de manejar, de maneira sustentável, solos de baixa fertilidade natural para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias apropriadas.

Esses solos geralmente apresentam estrutura frágil, têm baixa disponibilidade de nutrientes, são altamente intemperizados e, em mais de 60% do Estado, eles derivam de rochas sedimentares clásticas, sendo constituídos predominantemente de areia fina e silte (MOURA et al., 2010). Nessa região, a baixa eficiência do uso de nutrientes, especialmente daqueles exigidos em grande quantidade pelas culturas, como nitrogênio (N) e potássio (K), dificulta sobremaneira a viabilidade econômica da agricultura e é causada por dois fatores principais segundo Aguiar et al. (2010): 1) a coesão, devido aos ciclos repetitivos de umedecimento-secagem em áreas com baixos teores de carbono orgânico e ferro livre, que reduz consideravelmente a “enraizabilidade” e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes; 2) a alta remoção de bases do perfil, especialmente K, uma vez que esses solos têm uma baixa capacidade de retenção de cátions e estão situados em uma região que possui uma longa estação de alta pluviosidade.

Por falta de alternativas viáveis para superar a baixa disponibilidade e a baixa eficiência de uso de nutrientes, os agricultores locais praticam a chamada “agricultura itinerante”, caracterizada pela derrubada e queima da vegetação nativa. Essa prática resolve temporariamente os problemas com as deficiências de aeração e nutrientes no solo por meio do plantio sem preparo prévio do solo e da deposição de cinza após as queimadas, porém, empobrece a biodiversidade e não garante dignidade ou prosperidade à população camponesa (MOURA et al., 2009a). Além disso, a queima de vegetação primária, especialmente nas regiões tropicais, é a maior fonte de emissão de carbono e a segunda maior fonte de emissão de gases-traço para a atmosfera, com forte impacto negativo sobre o clima (AKAGI et al., 2010).

Ao lado dessas condições edafoclimáticas, o Maranhão abriga um grande número de famílias abaixo da linha da pobreza e o quadro mais grave de insegurança alimentar no país, com 36,5% das crianças subnutridas (IBGE, 2012). Essa realidade induz as comunidades a um uso

predatório dos recursos e, como os ecossistemas locais são frágeis, se estabelece um ciclo vicioso onde as carências aumentam a pressão sobre o meio ambiente e a destruição gradativa do meio ambiente aumenta a pobreza (MOURA et al., 2009b).

Dentre as possíveis soluções para a minimização desses problemas se destaca o sistema de cultivo em aleias, altamente recomendado para a construção de agroecossistemas sustentáveis no trópico úmido (DRINKWATER & SNAPP, 2007). A adição da biomassa podada das árvores das aleias ou o plantio direto na palha de leguminosas, além do aporte de quantidades significativas de nutrientes, especialmente N e K, tem um efeito benéfico sobre os indicadores de qualidade do solo, pois a aplicação contínua de matéria orgânica promove a formação de uma “estrutura efêmera” que aumenta a capacidade de retenção de água e melhora a capacidade de reciclagem e retenção de elementos na camada superficial (MOURA et al., 2009a). Essa prática também retarda a perda de umidade, o que diminui consideravelmente a coesão por interromper os ciclos de umedecimento-secagem, e evita a recompactação, o que melhora a “enraizabilidade”, a aeração, a infiltração e, conseqüentemente, a eficiência do uso de nutrientes (MOURA et al., 2008).

Aliar a construção desses agroecossistemas de baixo *input* com o cultivo de variedades biofortificadas pode tornar a abordagem ainda mais sustentável. No caso do milho, para muitos indivíduos nas regiões mais pobres do mundo, onde a desnutrição proteica é recorrente, essa é a principal fonte de alimento (FAO, 2012). Por isso, os seus grãos representam 70% de toda a proteína consumida nos países em desenvolvimento, apesar da baixa qualidade, por conta dos pequenos teores de aminoácidos essenciais (NUSS & TANUMIHARDJO, 2010). Assim, o cultivo de variedades QPM (Quality Protein Maize) pode melhorar o estado nutricional das populações rurais, pois embora essas variedades possuam os mesmos valores de energia quando comparadas aos cultivares tradicionais, elas têm maiores teores de lisina e triptofano (ZHAI et al., 2007).

Assim, o presente trabalho teve por objetivos: 1) avaliar o efeito do sistema de plantio direto na palha de leguminosas sobre a disponibilidade e a eficiência do uso de N e K; 2) estudar o desempenho e a adequabilidade de uma variedade QPM dentro do sistema de cultivo em aleias.

2. Material e Métodos

2.1. Local do Experimento

O experimento foi conduzido em um sistema de cultivo em aleias localizado em Chapadinha-MA (3°44'30" S e 43°21'37" W), no assentamento Vila União. O clima local é quente e semiequatorial úmido, com temperatura média de 26,7°C, e a pluviosidade possui grande variabilidade espacial, com uma média de 2.100 mm ano⁻¹ irregularmente distribuídos em duas estações bem definidas: uma estação chuvosa (de janeiro a junho) e uma estação caracterizada por um grande déficit hídrico (de julho a dezembro) (Figura 1 e Figura 2).

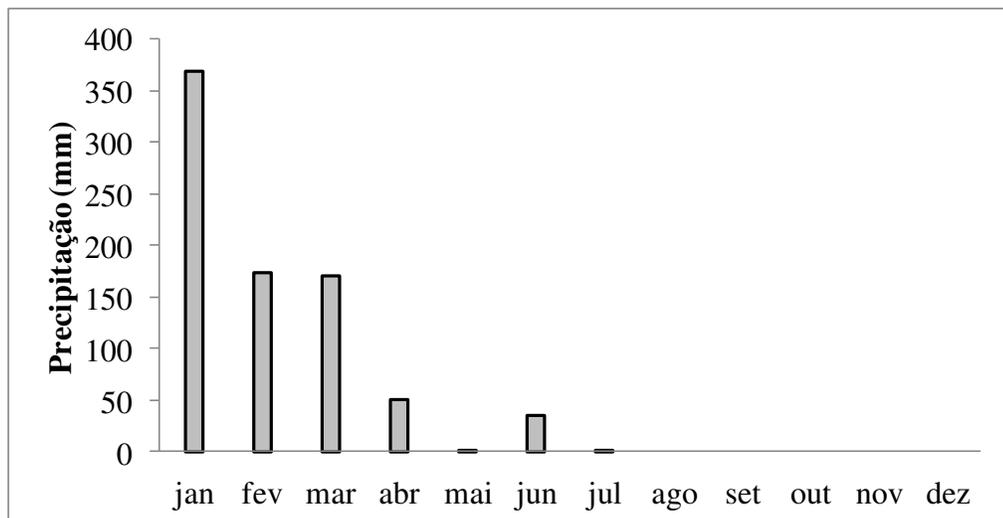


Figura 1. Precipitação mensal para Chapadinha-MA em 2012. (ANA, 2012)

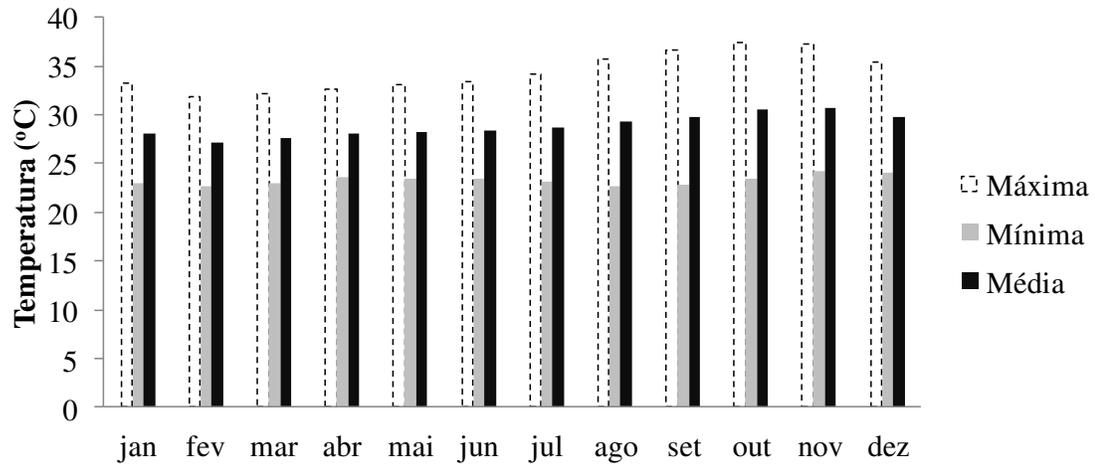


Figura 2. Temperaturas mensais para Chapadina-MA em 2012. (INMET, 2012)

O solo da área foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrocoeso, e apresenta as seguintes características granulométricas: 200 g kg⁻¹ de areia grossa, 480 g kg⁻¹ de areia fina, 70 g kg⁻¹ de silte e 260 g kg⁻¹ de argila.

2.2. Implantação do Sistema de Aleias e Histórico de Cultivos na Área

As aleias foram implantadas em janeiro de 2009 com a semeadura das leguminosas arbóreas em fileiras duplas no espaçamento de 4,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, em parcelas de 10 x 4 m. Na área experimental foram aplicadas duas toneladas em superfície de calcário (PRNT de 45-50%) e 300 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo (Tabela 1). Foram utilizadas duas espécies de baixa qualidade de resíduo – acácia (*Acacia mangium* Willd) e sombreiro (*Clitoria fairchildiana* R.Howard), e duas de alta qualidade de resíduo – leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) e gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp). As parcelas foram desenhadas para facilitar a combinação duas a duas das plantas de qualidades diferentes (Figura 3).

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, antes da calagem e do plantio das leguminosas. Chapadinha-MA, 2009.

Profundidade (cm)	Ca	Mg	K	H+Al	SB	CTC	P	MO	pH	V
	mmol _c dm ⁻³						mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	%
0-5	25	5	1	51	33	84	9	44	5	40
5-10	19	4	1	65	25	90	11	37	5	28
10-15	11	2	0	84	14	97	6	30	4	14
15-20	6	2	0	89	8	97	4	26	4	9
20-40	4	1	0,2	85	5,6	90	4	21	4,1	6

MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por bases; H+Al = acidez potencial.

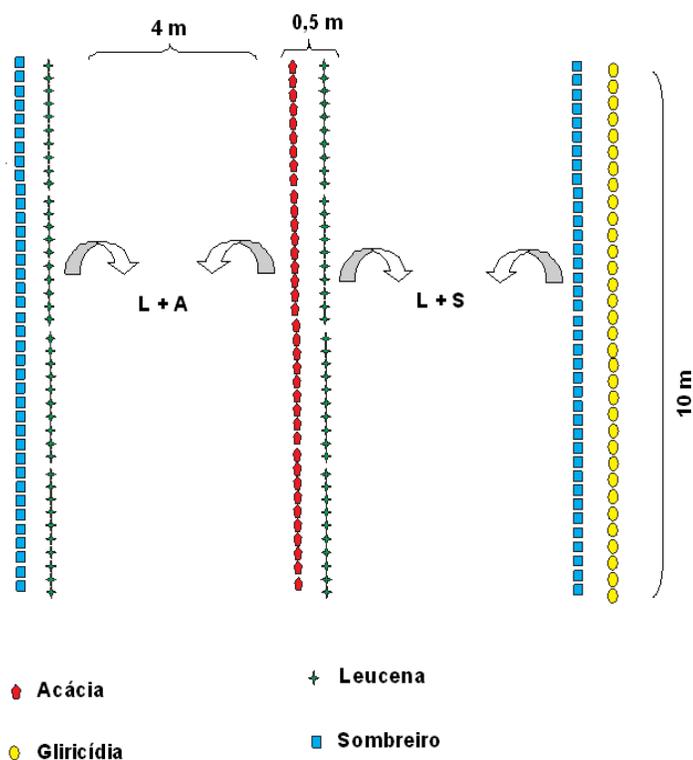


Figura 3. Representação esquemática das parcelas experimentais.

Em 2010 e 2011 foram conduzidos os primeiros cultivos na área, com a semeadura do milho AG 7088 no início de cada ano e o plantio do feijão biofortificado BRS Xique-Xique na safrinha. As leguminosas foram podadas desde o cultivo inicial e, nesses dois primeiros anos, a adubação mineral consistiu na aplicação de 40-80-40 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O respectivamente, nas formas de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio.

2.3. Montagem e Condução do Experimento em Campo

A variedade QPM (*Quality Protein Maize*) BR 473 foi semeada em 27 de janeiro de 2012, nas parcelas de 10 x 4 m, após aplicação do herbicida Glifosate para eliminação das plantas daninhas. As leguminosas arbóreas foram podadas a 50 cm de altura logo após o plantio do milho, e as combinações de biomassa foram ajustadas de acordo com os teores do elemento e as curvas de liberação dos nutrientes encontradas por Aguiar et al. (2010) e Moura et al. (2010), para garantir o aporte da mesma quantidade de N orgânico nos diferentes tratamentos (540 kg ha⁻¹) no momento da distribuição superficial: 1) 7,00 Mg ha⁻¹ de matéria seca de sombreiro + 8,05 Mg ha⁻¹ de biomassa seca de leucena; 2) 9,05 Mg ha⁻¹ de acácia + 8,05 Mg ha⁻¹ de leucena; 3) 10 Mg ha⁻¹ de sombreiro + 9,25 Mg ha⁻¹ de gliricidia; 4) 9,05 Mg ha⁻¹ de acácia + 9,25 Mg ha⁻¹ de gliricidia.

Com base na análise de solo anterior ao plantio (Tabela 2), toda a área experimental foi adubada com 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 6,25 kg ha⁻¹ de Zn na forma de sulfato de zinco. As parcelas que receberam adubação mineral nitrogenada e potássica foram fertilizadas com 40-40 kg ha⁻¹ de N-K₂O nas formas de ureia e cloreto de potássio (KCl).

Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental, antes do plantio da cultivar QPM. Chapadinha-MA, 2012.

Profundidade (cm)	Ca	Mg	K	H+Al	SB	CTC	P	MO	pH	V
	mmol _c dm ⁻³						mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	%
0-5	49,0	8,0	3,0	41,0	59,0	100,7	60,9	59,0	5,9	65,6
5-10	40,1	5,5	1,9	48,0	48,0	96,1	29,7	52,9	5,7	54,3
10-15	30,9	4,9	1,3	61,3	37,3	99,0	19,8	46,2	5,4	41,1
15-20	20,8	3,8	1,1	76,8	25,9	102,6	11,5	41,4	5,1	28,3
20-40	16,3	2,9	0,8	83,5	20,1	103,5	8,8	38,0	4,9	21,8

MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por bases; H+Al = acidez potencial.

O experimento foi delineado em blocos ao acaso, com quatro repetições e os seguintes tratamentos:

- 1) S+L+NK - sombreiro + leucena + ureia + cloreto de potássio;
- 2) A+L+NK - acácia + leucena + ureia + cloreto de potássio;
- 3) S+G+NK - sombreiro + gliricídia + ureia + cloreto de potássio;
- 4) A+G+NK - acácia + gliricídia + ureia + cloreto de potássio;
- 5) S+L - sombreiro + leucena;
- 6) A+L - acácia + leucena;
- 7) S+G - sombreiro + gliricídia;
- 8) A+G - acácia + gliricídia;
- 9) NK – ureia + cloreto de potássio;
- 10) Testemunha – cultivada em solo descoberto e sem adubação mineral.

2.4. Análises na Cultura do Milho

A produtividade do milho foi calculada a partir da massa total de grãos em cada parcela útil de 8 x 2 m e a massa de 100 grãos foi determinada com a pesagem em balança de precisão

de 0,0001 g. Três plantas de cada parcela útil foram selecionadas aleatoriamente e separadas em folhas, colmos e componentes reprodutivos no pendoamento e na maturidade fisiológica. Os materiais amostrados foram levados à estufa de circulação fechada onde permaneceram por três dias a 60°C e, em seguida, a matéria seca foi avaliada a partir da pesagem em balança analítica. Para determinação dos teores de nutrientes as amostras foram moídas para passar por uma tela de 1 mm. As concentrações de N foram determinadas após a digestão com H₂SO₄-H₂O₂, segundo a metodologia de Tedesco et al. (1995) e, a partir da digestão nitro-perclórica (HNO₃-HClO₄) foram determinados os teores de K (por espectrometria de emissão atômica em plasma de argônio acoplado indutivamente).

Em seguida, foram determinados os seguintes parâmetros e índices de eficiência para cada parcela:

a) Índice de Colheita (IC, adimensional):

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

onde: *PG* (kg ha⁻¹) é a produção de grãos; *PBT* (kg ha⁻¹) é a produção biológica total (GHOLIZADEH et al., 2011);

b) Remobilização do Nitrogênio (RN, em kg ha⁻¹):

$$RN = CNo - CNf$$

onde: *CNo* (kg ha⁻¹) é o conteúdo total de N nas folhas e colmos durante a maturidade; *CNf* (kg ha⁻¹) é o conteúdo total de N nas folhas e colmos durante o pendoamento (MI et al., 2007);

c) Acumulação de Nitrogênio Após o Pendoamento (ANAP, em kg ha⁻¹):

$$ANAP = ANf - ANo$$

onde: *ANf* (kg ha⁻¹) é a acumulação de N na maturidade; *ANo* (kg ha⁻¹) é a acumulação de N no pendoamento (MOURA et al., 2010);

d) Conteúdo de Proteína no Grão (%):

$$CPG = CNG \times 0,565$$

onde: *CNG* (g kg⁻¹) é o conteúdo de N no grão; 0,565 é o fator de conversão específico para o milho (NIELSEN, 1998);

e) Eficiência Agronômica do Nitrogênio (EAN, em kg kg⁻¹) e do Potássio (EAK, em kg kg⁻¹):

$$EA = \frac{(Pf - Po)}{Q}$$

onde: Pf (kg) é a produção total de grãos com adubação mineral e/ou orgânica; Po (kg) é a produção total de grãos sem adubação; Q (kg) é a quantidade aplicada do nutriente a partir de fonte orgânico e/ou inorgânico (ROBERTS, 2008);

- f) Eficiência de Recuperação do Nitrogênio Orgânico (ERNO, em %) e Potássio Orgânico (ERKO, em %):

$$ERO = \frac{(CNf - CNo)}{Q} \times 100$$

onde: CNf (kg ha⁻¹) é a acumulação do nutriente na parcela que recebeu apenas determinada combinação de biomassas como fonte de N ou K; CNo (kg ha⁻¹) é a acumulação do nutriente na testemunha; Q é a quantidade aportada de N ou K na parcela através da biomassa (ROBERTS, 2008);

- g) Eficiência de Recuperação do Nitrogênio Inorgânico (ERNI, em %) e do Potássio Inorgânico (ERKI, em %):

$$ERI = \frac{(CNf - CNo)}{Q} \times 100$$

onde: CNf (kg ha⁻¹) é a acumulação do N ou K na parcela que recebeu determinada combinação de biomassas, ureia como fonte de N e KCl como fonte de K₂O ; CNo (kg ha⁻¹) é a acumulação do nutriente na parcela que recebeu apenas a mesma combinação de biomassa como fonte de N e K; Q é a quantidade aportada de N ou K na parcela através fertilização mineral (40 kg ha⁻¹) (ROBERTS, 2008);

- h) Eficiência Fisiológica do Nitrogênio (EFN, em kg kg⁻¹) e do Potássio (EFK, em kg kg⁻¹):

$$EF = \frac{(MSf - MSo)}{(ANf - ANo)}$$

onde: MSf (kg) é a produção total de matéria seca com adubação mineral e/ou orgânica; MSo (kg) é a produção total de matéria seca sem adubação; ANf é o acúmulo total do nutriente com adubação; ANo é o acúmulo total do nutriente sem adubação (ROBERTS et al., 2008);

- i) Eficiência de Utilização do Nitrogênio Orgânico (EUNO, em %) e do Potássio Orgânico (EUKO, em %):

$$EUO = \frac{(EFN \times ERNO)}{100}$$

onde: *EF* (%) é a eficiência fisiológica do nutriente; *ERO* (%) é a eficiência de recuperação do nutriente na forma orgânica (MI et al, 2007);

j) Eficiência de Utilização do Nitrogênio Inorgânico (EUNI, em %) e do Potássio Inorgânico (EUKI, em %):

$$EUI = \frac{(EFN \times ERNI)}{100}$$

onde: *EF* (%) é a eficiência fisiológica do N; *ERI* (%) é a eficiência de recuperação do nutriente na forma inorgânica (MI et al, 2007).

2.5. Análises nas Leguminosas

De cada espécie arbórea foi coletada uma amostra de 1 kg e, após a secagem do material em estufa, foi calculada a matéria seca. Para determinação dos teores de nutrientes as amostras foram moídas para passar por uma tela de 1 mm. As concentrações de N foram determinadas após a digestão com H₂SO₄-H₂O₂, segundo a metodologia de Tedesco et al. (1995) e, a partir da digestão nitro-perclórica (HNO₃-HClO₄), foram encontrados os teores de P (por espectrofotometria com amarelo de vanadato) e K, Ca, Mg (por espectrometria de emissão atômica em plasma de argônio acoplado indutivamente). Em seguida, a quantidade aportada de cada nutriente foi calculada para o total de matéria seca aplicada.

2.6. Análise Estatística

Para a análise estatística foi utilizado o programa STATISTICA. Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas entre si pelo Teste de Tukey (p<0,05).

3. Resultados

3.1. Caracterização Química das Leguminosas e Aporte de Nutrientes

A leucena apresentou os maiores teores de macronutrientes, exceto para o P, com duas vezes mais N que acácia e 1,6 mais que o sombreiro (Tabela 3). Todas as leguminosas apresentaram baixa concentração de P, K, Ca e Mg e a acácia apresentou os menores teores de todos os elementos quando comparada às outras espécies, exceto para o P. Houve uma grande disparidade quanto à aplicação dos nutrientes nas diferentes combinações de resíduos, com destaque para as misturas acácia + leucena – que aportou maiores quantidade de P, K e Mg, e sombreiro + gliricídia – que aportou maiores quantidades de Ca nas parcelas (Figura 4).

Tabela 3. Caracterização química das leguminosas.

Leguminosas	C/N	Teor de Nutrientes				
		------(g kg ⁻¹)-----				
		N	P	K	Ca	Mg
Leucena	11,48	43,56	2,71	6,72	3,80	3,69
Gliricídia	13,51	37,01	1,48	4,62	3,26	2,33
Sombreiro	18,38	27,21	3,15	5,89	3,75	2,39
Acácia	23,45	21,32	2,57	4,22	2,99	2,09

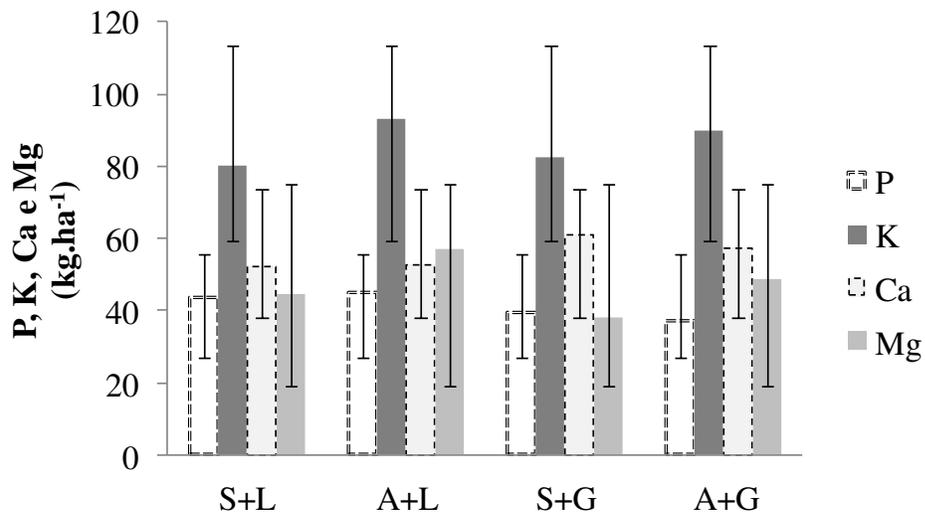


Figura 4. Quantidades aportadas de P, K, Ca e Mg pelas diferentes combinações de leguminosas.

S = sombreiro; L = leucena; A = acácia; G = gliricídia.

3.2. Parâmetros e Índices de Produtividade do Milho

Os tratamentos S+L+NK, A+L+NK e S+G+NK não diferiram entre si e foram superiores a A+L, NK e à testemunha quanto à produtividade e, além disso, o tratamento S+L+NK também foi superior a S+L, S+G e A+G para esse parâmetro (Tabela 4). Todas as parcelas que receberam biomassa como cobertura superficial do solo foram muito mais produtivas que aquelas cultivadas em solo descoberto. Quanto ao índice de colheita, não houve diferenças entre os tratamentos caracterizados pelo aporte de biomassa. O tratamento S+L+NK apresentou maior peso de 100 grãos que as parcelas em solo descoberto e em todos os parâmetros e índices de produtividade o tratamento NK e a testemunha não diferiram entre si.

Tabela 4. Produtividade, índice de colheita e massa de 100 grãos para o cultivar BR 473.

Tratamentos	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Índice de Colheita	Massa de 100 grãos (g)
S+L+NK	3773,64 a	0,50 a	33,75 a
A+L+NK	3243,49 ab	0,47 a	32,50 ab
S+G+NK	3606,44 ab	0,48 a	28,75 ab
A+G+NK	3036,58 b	0,45 a	31,25 ab
S+L	2875,75 b	0,49 a	30,00 ab
A+L	2166,23 c	0,45 a	26,25 ab
S+G	2651,50 bc	0,46 a	30,00 ab
A+G	2469,42 bc	0,45 a	31,25 ab
NK	581,63 d	0,49 a	24,00 b
Testemunha	396,59 d	0,47 a	23,75 b
CV(%)	22,01	20,13	13,64

S = sombreiro; L = leucena; A = acácia; G = gliricídia; N = 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio; K = 40 kg ha⁻¹ de potássio.

3.3. Remobilização de N, Conteúdo de N e Conteúdo de Proteína

Os tratamentos A+G+NK , A+G e a testemunha remobilizaram menores quantidades de N das suas folhas e colmos que todos os outros tratamentos (Tabela 5). Além disso, os tratamentos A+G+NK e A+G acumularam maiores quantidades de N após o pendoamento, embora não tenham diferido dos tratamentos S+G+NK e S+G. As áreas cultivadas em plantio direto na palha de leguminosas, o tratamento NK e a testemunha diferiram entre si quanto ao conteúdo de N no grão (Tabela 6). Quanto ao conteúdo de N no pendoamento, o tratamento S+L+NK foi superior a todos os outros e o tratamento S+L foi superior quando comparado a A+L, S+G e A+G (Tabela 5). Porém, os tratamentos não diferiram entre si quanto ao teor de proteína no grão, o que está de acordo com o conteúdo de N nos grãos (Tabela 6).

Tabela 5. Remobilização de N, acúmulo de N após o pendoamento (ANPP) e conteúdo de N no pendoamento.

Tratamentos	Remobilização de N (kg ha ⁻¹)	ANPP (kg ha ⁻¹)	Conteúdo de N no Pendoamento (g kg ⁻¹)
S+L+NK	11,86 a	32,63 b	50,09 a
A+L+NK	11,09 a	42,25 b	43,79 b
S+G+NK	10,87 a	48,83 ab	42,08 b
A+G+NK	6,42 b	64,82 a	38,02 b
S+L	11,42 a	39,78 b	37,07 b
A+L	10,94 a	39,47 b	27,94 c
S+G	10,85 a	55,03 ab	27,64 c
A+G	7,00 b	62,22 a	28,30 c
NK	11,63 a	1,78 c	20,15 d
Testemunha	6,49 b	0,46 c	15,42 d
CV (%)	19,87	20,64	12,07

S = sombreiro; L = leucena; A = acácia; G = gliricídia; N = 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio; K = 40 kg ha⁻¹ de potássio.

Tabela 6. Conteúdo de N no grão e conteúdo de proteína nos grãos do milho QPM BR 473.

Tratamentos	Conteúdo de N no Grão (g kg ⁻¹)	Conteúdo de Proteína no Grão (%)
S+L+NK	20,35 a	11,50 a
A+L+NK	19,61 a	10,86 a
S+G+NK	20,46 a	11,28 a
A+G+NK	19,68 a	11,57 a
S+L	18,15 a	11,56 a
A+L	17,41 a	10,77 a
S+G	19,06 a	10,70 a
A+G	18,55 a	10,48 a
NK	18,86 a	10,20 a
Testemunha	18,36 a	10,81 a
CV (%)	7,14	6,24

S = sombreiro; L = leucena; A = acácia; G = glicírdia; N = 40 kg.ha⁻¹ de nitrogênio; K = 40 kg.ha⁻¹ de potássio.

3.4. Eficiência Agronômica

O tratamento S+L+NK foi superior às parcelas cultivadas com S+G e A+G para a eficiência agronômica do N (EAN), e todos os tratamentos caracterizados pelo plantio direto na palha de leguminosas foram superiores quando comparados ao tratamento NK. Para a eficiência agronômica do K (EAK) esse último padrão se manteve e os tratamentos caracterizados pelo aporte de biomassa não diferiram entre si e foram muito superiores às parcelas em solo descoberto (Tabela 7).

Tabela 7. Eficiência Agronômica do N (EAN) e Eficiência Agronômica do K (EAK).

Tratamentos	EAN (kg kg ⁻¹)	EAK (kg kg ⁻¹)
S+L+NK	5,81 a	28,07 a
A+L+NK	4,53 ab	22,86 a
S+G+NK	5,52 ab	26,21 a
A+G+NK	4,58 ab	20,31 a
S+L	4,26 ab	30,87 a
A+L	4,62 ab	21,97 a
S+G	3,88 b	27,34 a
A+G	3,60 b	23,03 a
NK	2,03 c	4,62 b
CV (%)	18,14	20,85

S = sombreiro; L = leucena; A = acácia; G = gliricídia; N = 40 kg.ha⁻¹ de nitrogênio; K = 40 kg.ha⁻¹ de potássio.

3.5. Eficiências dos Nutrientes Aplicados Via Biomassa Arbórea

As diferentes combinações de leguminosas não diferiram entre si quanto às eficiências de recuperação do N (ERNO) e do K (ERKO) mineralizados a partir da biomassa aplicada (Tabela 8). Porém, o tratamento S+L foi inferior aos demais quanto à eficiência fisiológica (EF) e, conseqüentemente, quanto à eficiência de utilização do N orgânico (EUNO). Para a eficiência fisiológica e para a eficiência de utilização do K orgânico (EUNO) os tratamentos não diferiram entre si.

Tabela 8. Eficiência de Recuperação do N Orgânico (ER-NO) e do K Orgânico (ER-KO), Eficiência Fisiológica do N (EFN) e do K (EFK) e Eficiência de Utilização do N Orgânico (EU-NO) e do K Orgânico (EU-KO).

Tratamentos	ERNO (%)	EFN (kg kg ⁻¹)	EUNO (%)
S+L	9,80 a	52,00 b	5,07 b
A+L	8,05 a	68,18 a	5,32 ab
S+G	10,98 a	61,95 a	6,16 ab
A+G	11,08 a	63,89 a	6,72 a
CV (%)	19,04	19,87	12,43
	ERKO (%)	EFK (kg kg ⁻¹)	EUKO (%)
S+L	39,37 a	89,57 a	20,98 a
A+L	33,94 a	100,27 a	23,14 a
S+G	41,15 a	100,07 a	23,02 a
A+G	39,78 a	99,19 a	25,41 a
CV (%)	17,14	17,35	15,33

S = sombreiro; L = leucena; A = acácia; G = gliricídia; N = 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio; K = 40 kg ha⁻¹ de potássio.

3.6. Eficiências dos Nutrientes Aplicados Via Fertilização Mineral

Na eficiência de recuperação do N (ERNI) e do K (ERKI) aplicados via fertilização mineral todas as parcelas cultivadas no sistema de plantio direto em palha de leguminosas foram muito superiores ao tratamento NK e não diferiram entre si (Tabela 9). Da mesma forma, para as eficiências fisiológicas (EF) e de utilização do N inorgânico (EUNI) e K inorgânico (EUKI) as parcelas que receberam biomassa também foram muito superiores àquelas cultivadas em solo descoberto.

Tabela 9. Eficiência de Recuperação do N Inorgânico (ER-NI) e do K Inorgânico (ER-KI), Eficiência Fisiológica do N (EFN) e do K (EFK) e Eficiência de Utilização do N Inorgânico (EU-NI) e do K Inorgânico (EU-KI).

Tratamentos	ERNI (%)	EFN (kg kg ⁻¹)	EUNI (%)
S+L+NK	92,34 a	52,07 a	48.40 a
A+L+NK	93,12 a	53,96 a	48.63 a
S+G+NK	103,01 a	54,98 a	56.45 a
A+G+NK	95,46 a	58,91 a	56.35 a
NK	15,63 b	22,39 b	3.53 b
CV (%)	13,85	19,87	18,38
	ERKI (%)	EFK (kg kg ⁻¹)	EUKI (%)
S+L+NK	25,19 a	91,60 a	24,31 a
A+L+NK	25,12 a	103,87 a	23,00 a
S+G+NK	23,85 a	105,83 a	24,77 a
A+G+NK	28,15 a	94,24 a	29,79 a
NK	29,39 a	17,05 b	27,69 a
CV (%)	20,17	17,35	19,76

S = sombreiro; L = leucena; A = acácia; G = gliricídia; N = 40 kg.ha⁻¹ de nitrogênio; K = 40 kg.ha⁻¹ de potássio.

4. Discussão

4.1. Caracterização Química das Leguminosas e Aporte de Nutrientes

As leguminosas avaliadas nesse estudo mantiveram o mesmo padrão observado por Aguiar et al. (2010) em um sistema de aleias também no Centro-Norte maranhense, no qual a leucena apresentou maiores teores de N (40,17 g kg⁻¹), K (11,18 g kg⁻¹), Ca (17,84 g kg⁻¹) e Mg (2,92 g kg⁻¹) e a acácia apresentou as menores concentrações de quase todos os nutrientes, com apenas 18,28 g kg⁻¹ de N, 0,51 g kg⁻¹ de P, 5,40 g kg⁻¹ de K, 1,73 g kg⁻¹ de Mg.

O N foi o único nutriente adicionado de maneira significativa ao sistema através das biomassas e, apesar das baixas eficiências de recuperação e de uso, a quantidade aportada seria

suficiente para atender a demanda da cultura em uma situação de completo sincronismo entre a mineralização e as necessidades do milho em seus diferentes estádios fenológicos, o que está de acordo com Hirel et al. (2011). Apesar da pequena quantidade de K aportada via cobertura morta, o cultivar apresentou eficiência de recuperação e de utilização muito superior para esse nutriente, quando comparada ao N, nas diferentes combinações de resíduos.

Após atingir a completa maturidade esses sistemas passam a exigir muito menos fontes industriais de N e K para suprir as necessidades das culturas de interesse econômico, porém, a fertilização mineral continuará sendo fundamental para garantir maiores produtividades, pois foi observado que as parcelas que receberam aporte de biomassas, ureia e KCl foram mais produtivas que aquelas que receberam apenas biomassa ou os fertilizantes isoladamente. A baixa disponibilidade nos solos locais e o pequeno aporte de P orgânico aplicado através dos resíduos nesse estudo, mostraram que a fosfatagem é uma prática necessária não apenas na implantação, mas também na manutenção dos sistemas de aleias. As quantidades de Ca e Mg recicladas através das leguminosas estão muito aquém do necessário para a manutenção do sistema, tornando a calagem uma prática indispensável para o estabelecimento desses sistemas no trópico úmido, não apenas por corrigir a acidez tóxica, mas também por aumentar de maneira significativa os teores disponíveis de elementos para as plantas, como pode ser observado ao comparar as análises de solo antes (Tabela 1) e depois (Tabela 2) do uso do corretivo.

4.2. Parâmetros e Índices de Produtividade do Milho

A variedade BR 473 tem um potencial produtivo de 5.400 kg ha⁻¹ (EMBRAPA, 2012). Porém, a maior produtividade obtida nesse estudo, em termos absolutos, foi de apenas 3773,64 kg ha⁻¹ no tratamento S+L+NK, devido a um déficit hídrico acentuado ao longo do ciclo da cultura, que adiou o período de plantio do início para o final do mês de janeiro. Apesar da alta pluviosidade referente a janeiro de 2012 (Figura 1), as chuvas começaram de maneira tímida somente na segunda quinzena do mês, se concentraram entre os dias 22 e 25, e foram seguidas por um “veranico” atípico, com as precipitações nos meses seguintes muito abaixo do esperado para o trópico úmido na primeira metade do ano.

O tratamento S+L+NK não diferiu dos tratamentos A+L+NK e S+G+NK, mas foi muito superior a todos os outros quanto à produtividade. Além disso, S+L+NK foi o único tratamento

com peso de 100 grãos superior às parcelas cultivadas em solo descoberto. Dessa maneira, esse tratamento se destacou entre os demais quanto aos parâmetros de produtividade.

De maneira geral, os tratamentos caracterizados pelo aporte de biomassa e adubação mineral alcançaram maior produtividade que os tratamentos caracterizados apenas pela aplicação de biomassa e, além disso, as parcelas cultivadas apenas com a aplicação das combinações de resíduos foram muito mais produtivas que as parcelas cultivadas em solo descoberto. Esses resultados sugerem que embora a matéria orgânica tenha adicionado quantidades significativas de N e K para o solo, não houve uma sincronia adequada entre a liberação desses elementos e as necessidades da cultura, de forma que as quantidades mineralizadas ao longo do ciclo de cultivo foram suficientes para atender apenas parte da demanda do cultivar. Assim, o plantio direto na palha de leguminosas pode reduzir de maneira significativa a necessidade de adubos nitrogenados e potássicos, porém, as baixas eficiências de utilização do N e K orgânicos tornam a fertilização mineral complementar fundamental para que o potencial produtivo da cultura seja plenamente atingido dentro desse sistema.

Os resultados obtidos nesse trabalho corroboram os dados encontrados por Aguiar et al. (2009), em estudo conduzido em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arenico no trópico úmido maranhense, onde as deposições combinadas de resíduos foram responsáveis por um grande incremento em produtividade e maior peso de grãos no milho, com destaque para os tratamentos sombreiro + leucena (4.750 kg ha^{-1}), acácia + leucena (4.250 kg ha^{-1}) e guandu + leucena (3.900 kg ha^{-1}) no quinto ano de estabelecimento do sistema. Segundo Aguiar et al. (2010) o incremento em produtividade observado nos sistemas de aleias é um reflexo da melhoria das qualidades do solo, pois os resíduos de leguminosas aumentam a capacidade de aeração, melhoram a eficiência de absorção de nutrientes e garantem uma melhor distribuição e manutenção das bases na rizosfera.

Segundo Gholizadeh et al. (2011) o índice de colheita (IC) é determinado geneticamente e expressa a capacidade do cultivar em converter a produção de fitomassa acima do solo em produto comercializável, com uma faixa ideal entre 0,5 e 0,6 para o milho. Nesse estudo, o tratamento S+L+NK foi o único tratamento que obteve um índice de colheita dentro dessa faixa, porém, os tratamentos não diferiram entre si para esse parâmetro, uma vez que todas as parcelas foram cultivadas com o mesmo genótipo.

4.3. Remobilização de N, Conteúdo de N e Conteúdo de Proteína

Os dados de remobilização indicam que a disponibilidade do nutriente foi mantida durante o período de enchimento de grãos para as parcelas que receberam A+G+NK e A+G, o que está de acordo com os dados de acúmulo de N após o pendoamento, pois esses tratamentos apresentaram grande quantidade do elemento em seus tecidos durante os estádios fenológicos finais. Embora as plantas nas parcelas com a testemunha tenham sido submetidas a grande deficiência de N durante todo o ciclo produtivo, pouco do elemento foi remobilizado em relação aos outros tratamentos devido à pequena quantidade acumulada nas partes vegetativas durante o estádios fenológicos iniciais que pudesse ser usada como reserva para o enchimento dos grãos.

A disponibilidade contínua e prolongada de N nos tratamentos A+G+NK e A+G foi devida a uma menor velocidade de decomposição da mistura. Sabe-se que o milho apresenta dois períodos de intensa absorção de nutrientes: o primeiro ocorre durante a fase de crescimento vegetativo (nos primeiros 30 dias após a emergência), quando o número potencial de grãos está sendo definido; o segundo durante a fase reprodutiva, na formação da espiga, quando o potencial produtivo é atingido (entre 60 e 90 dias) (COELHO et al., 2011). Assim, as plantas cultivadas nas parcelas que receberam a combinação de biomassa A+G, caracterizada com uma liberação contínua e mais lenta sincronizada com as demandas da cultura, como observado por Moura et al. (2010), tiveram grande parte das necessidades atendidas em sua na fase reprodutiva a partir da disponibilização do N mineralizado no solo e, conseqüentemente, precisaram remobilizar muito menos dos órgãos vegetativos.

Porém, a menor remobilização em A+G+NK E A+G não implicou em maior desempenho produtivo nessas parcelas ou em maior teor do elemento nos grãos, pois o aporte do nutriente (na forma orgânica e mineral) permitiu às plantas dos outros tratamentos acumularem grande quantidade de N em suas folhas e colmos durante a fase vegetativa, que pôde ser utilizado como reserva posteriormente. Assim, esses dados estão de acordo com Mi et al. (2007) que afirmam existir uma relação positiva entre a acumulação de N e a qualidade dos grãos para a cultura do milho, de forma que o N total acumulado no estágio vegetativo é mais importante que a eficiência fisiológica, em condições de disponibilidade do elemento.

Em um estudo conduzido por Alamerew et al. (2008) na Índia, os teores de proteína em 12 genótipos QPM variaram entre 6,87 e 12,02%. No presente trabalho, a variação foi menor, entre 10,20 e 11,57%, mas as diferenças entre os tratamentos não foram significativas. O

conteúdo de proteína é diretamente controlado pela capacidade da planta em absorver e transferir nitrogênio do solo e dos órgãos vegetativos para os grãos que, por sua vez, é uma característica controlada geneticamente (SOFI et al., 2009). Assim, como se trata da mesma variedade nas diferentes parcelas, os resultados obtidos nesse trabalho expressam o padrão genotípico do cultivar. Porém, o tratamento S+L+NK foi capaz de fornecer maior quantidade de proteína por hectare que a maioria dos outros tratamentos, pois como os conteúdos nos grãos não variaram, a maior produtividade tornou-se diretamente relacionada ao maior potencial nutricional das parcelas.

4.4. Eficiência Agronômica

O tratamento S+L+NK obteve a maior produtividade nesse trabalho com as mesmas quantidades aportadas de N na forma orgânica e mineral para os outros tratamentos e, por isso, apresentou maior eficiência agronômica para esse nutriente (EAN). Como a eficiência agronômica (EA) expressa o incremento na produtividade obtido por unidade de nutriente aplicado, esse parâmetro é um excelente indicador da viabilidade econômica da aplicação de fertilizantes para uma determinada cultura em uma situação específica (ROBERTS, 2008).

Assim, os resultados mostram a viabilidade econômica e agronômica do uso de cobertura morta no trópico úmido, pois o uso de resíduos de leguminosas, combinados ou não com adubação mineral, melhorou consideravelmente a EAN e a EAK, com o conseqüente aumento da produtividade nas parcelas. Quando se considera as diferenças de custo entre as fontes sintéticas de N e K (como a ureia e o KCl, respectivamente) e as fontes orgânicas (como a biomassa de leguminosas), o sistema de plantio direto na palha de leguminosas se apresenta como uma boa alternativa para o contexto da agricultura familiar que dispõe de limitado poder aquisitivo.

Segundo Rothstein (2007) os adubos são os mais caros insumos da agricultura e, além disso, a indústria de fertilizantes demanda uma grande quantidade de energia, o que torna os preços dos seus produtos altamente voláteis e sujeitos a variações periódicas por conta das mudanças nas relações de demanda e oferta do petróleo e outras fontes de energia. Além dos altos custos de aquisição, mais de 60% de todo o N inorgânico aportado ao solo está sujeito a perdas devido à combinação de uma série de fenômenos, tais como, lixiviação, escoamento

superficial via enxurradas, desnitrificação, volatilização e consumo microbiano (KANT et al., 2011). O K aplicado via fertilização mineral também está sujeito a alguns desses fenômenos, como a percolação profunda e o escoamento superficial, especialmente em solos de textura arenosa e baixa capacidade de reter cátions (RENGEL & DAMON, 2008).

Macharia et al. (2011) encontraram valores de até 28,3 kg kg⁻¹ para a eficiência agrônômica do N (EAN) em terras altas no Quênia e Carvalho et al. (2011) encontraram 11,78 kg kg⁻¹ no cerrado brasileiro. A menor EAN observada nesse estudo deveu-se à menor capacidade de recuperação do N orgânico, devido à dificuldade de sincronizar a mineralização do N pela cobertura morta com a absorção pela cultura do milho. Para as parcelas em solo descoberto, correspondentes ao tratamento NK, a EAN foi ainda mais baixa devido aos intensos processos de perda típicos do trópico úmido e que se tornam ainda mais intensos quando a superfície edáfica não se encontra protegida das intensas precipitações e da alta insolação.

4.5. Eficiências dos Nutrientes Aplicados Via Biomassa Arbórea

A menor eficiência fisiológica e, conseqüentemente, a menor eficiência de utilização do N orgânico no tratamento S+L pode ser explicada pela maior qualidade de resíduo da combinação de biomassas, que a torna sujeita a uma rápida e intensa liberação do nutriente contido em seus tecidos durante o estágio vegetativo da cultura. Segundo Mi et al. (2007) em condições de baixa disponibilidade do nutriente a eficiência fisiológica é mais importante que a capacidade de estocagem no estágio vegetativo, porém, em condições de disponibilidade a capacidade de armazenamento nos tecidos de reserva se torna mais importante. Moura et al. (2010), em estudo conduzido em condições edafoclimáticas semelhantes, encontraram que 50% do material na combinação sobreiro + leucena foi decomposto logo nos 30 primeiros dias após a distribuição do material na superfície do solo, com uma intensa disponibilização do N nesse período, corresponde ao estágio de crescimento vegetativo da cultura.

Assim, o tratamento S+L garantiu uma grande disponibilidade de N mineralizado nos estádios fenológicos iniciais do cultivar e favoreceu a estocagem desse nutriente nas folhas e colmos em detrimento da eficiência fisiológica. Ou seja, grande parte do elemento foi armazenado ao invés de ser utilizado na produção imediata de matéria seca, como comprovam os dados de conteúdo do N no pendramento, pois o tratamento S+L+NK foi superior a todos os

outros para esse parâmetro e o tratamento S+L foi superior aos demais tratamentos caracterizados apenas pelo aporte de biomassa. Moura et al. (2010) encontraram valores superiores para a eficiência de recuperação do N orgânico nas combinações sobreiro + leucena (19%) e acácia + leucena (17%) nas mesmas condições do trópico úmido maranhense, quando comparados aos dados apresentados nesse trabalho, com 9,8% e 8,05%, respectivamente.

Embora também sujeito à remoção do perfil, o K orgânico apresentou eficiências mais alta, pois ele não está sujeito à fixação como o P e nem a perdas em formas gasosas como o N (ROBERTS, 2008). O milho tem uma alta demanda por K em suas fases iniciais, assim, a rápida decomposição da biomassa para as combinações com leucena não implicaram em perda imediata, pois ele também pode ser prontamente absorvido para atender às necessidades iminentes da cultura, funcionando como elemento de “arranque”. Moura et al. (2010) encontraram 35% e 46% como eficiência de recuperação do K orgânico para as combinações sobreiro + leucena e acácia + leucena, respectivamente, valores muito próximos aos encontrados nesse trabalho.

Além dos benefícios físicos, químicos e biológicos, a adição de biomassa aporta uma quantidade significativa de N e K para o solo, o que garante um fornecimento dos elementos em níveis suficientes para o desenvolvimento fisiológico da cultura devido à recuperação e utilização dos elementos contidos nos tecidos orgânicos. A preferência pelo uso de leguminosas se deve à grande vantagem dessas espécies em melhorar a fertilidade do solo devido à introdução de nitrogênio (N) no sistema, principalmente via fixação biológica (FBN), mas também pela captura de elementos percolados ao longo do perfil, como K e P, tornando-os disponíveis na superfície em função da poda e do uso da biomassa como cobertura edáfica (PARTEY et al., 2011).

A decomposição e a liberação de nutrientes dos resíduos vegetais seguem uma tendência exponencial, relacionando-se diretamente com as características do material, a assimilação pelas culturas e com a reciclagem dentro do sistema (AGUIAR et al., 2010). A qualidade do material se deve à sua composição química e, mais especificamente, com os conteúdos de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), lignina e polifenóis, de forma que são considerados de “alta qualidade” resíduos de com teores de nitrogênio acima de 2,5%, conteúdo de lignina inferior a 15% e de polifenóis abaixo de 4%, ao passo que resíduos com características inversas são chamados de resíduos de “baixa qualidade”. (TEKLAY, 2007).

4.6. Eficiências dos Nutrientes Aplicados Via Fertilização Mineral

Segundo Roberts (2008) a eficiência de recuperação (ER) é a relação entre o conteúdo absorvido e o conteúdo aplicado do nutriente, enquanto a eficiência fisiológica é a produção biológica na parte aérea por unidade de nutriente acumulado, ou seja, a relação entre a produção total de matéria seca e o conteúdo do nutriente nos tecidos vegetais. A eficiência de uso de nutrientes (EU) é a produtividade total de matéria seca obtida pela cultura por unidade disponível de elemento mineral, seja ele fornecido pelo próprio solo ou pela fertilização, ou ainda, o produto entre a eficiência fisiológica e a eficiência de recuperação do nutriente (HIREL et al., 2011). Assim, a eficiência de utilização (EU) agrega, em um único índice: 1) a capacidade do solo em fornecer e da planta em assimilar o nutriente (expressa pela ER); 2) a capacidade do genótipo em utilizar o nutriente assimilado para a produção biológica (expressa pela EF) (MI et al., 2007).

Mais uma vez, os dados indicam que o uso de cobertura morta foi fundamental para melhor os índices de eficiência, pois os resultados mostraram que as parcelas cultivadas com o uso de cobertura morta não diferiram entre si e foram muito superiores à testemunha quanto às eficiências de recuperação e utilização do N aplicado via ureia e do K aplicado via cloreto de potássio. A maior parte de todo o N inorgânico (mais de 90%) foi recuperado pela cultura, pois a ureia é uma fonte de imediata disponibilidade e foi aplicada no início do período de crescimento vegetativo do milho (caracterizado pela alta demanda do nutriente), de forma que os resíduos vegetais ainda se encontravam em plena integridade e garantiam a total cobertura do solo, impedindo as perdas, e a fonte mineral era a única que estava disponibilizando nitrato no solo. Assim, as plantas absorveram e armazenaram a maior parte do nitrato liberado no solo pelo fertilizante nitrogenado nesse período.

A eficiência de recuperação do K aplicado via cloreto de potássio (ERKI) foi inferior à eficiência de recuperação do N aplicado via ureia (ERNI), porém, o cultivar BR 473 mostrou eficiência fisiológica do K (EFK) muito superior à eficiência fisiológica do N (EFN). Além disso, a eficiência de utilização do N inorgânico (EUNI) foi duas vezes maior que a eficiência de utilização do K inorgânico (EUKI), porém, a eficiência de utilização do K orgânico (EUKO) mostrou-se muito maior que a eficiência de utilização do N orgânico (EUNO). Dessa maneira, a aplicação das biomassas com ureia e KCl mostrou-se como uma estratégia capaz de balancear as

quantidades disponíveis desses dois elementos e fornecê-los em quantidades suficientes para o milho, o que é fundamental para um aumento na produtividade em agroecossistemas de baixo *input* (BUKSHSH et al., 2012).

5. Conclusões

O plantio direto na palha de leguminosas é uma estratégia capaz de aumentar a produtividade em solos de baixa fertilidade natural do Centro-Norte maranhense, pois esse sistema apresenta as seguintes vantagens: 1) capacidade de melhorar a eficiência de uso de nitrogênio (N) e potássio (K) aplicados a partir de fontes orgânicas e inorgânicas; e 2) grande potencial em reciclar nutrientes e disponibilizá-los ao longo do ciclo de cultivo.

As combinações de biomassas são capazes de atender parte das demandas do milho por N e K, o que pode incrementar a produtividade, reduzir a necessidade de fertilizantes minerais nitrogenados e potássicos e facilitar a construção de agroecossistemas de baixo *input*. Porém, a fertilização mineral é fundamental para que o cultivar atinja todo o seu potencial produtivo, pois os solos do trópico úmido apresentam baixa disponibilidade de nutrientes e o sistema de aleias não é capaz de manter os níveis de P, K, Ca e Mg em níveis adequados no solo. A adubação mineral complementar é importante até mesmo para prevenir deficiência de N pois, apesar da grande quantidade aportada com a aplicação dos resíduos de leguminosas, a eficiência de utilização desse nutriente na forma orgânica é muito baixa.

O tratamento S+L+NK foi superior aos demais, ao se considerar todos os parâmetros analisados, e pode ser recomendado para aumentar a produtividade e o peso dos grãos em plantio direto nas condições edafoclimáticas do trópico úmido. Além disso, a variedade QPM mostrou-se adequada para o cultivo em sistemas de aleias no trópico úmido maranhense.

6. Referências Bibliográficas

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

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.

ALAMEREW, S. Protein, tryptophan and lysine contents in quality protein maize, North India. **Ethiopian Journal of Health Sciences**, v.18, p.9-15, 2008.

ANA (2012). Disponível em:

<http://www.ana.gov.br/PortalSuporte/fmDadosEstacao.aspx?estacao=343010&Ano=2012&tipo=Chuvas>. Acesso em: 30 jan 2013.

BUKSH, M.A. et al. Nutritional and physiological significance of potassium application in maize hybrid crop production. **Journal of Nutrition**, v.11, p.187-202, 2012.

CARVALHO, R.P.; PINHO, R.G.V.; DAVIDE, L.M.C. Desempenho de cultivares de milho quanto à eficiência de utilização de nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, p.108-120, 2011.

COELHO, M.A. et al. (2011). Cultivo do milho: fertilidade de solos. Disponível em:

http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_7ed/feraduba.htm. Acesso em: 20 out 2012.

DRINKWATER, L.E.; SNAPP, S.S. Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm. **Advances in Agronomy**, v.92, p.163-186, 2007.

EMBRAPA (2012). Milho BR 473. Disponível em:

<http://www.cnpms.embrapa.br/produtos/produtos/br473.html>. Acesso em: 30 jan 2013.

FAO (2012). Committee on World Food Security. Disponível em: <http://www.fao.org/cfs/en/>. Acesso em: 12 out 2012.

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.

HIREL, B. et al. Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture. **Sustainability**, v.3, p. 1452-1485, 2011.

IBGE (2012). Insegurança alimentar diminui, mas ainda atinge 30,2% dos domicílios brasileiros. Disponível em:

http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1763&id_pagina=1. Acesso em: 23 jun 2012.

INMET (2012). Disponível em:

http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf.

Acesso em: 03 jan 2012.

KANT, S.; BI, Y.; ROTHSTEIN, S.J. Understanding plant response to nitrogen limitation for the improvement of crop nitrogen use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.4, p. 1499-1509, 2011.

MACHARIA, C.N. et al. Nutrient use efficiency and maize yield response to rate and mode of nitrogen application in the Kenya Highlands. **East African Agricultural and Forestry Journal**, v.77, p.103-109, 2011.

MI, G.H.; CHEN, F.; ZHANG, F. Physiological and genetic mechanisms for nitrogen-use efficiency in maize. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v.10, n.2, p. 57-63, 2007.

MOURA, E.G. et al. Growth and productivity of corn as affected by mulching and tillage in alley cropping systems. **Scientia Agricola**, v.65, n.2, p.204-208, 2008.

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

MOURA, E.G. et al. Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil. **Soil Use and Management**, v.25, p.368-375, 2009b.

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.

NIELSEN, S. S. **Food analysis**. Gaithersburg: Aspen Publisher, 1998.

NUSS, E.T.; TANUMIHARDIO, S.A. Maize: a paramount staple crop in the context of global nutrition. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Security**, v.9, p.417-436, 2010.

PARTEY, S.T. et al. Decomposition and nutrient release patterns of the leaf biomass of the wild sunflower (*Tithonia diversifolia*): a comparative study with four leguminous agroforestry species. **Agroforestry Systems**, v.81, p.123-134, 2011.

RENGEL, Z.; DAMON, P.M. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. **Physiol Plant**, v.133, n.4, p.624-636, 2008.

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

ROTHSTEIN, S.J. Returning to our roots: making plant biology research relevant to future challenges in agriculture. **The Plant Cell**, v.19, p. 2695-2699, 2007.

SOFI, P.A. et al. Review article: Quality protein maize (QPM): Genetic manipulation for the nutritional fortification of maize. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v.16, p.244-253, 2009.

TEDESCO, M.J. **Extração simultânea de N, P, K, Ca e Mg em tecido de planta por digestão por H₂O₂ – H₂SO₄**. Porto Alegre UFRGS, 1995.

TEKLAY, T. Decomposition and nutrient release from pruning residues of two indigenous agroforestry species during the wet and dry seasons. **Nutrient Cycling In Agroecosystems**, v.77, p.115-126, 2007.

ZHAI, S.W.; ZHANG, M.L. Comparison of true metabolisable energy and true amino acid availability between normal maize and quality protein maize (Shandan 17). **Italian Journal of Animal Science**, v.6, p.289-294, 2007.