



Universidade Federal do Maranhão
Centro de Ciências Agrárias e Ambientais
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

**EFEITOS DA COBERTURA DE GLIRICÍDIA (*Gliricidia
sepium*) E ÁCIDO HÚMICO NA EFICIÊNCIA DE USO DO
POTÁSSIO**

FRANCISCA FERREIRA FARIAS

Chapadinha

2016

FRANCISCA FERREIRA FARIAS

**EFEITOS DA COBERTURA DE GLIRICÍDIA (*Gliricidia*
sepium) E ÁCIDO HÚMICO NA EFICIÊNCIA DE USO DO
POTÁSSIO**

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

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura

Chapadinha

2016

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Ferreira Farias, Francisca.

Efeitos da cobertura de Gliricídia Gliricidia sepium e ácido húmico na eficiência de uso do potássio / Francisca Ferreira Farias. - 2016.

46 p.

Orientador(a): Emannel Gomes de Moura.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (25.06)/ccaa, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2016.

1. Produtividade. 2. Absorção. 3. Eficiência do uso do nitrogênio. I. Gomes de Moura, Emannel. II. Título.

FRANCISCA FERREIRA FARIAS

**EFEITOS DA COBERTURA DE GLIRICÍDIA (*Gliricidia
sepium*) E ÁCIDO HÚMICO NA EFICIÊNCIA DE USO DO
POTÁSSIO**

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

Aprovada em / /

BANCA EXAMINADORA

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

Prof^a. Dr^a. Alana das Chagas Ferreira Aguiar
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Altamiro de Souza Lima Ferraz Junior
Universidade Estadual do Maranhão

“Porque o Senhor dá a sabedoria, da sua boca é
que vem o conhecimento e o entendimento”

Provérbios 2:6

A minha mãe, Maria das Graças G. Farias, aos meus pais Gomecino G. Farias e Hildenê F. Ferreira, aos meus irmãos Gustavo Henrique F. Farias, Gomecino F. Farias e aos meus tios e primos, pelo apoio e carinho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e a das pessoas que amo e por todas as vitórias que tens me proporcionado;

Aos meus pais, Maria das Graças e Antônio, Gomecino e Hildenê, por tudo que sou;

Aos meus irmãos, Gustavo, Gomecino e Jeremias pelo carinho e apoio;

Ao André Kohler, pelo companheirismo, amizade, paciência e amor que sempre me dedicou;

Aos meus tios, Maria do Livramento, Antonia, Sidinalva, Nonato, Raimundinha, Francisco e Conceição pela dedicação e carinho que sempre tiveram por mim;

Aos meus primos, Thays, Thayson Arthur, Pedro e Reinaldo por estarem sempre ao meu lado;

À família Farias, a qual Deus me fez merecedora em fazer parte, agradeço por estarem sempre ao meu lado, pelo amor incondicional, por ser perfeita com todas as imperfeições, pelos valores, pelo companheirismo e lealdade, por ser minha família;

Aos meus amigos, Diôgo Ribeiro, Adalziza Neta, Gleyson Silva, Luiza Chayanne, Laurinete, Gustavo, Railson Barbosa, Kamila Meneses, Conceição, João Pedro, Anágila e Camila Vieira pela amizade, contribuição, força pra que eu pudesse seguir adiante e por me proporcionarem momentos únicos de alegria;

Aos colegas e amigos do Mestrado, Karlyene, Raimunda, Hélida, Itamara, Romário, Jeferson, Jordane, Tales, Lucas e Jessica Maria por estarem presentes nos momentos mais difíceis dessa caminhada;

À Janayra por ajudar com as análises, ao prof. Marcos Bonfim por ceder o laboratório e seus orientados para ajudar nas análises;

Ao grupo Econous, e aos membros Johab, Jardel, Hádamo, Rose, Karla e Larissa pela colaboração nas atividades, e aos estagiários Rafael, Graziele, Lucas e Galdêncio pela colaboração;

Ao meu orientador, prof. Emanuel Gomes de Moura pela disponibilidade e dedicação de seu tempo para me orientar;

Às Professoras Alana das Chagas Ferreira Aguiar, por ceder o laboratório e pela ajuda durante a pesquisa e a Izumy Doihara, por estar sempre disponível a ajudar e pelo carinho que sempre demonstrou;

Ao sr. Aldamir e sua família pela receptividade e pela ajuda durante o experimento, ao Raones pela amizade e ajuda;

A Sra. Francilene e sr Marcos pelo carinho, amizade, por me receber em sua residência e pela imensa ajuda durante toda a pesquisa;

Aos funcionários da Universidade Federal do Maranhão, por estarem sempre à disposição, especialmente os do FINEP, pelo café e por me ajudar sempre que precisei;

À Estefane e Marta, por estar sempre à disposição para ajudar e pela receptividade. Ao Cesar e Vinicius, pela ajuda no campo e a equipe de Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Maranhão, na pessoa do técnico João, pelo auxílio com as análises;

À Banca Examinadora, por terem doado seu tempo e conhecimento para correção desse trabalho;

Ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão, pela disponibilidade do curso de mestrado;

Ao programa de Pós Graduação em Ciência Animal, na pessoa da prof^a. Dr^a Michele, pela disponibilidade e ajuda durante todo o curso;

À FAPEMA pela concessão da bolsa;

A todos que contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito Obrigada!

RESUMO

O uso de cobertura vegetal melhora a qualidade física e química do solo permitindo maior incremento de matéria orgânica e maior eficiência no uso dos nutrientes pelas plantas. O fornecimento adequado de potássio para as plantas promove aumento de produtividade e produz efeito na absorção de outros nutrientes. Diante disso, o objetivo deste estudo foi determinar os efeitos da cobertura vegetal de Gliricídia associada à aplicação de ácido húmico e adubação potássica na eficiência de uso do potássio pelas plantas. O experimento foi conduzido em sistema de cultivo em aléias, plantado com a leguminosa arbórea Gliricídia (*Gliricidia sepium*), localizado na área experimental do povoado Acampamento município de Brejo-MA (3° 38' de latitude sul e 42° 58' de longitude oeste). Foi utilizado o milho híbrido AG 7088 cultivado nas entrelinhas das leguminosas, com a aplicação de 20 t/ha de cobertura vegetal de Gliricídia, 78 kg/ha de cloreto de potássio (KCL) e 500 l/ha de ácido húmico. Utilizou-se o esquema fatorial 2x2x2 (com 2 combinações de Gliricídia, 2 de potássio e 2 de ácido húmico) dispostos em blocos ao acaso com quatro repetições, com os seguintes tratamentos: 1- Potássio (K), 2- Gliricídia (G), 3- Ácido húmico (AH), 4- CONTROLE, 5- K + G, 6- K + AH, 7- G + AH e 8- G + AH + K. As plantas de milho foram coletadas na fase de florescimento e na maturação, coletando-se três plantas por parcela em cada fase. As plantas foram separadas em colmo, folhas e parte reprodutiva e em seguida foram secas, moídas e submetidas à digestão em ácido nítrico e perclórico para avaliação dos teores de nutrientes, calculou-se a produtividade do milho através da massa de grãos. Avaliou-se o conteúdo de potássio, fósforo e nitrogênio e calcularam-se as eficiências de uso do potássio pelas plantas e eficiência de uso do nitrogênio. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($p > 0,01$). A produtividade do milho foi superior nos tratamentos com a cobertura vegetal de Gliricídia combinada com a aplicação de potássio. Os parâmetros de eficiência do uso do potássio pelo milho apresentaram diferença significativa nas combinações de Gliricídia + K e nas combinações de Gliricídia + K + AH, o mesmo ocorreu nas eficiências do uso do nitrogênio pelo milho, havendo decréscimo nos tratamentos com a aplicação de K. A Gliricídia promoveu maior eficiência no uso do potássio pelo milho.

Palavras chave: produtividade, absorção, eficiência do uso do nitrogênio.

ABSTRACT

The use of vegetation cover improves the physical and chemical quality of the soil allowing greater increase in organic matter and more efficient use of nutrients by plants. The adequate supply of potassium for plants promotes increased productivity and produces effect on the absorption of other nutrients. Thus, the aim of this study was to determine the effects of vegetation cover of *Gliricidia* associated with application of humic acid and potassium fertilizer on the plants potassium use efficiency. The experiment was conducted in a culture system in alleys, planted with leguminous tree *Gliricidia* (*Gliricidia sepium*), located in the town experimental area camp city of Brejo-MA (3rd 38 'south latitude and 42 ° 58' west longitude). It used the hybrid corn AG 7088 cultivated between the lines of pulses, with the application of 20 t / ha of vegetation cover of *Gliricidia*, 78 kg / ha of potassium chloride (KCL) and 500 l / ha of humic acid. We used the 2x2x2 factorial (2 combinations of *Gliricidia*, 2 potassium and 2 humic acid) arranged in a randomized block design with four replications, with the following treatments: 1- Potassium (K), 2- *Gliricidia* (G) , 3- humic acid (HA), 4- CONTROL, 5- K + G, 6- K + AH, 7- G + AH and 8- G + AH + K. The corn plants were collected in the flowering stage and maturation is collecting three plants at each stage. The plants were separated into stem, leaves and reproductive part and then dried, crushed and subjected to digestion in nitric acid and perchloric to evaluate the nutrient content calculated the productivity of maize through the grain mass. We evaluated the content of potassium, phosphorus and nitrogen and the efficiencies were calculated potassium use by plants and nitrogen use efficiency. The results were submitted to analysis of variance and the means compared by Tukey test ($p > 0.01$). The corn production was higher in the treatments with plant cover *Gliricidia* combined with the application of potassium. The parameters of efficiency of the corn potassium use significant difference in combinations of *Gliricidia* + K and combinations of *Gliricidia* + K + AH, it occurred in efficiency of the use of nitrogen by corn, with decrease in treatments with the application of K. *Gliricidia* promoted greater efficiency in the use of potassium for corn.

Keywords: productivity, absorption, efficient use of nitrogen.

LISTA DE TABELAS

Tabela1.	Atributos químicos do solo na profundidade de 0 – 20 cm antes da instalação	22
Tabela 2.	Componentes da produtividade do milho híbrido AG 7088, em função das diferentes combinações de Potássio (K), Gliricídia (G) e Ácido Húmico (AH).	28
Tabela 3.	Eficiência agronômica do K (kg kg ⁻¹), eficiência de translocação do K (kg kg ⁻¹), eficiência de fertilização (kg kg ⁻¹): eficiência de absorção do K + eficiência de utilização do K.	30
Tabela4.	Eficiência de recuperação do N orgânico (ERNO), eficiência de recuperação do N inorgânico (ERNI), eficiência agronômica do N (EAN) e remobilização do K.	32
Tabela 5.	Teor de nitrogênio (N) em toda a planta na maturação, teor de fósforo (P) em toda a planta na maturação e teor de potássio (K) nas folhas, colmo e grãos na maturação.	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Potássio	14
2.2 Eficiência do uso do potássio	16
2.3 Relação potássio: nitrogênio	17
2.4 Gliricídia	19
2.5 Ácido húmico.....	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 Localização e clima.....	21
3.2 Caracterização e manejo da área	22
3.3 Tratamentos	23
3.4 Amostragem e parâmetros avaliados	23
3.5 Produtividade	24
3.6 Teores de nutrientes nas plantas de milho	24
3.7 Eficiências.....	25
3.8 Análises estatísticas	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Produtividade do milho híbrido AG 7088	27
4.2 Eficiências	29
4.3 Eficiência do uso do N e remobilização do potássio.....	30
4.4 Teores de nutrientes na planta	32
5. CONCLUSÕES.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

O potássio (K) é um nutriente essencial ao desenvolvimento vegetal devido a sua atuação em diversas reações metabólicas nas plantas. Apesar de não formar compostos específicos, o K desempenha um papel particularmente importante em vários processos fisiológicos vitais para o crescimento, rendimento, qualidade e resistência de todas as culturas (ZÖRB et al., 2014).

O fornecimento adequado de potássio é imprescindível para se alcançar qualidade e desenvolvimento adequado das plantas, levando em consideração a habilidade das diferentes culturas e as características do solo. Estudos feitos por vários autores (BORGES e MALLARINO, 2001; VYN e JANOVICEK, 2001; ARABI et al., 2002; SCHNEIDER et al., 2003; REHM e LAMB, 2004; HUANG et al., 2009; ROSHANI e NARAYANASAMY, 2010; NIU et al., 2012), têm-se concentrado na resposta da cultura à adubação afetada pelas propriedades do solo, modo de aplicação e sistemas de plantio.

No solo, o potássio é usualmente descrito como: potássio na solução do solo; potássio trocável, que representa aquele retido nas cargas elétricas negativas dos colóides; o potássio presente na rede cristalina de minerais primários, como micas e feldspatos, secundários, como illita, bem como o potássio fixado nas entre camadas de argilominerais do tipo 2:1 expansivo como a vermiculita e a esmectita (CURI et al., 2005). O potássio é absorvido pelas plantas na forma iônica K^+ e encontra-se prontamente disponível para a absorção na solução do solo. Apesar de estar disponível para as plantas, a quantidade de potássio contido na solução do solo é razoavelmente pequena, exigindo assim o fornecimento deste nutriente ao solo por meio da adubação potássica.

Em solos tropicais, a disponibilidade e a capacidade de suprimento de potássio dependem da presença de minerais primários e secundários, da aplicação de fertilizantes e da capacidade de troca catiônica (CTC), além da ciclagem do nutriente pelas plantas (ROSOLEM et al., 2012). Levando em consideração que a maioria dos solos brasileiros são altamente intemperizados, com predominância de argilominerais do tipo 1:1 como a caulinita, gibsitita e óxidos de ferro, possuindo assim pequena quantidade de minerais fornecedores de K. Nessas condições, as reservas deste

nutriente são insuficientes para suprir a quantidade de potássio requerido pelas culturas, devido às características físicas e químicas desses solos. Os quais são estruturalmente frágeis e suscetíveis à coesão e a perdas de nutrientes, situação que pode ser modificada com o aumento do teor de matéria orgânica, mesmo nas frações mais lábeis (MOURA et al., 2009).

O uso de cobertura vegetal a fim de aumentar o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) é uma alternativa importante para melhorar a adsorção dos nutrientes no solo, aumentando a eficiência de absorção destes nutrientes pelas plantas. Além de proteção e melhoria nas propriedades físicas do solo, a cobertura vegetal possui a capacidade de fornecer nutrientes ao solo em seu processo de decomposição (AITA & GIACOMINI, 2003), as leguminosas são as mais utilizadas por suas habilidades em ciclagem de nutrientes. Destacando-se a Gliricídia (*Gliricidia sepium*), que é uma espécie arbórea e detém relevantes atributos como rusticidade e tolerância a podas drásticas sazonais, com acelerada e total regeneração da copa, que é particularmente rica em nitrogênio (ALMEIDA et al., 2008).

Além da cobertura vegetal, as substâncias húmicas têm sido usadas como forma de melhorar a absorção dos nutrientes. Os efeitos das substâncias húmicas nas plantas estão relacionados com o aumento na absorção de nutrientes, devido à influência na permeabilidade da membrana celular e ao poder quelante, bem como à fotossíntese, à formação de ATP, aminoácidos e proteínas (VAUGHAN et al., 1985). Tais características são importantes nos processos de absorção e transporte do potássio nas plantas, os quais dependem da permeabilidade da membrana para maior mobilidade na planta. Assim, a eficiência de utilização do potássio pelas plantas depende das condições de solo, das reservas e do fornecimento adequado de K, bem como sua interação com outros nutrientes.

A hipótese do trabalho é de que a eficiência na utilização do potássio pelas plantas é melhorada por meio da adição de resíduos da Gliricídia associada à aplicação de substâncias húmicas e que há uma interação entre a disponibilidade de potássio no solo e a absorção do nitrogênio pelas plantas. Objetivou-se determinar os efeitos da cobertura vegetal de Gliricídia associada à aplicação de ácido húmico e adubação potássica na eficiência de uso do potássio pelas plantas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Potássio

O potássio (K) é o cátion mais abundante no citoplasma, contribuindo sobremaneira para a manutenção do potencial osmótico das células e tecidos, atuando como ativador enzimático e como neutralizador de macromoléculas aniônicas (MARSCHNER, 1995). Devido às suas funções fundamentais na planta, a nutrição potássica possui impactos sobre a resistência das culturas a praticamente todos os estresses bióticos e abióticos, em ambas as formas, diretas e indiretas (ZÖRB et al., 2014).

Constitui-se como um dos principais elementos minerais para o crescimento das plantas e desenvolvimento normal, e desempenha um papel vital em muitos processos fisiológicos incluindo a manutenção de saldos de carga, pressão de turgescência do tecido, processos de transporte de elétrons e fotossíntese, a regulação do movimento estomático, ativação de numerosas enzimas e na síntese de proteínas (DOBERMAN, 2001; OOSTERHUIS et al., 2014). Ele também melhora a qualidade física da cultura, resistência a doenças e qualidade do produto (HARRIS, 1997; OOSTERHUIS et al., 2013).

De acordo com Wang et al. (2015), a deficiência de potássio (K) nas grandes áreas de terra arável em todo o mundo tornou-se uma limitação para o desenvolvimento sustentável da agricultura e ameaça a segurança alimentar mundial. Apesar da carência deste nutriente no solo, a aplicação de K nos campos agrícolas em todo o mundo é menor do que o nitrogênio (N). Smil (1999) relatou que, em contraste com o nitrogênio(N) e o fósforo (P), fertilizantes potássicos são aplicados a uma taxa muito baixa, e menos de 50% do K retirado pelas culturas é reabastecido. Wang et al. (2015) afirmam que a deficiência de potássio reduz significativamente o rendimento das culturas, de modo que os fertilizantes potássicos devem ser aplicados na maioria das áreas de produção agrícola.

O potássio é absorvido pelas plantas na forma catiônica (K^+), constituindo-se um ativador enzimático e importante na manutenção do pH em níveis adequa-

dos para o funcionamento da célula (MARSCHNER, 1995). Apesar de este íon estar presente no solo em grandes quantidades, a sua disponibilidade para as plantas é relativamente baixa, cerca de 2% tornam-se disponíveis para absorção, isso se deve a sua forma de ocorrência no solo.

No solo, o potássio está presente nas formas: K na solução do solo, extraído com água; K trocável, extraído com NHPAc, $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$ (Mehlich 1) ou resina, que se refere ao elemento fracamente retido na capacidade de troca de cátions (CTC) do solo; K não trocável, extraído com HNO_3 1 mol L^{-1} a quente, que corresponde àquele retido na estrutura de minerais (K estrutural), tais como os feldspatos potássicos e as micas, bem como ao K fixado nas entrecamadas de argilominerais expansivos como a vermiculita e a esmectita; e K total, extraído com HF (SPARKS, 2000; CURI ET AL., 2005).

O suprimento de K para as plantas advém da solução e dos sítios de troca dos colóides do solo, que estão em equilíbrio com o K não trocável e com o K estrutural dos minerais (SPARKS & HUANG, 1985). No entanto, esse equilíbrio só é possível em solos com argila 2:1, divergindo das condições da maioria dos solos brasileiros, como é o caso dos solos tropicais intemperizados, que possuem mineralogia da fração argila caracterizada pela predominância de argilominerais do tipo 1:1. Esses solos são relativamente pobres em minerais contendo K e, conseqüentemente, apresentam baixa capacidade de suprimento deste nutriente para as plantas (SÁNCHEZ, 1994). Exigindo assim o suprimento deste nutriente ao solo, como relatam Nascimento & Loureiro (2004) a respeito da complementação de potássio em solos deficientes, o qual propicia melhoria no rendimento das colheitas e torna o vegetal mais resistente a pragas e doenças.

A disponibilidade de potássio no solo depende das propriedades físicas e químicas do solo, da interação com outros nutrientes e do sistema de cultivo. Alguns estudos buscam relacionar o rendimento das culturas ao conteúdo de potássio no solo e a influência dos tipos de cultivos e as condições edafoclimáticas na presença e disponibilidade de potássio no solo (P. He et al. 2015). Dessa forma, para prover a sustentabilidade da produção é necessário lançar mão da gestão integrada, incluindo a aplicação de K (QIU et al., 2014).

Como uma das estratégias para resolver o problema da deficiência de K para a produção agrícola, tem sido proposta pelo melhoramento genético, a eficiência de produção e utilização do K (EUK). Tendo em vista que a deficiência de potássio pode causar danos severos às plantas, desde amarelecimento das folhas mais velhas até a morte da planta. Assim, um suprimento inadequado de potássio ocasiona o funcionamento irregular dos estômatos, podendo diminuir a assimilação de CO₂ e a taxa fotossintética e, conseqüentemente, prejudicar a produção (SILVEIRA e MALAVOLTA, 2006). Plantas deficientes em potássio apresentam redução drástica no número de folhas e frutos, menor diâmetro do tronco, pecíolo inclinado para baixo e clorose na forma de manchas marginais nas folhas, que então evoluem para uma necrose (TRINDADE, 2000).

2.2 Eficiência do uso do potássio

O uso eficiente de nutrientes é a capacidade relativa de plantas para produzir quantidades máximas de matéria seca ou de rendimento por cada aumento de nutrientes acumulado (A. SAYKHUL et al. 2013).

A eficiência de utilização de nutrientes pode ser dividida em dois grupos de fatores vegetais inter-relacionados, denominados de eficiência de absorção e (b) eficiência de utilização (SATTELMACHER et al., 1994; SWAIDER et al., 1994). A eficiência de absorção do K é a absorção de nutrientes em relação ao fornecimento de K, e os genótipos podem diferir nos parâmetros morfológicos da raiz, como o comprimento e densidade radicular ou a frequência de pêlos radiculares (WANG e CHEN, 2012), ou em parâmetros fisiológicos de raiz, tais como a capacidade de alta afinidade na absorção do K ou a capacidade de alterar a disponibilidade de K na rizosfera (BROUDER e CASSMAN, 1990; YANG et al, 2011). E a eficiência de utilização do potássio (EUK) é a capacidade relativa de plantas para produzir quantidades máximas de matéria seca ou de rendimento para cada unidade de K acumulado (DONG et al., 2015).

Em culturas como o milho e outros cereais que requerem grandes quantidades de potássio é essencial avaliar a eficiência no uso do potássio por essas culturas. O milho é relativamente sensível à deficiência de K (SHARMA et al., 2010; Niu

et al., 2011; He et al., 2012). Entretanto, a deficiência de K pode efetivamente ser mitigada com a melhoria na eficiência do uso do K (ARDJASA et al., 2002; ZHANG et al., 2010). Mallarino e Higashi (2009) relatam que a maior absorção de K pelos cereais é dividida entre a palha e os grãos, e as concentrações de K nas palhas e grãos pode indicar se a quantidade de K é deficiente ou suficiente. No entanto, o K recuperado por partes de plantas acima do solo é assimilado principalmente na palha e não para o grão (JOUANY et al., 1996).

A remoção contínua de palha dos campos agrícolas irá, portanto, acelerar o esgotamento do K no solo (DIEROLF e YOST, 2000). Nesse contexto, uma compreensão do uso do K e a eficiência no sistema solo cultura são, portanto, essenciais para o desenvolvimento de uma adubação potássica sustentável (QIU et al., 2014).

2.3 Relação potássio: nitrogênio

A disponibilidade de nutrientes em doses adequadas para as plantas é fator determinante para o desenvolvimento vegetal satisfatório, além de características do solo, cultura e necessidade nutricional é imprescindível conhecer as interações existentes entre os nutrientes e quais os seus efeitos para o desenvolvimento adequado das culturas.

Segundo Malavolta (1980), esse processo de interação ocorre quando dois elementos se combinam pelo mesmo sítio ativo do carregador. Essa interação poderá ocorrer no solo, considerando-se as diversas formas de equilíbrio e de transporte do íon, na rizosfera, nas membranas e dentro das plantas (ROSOLEM, 2005). Para Bull (1993), a interação entre nitrogênio e potássio obedece a Lei do Mínimo, pois quando o nitrogênio é aplicado em quantidade suficiente para haver elevação da produção, essa passa a ser limitada pelos baixos teores de potássio aplicados ao solo.

Dentre os nutrientes essenciais, o nitrogênio é o absorvido em maior quantidade pelo milho (CANTARELLA e DUARTE, 2004), cujo teor foliar considerado adequado está entre 27,5 a 32,5 g/kg. O metabolismo do nitrogênio nas plantas requer adequadas quantidades de potássio no citoplasma (XU et al., 2002), constituindo-se importante para a produção de aminoácidos e para a produtividade das

culturas. Alguns trabalhos tratam da relação do potássio e nitrogênio em diversas culturas (PAULETTI, 1998; FOLONI et al., 2009) e da participação do potássio na fase final do metabolismo do nitrogênio (MARSCHNER, 1995), no entanto outros trabalhos relataram que o potássio está envolvido no início dos processos metabólicos do nitrogênio, como incorporação do nitrogênio mineral e especialmente no nitrato redutase (RUAN et al., 1998; 1999).

Há estudos relacionados à fixação biológica de nitrogênio (FBN), a qual é particularmente sensível ao estresse ambiental, como deficiência de nutrientes (DIVITO et al., 2014). Pacyna et al. (2006) afirmam que nutrientes como fósforo (P), potássio (K) e o enxofre (S) podem afetar diretamente a FBN, e desse modo o crescimento de nódulos, a formação de nódulos e funcionamento. Duke et al. (1980) relataram um efeito direto do K no FBN medida pela sua influência no crescimento e função de nódulo, a atividade das enzimas envolvidas na assimilação de amônia, conversão de aminoácidos e no fornecimento de carbono. Alguns autores demonstraram o envolvimento direto de K na ativação da enzima da nitrogenase (DUKE et al., 1980; LYND et al., 1981; BARTA, 1982; LYND e ANSMAN, 1989).

Entretanto, experiências com diferentes abordagens para determinar fixação do N₂ concluiu que a oferta K afeta o rendimento da planta, mas não a atividade da nitrogenase (MENGEL et al., 1974; FEIGENBAUM e MENGEL de 1979; DUKE et al., 1980; COLLINS e DUKE, 1981; BARTA, 1982; COLLINS e LANG, 1985; DIVITO et al., 2014).

Diversos estudos feitos com diferentes culturas e tipos de solo constataram interação positiva entre o potássio e o nitrogênio (MONTEIRO et al., 1980; CARVALHO et al., 1991; MARTIM et al., 1997; LAVRES JUNIOR e MONTEIRO 2003). Em trabalhos realizados com a cultura do arroz, Farinelli et al. (2003) observaram que a produção do arroz decresceu a medida que houve a aplicação de potássio, constatando interação entre os nutrientes. Cherney et al. (2004), ao estudar a interação de nitrogênio e potássio em cultivo sucessivo de capim *Phalaris arundinaceasem* durante cinco anos, constataram que houve redução acentuada do potássio após múltiplos anos de cultivo. Alguns autores constataram efeito negativo do potássio na produção radicular (KATTERER et al., 1998; CHERNEY et al., 2004).

Em cultivo com milho foi verificado que baixos teores de potássio com altos teores de nitrogênio favorecem o acamamento (LOUÉ, 1978). Keeney et al. (1967) verificou que o potássio aumentou a produção de milho, a eficiência do nitrogênio e a absorção total desse nutriente pela cultura, melhorando assim o conteúdo de proteína no grão.

2.4 Gliricídia

A Gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.) é uma leguminosa perene, de crescimento rápido e originária do México. É utilizada na recuperação de solos, em sistemas agroflorestais, na alimentação animal, como fonte de madeira e como planta medicinal (DRUMOND & CARVALHO FILHO, 2005).

A Gliricídia se destaca por apresentar rápido crescimento, alta capacidade de regeneração, resistência à seca e facilidade em propagar-se sexuada e assexuadamente (Oliveira, 2012). É capaz de aportar quantidades significativas de biomassa ao solo através da queda de folheto (SILVA, 2004). É considerada, portanto, uma espécie ideal para o cultivo em aléias (PALM et al., 2001; VANLAUWE et al., 2005). É uma leguminosa que possui a propriedade de fixar nitrogênio atmosférico (BALA et al., 2003) e de produzir biomassa em condições de baixa disponibilidade hídrica, melhor a fertilidade do solo e aumenta, quando usada como adubo verde, a produtividade das culturas agrícolas associadas (BARRETO; FERNANDES, 2001).

Devido à habilidade em fornecer resíduos vegetais, adicionando matéria orgânica ao solo, a Gliricídia é recomendada para solos de estrutura frágil, propenso a coesão e deficientes em nutrientes. Muitos estudos com o retorno de nutrientes através da palha tem sido feito para avaliar o quanto de nutriente é recuperado mantendo a palha de diferentes culturas no solo. De acordo com Wu et al. (2011) o potássio existe como K^+ nas células dos tecidos das plantas e pode ser facilmente extraído por água. Taxas de liberação cumulativa de potássio da palha de culturas foram 91,98 - 96,24% após 90 dias de incorporação, enquanto as de C, N e P foram de 48,29 - 66,55%, 48,35 - 67,49% e 54,83 - 75,46%, respectivamente, calculadas em diferentes modelos de cultivo.

Os estudos relacionados aos efeitos da cobertura vegetal de *Gliricídia* na eficiência do uso do potássio por plantas são escassos, no entanto há numerosos estudos que relacionam à cobertura vegetal e/ou a palha como importante elemento na diminuição das perdas de N, no aumento do sequestro de carbono (C) e na melhoria da qualidade do solo (YADVINDER e SINGH et al., 2004; PLANTE et al., 2006; LIU et al., 2011). Portanto, a retenção de palha em campos agrícolas pode retornar uma quantidade considerável de K ao solo (ZHAO et al. 2014).

2.5 Ácido húmico

As substâncias húmicas (SH), compostas por ácidos húmicos, fúlvicos e huminas são macromoléculas de alto peso molecular, que podem ser reconhecidas por receptores da membrana (membrana plasmática), que ao acessarem o interior da célula vegetal podem regular o metabolismo vegetal (CANELLAS et al., 2006).

Essas substâncias são os principais componentes da matéria orgânica do solo (85 a 90 %) e originam-se a partir de transformações bioquímicas de compostos como lignina, celulose, hemicelulose, açúcares, aminoácidos, etc. (SILVA & MENDONÇA, 2007). Estas moléculas heterogêneas e complexas, onipresentes no ambiente, podem produzir vários efeitos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos em plantas superiores (VAUGHAN e MALCOM, 1985; CHEN e AVIAD, 1990; EYHERAGUIBEL et al., 2008).

Nardi et al. (2002); Zandonadi et al. (2007) relataram que as substâncias húmicas (SH) podem afetar a fisiologia das plantas, por exercer efeitos semelhantes aos hormônios, e influenciar na fotossíntese (FERRETTI et al., 1991; BETTONI et al., 2014), também na ativação de algumas enzimas (VAUGHAN et al., 1985; BETTONI et al., 2014), e no aumento da disponibilidade mineral (VARANINI e PINTON, 2001; MURILLO et al., 2005; EYHERAGUIBEL et al., 2008; BETTONI et al., 2014) e / ou no estímulo dos micro-organismos benéficos do solo (LINDERMAN e DAVIS, 2001; BETTONI et al., 2014).

As substâncias húmicas afetam as plantas por meio da regulação dos hormônios de crescimento das raízes (MORA et al., 2012). Recentemente, foram mostrados os efeitos das SH sobre o metabolismo secundário (SCHIAVON et al.,

2010), bem como os seus efeitos promotores em plantas sob condições de estresse salino (AYDIN et al., 2012; GARCÍA et al., 2014). As substâncias húmicas além de atuarem no crescimento das plantas, possuem influência no teor de nutrientes do solo. A adição de SH aumenta a absorção de nutrientes (LINEHAN, 1978; EYHERAGUIBEL et al., 2008).

Os efeitos das substâncias húmicas diferem de acordo com o material de origem dessas substâncias e os métodos de extração. Esses efeitos também podem diferir entre espécies vegetais, que podem responder diferentemente em cada estágio de desenvolvimento (SANTOS & CAMARGO, 1999). Os ácidos húmicos podem atuar no aumento de bactérias diazotróficas introduzidas no interior da planta e, consequentemente, no incremento dos efeitos benéficos sobre a planta hospedeira (MARQUES JÚNIOR et al., 2008).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e clima

O experimento foi conduzido na área experimental do povoado Acampamento, localizado no município de Brejo-MA, Brasil (3° 38' de latitude sul e 42° 58' de longitude oeste). O clima da região é tropical com estação seca (Cw), segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é superior a 27 °C, com máximas de 38 °C e mínimas de 21 °C e precipitação anual média de 1.200 a 1.400 mm (GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO, 2002). A região é caracterizada por um período seco de seis a sete meses e um período chuvoso, de cinco a seis meses, dentre os quais dois deles podem ser considerados muito chuvosos com mais de 40% da precipitação pluvial total. Tendo como vegetação de maior abrangência o cerrado, com predominância Latossolo Amarelo e com presença significativa de Argissolos (Atlas do Maranhão, 2002).

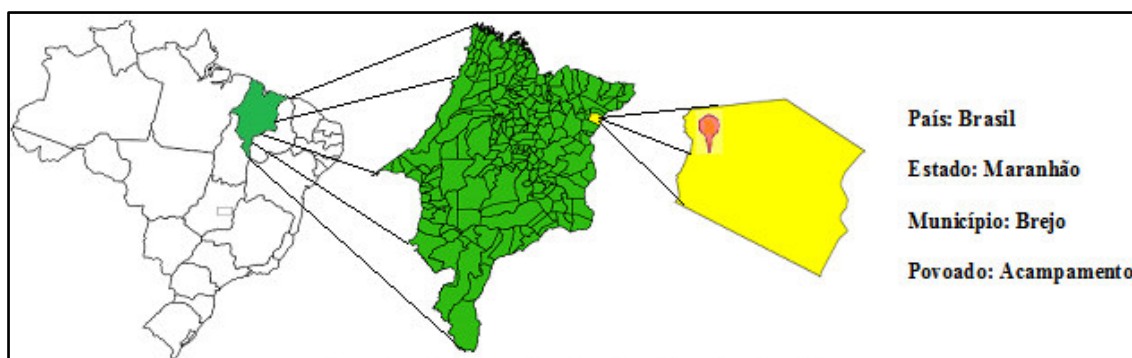


Figura 1 Mapa da área de estudo (FONTE: MACEDO, 2014)

3.2 Caracterização e manejo da área

O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso, apresentando topografia plana (inclinação $<1\%$). Para correção da acidez foram aplicadas, em superfície, 2 t ha^{-1} de um corretivo com PRNT igual a 50%. A área em estudo possui 1280 m plantada com a leguminosa arbórea *Gliricídia* (*Gliricidia sepium*), disposta em um sistema de cultivo em aléias, no espaçamento de 4,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Antes do plantio do milho foi realizada a análise química do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos do solo na profundidade de 0 – 20 cm antes da instalação do experimento.

Profundidade 0 – 20 cm	MO g kg^{-1}	pH (CaCl_2)	P (resina) mg dm^{-3}	K	Ca	Mg	$\text{H}^+ + \text{Al}$	Al	SB	CTC	V%
				mmol $_c \text{ dm}^{-3}$							
	25,0	4,2	34,5	0,09	1,96	0,38	5,10	0,30	2,43	7,53	32,2

MO = Matéria orgânica V = Saturação de bases CTC = Capacidade de troca de Cátions

No início do período chuvoso do ano de 2015 foi realizada a poda da leguminosa *Gliricídia*. Seus galhos foram pesados e foram separados 1280 kg de matéria verde para serem utilizados nos tratamentos com *Gliricídia*. No dia 03 de março

do ano de 2015 foram semeadas entre as fileiras da leguminosa Gliricídia cinco fileiras de milho (*Zea mays* L.), híbrido AG 7088, nas parcelas de 10x4 m, em um espaçamento de 0,80 m entre fileiras e 0,30 m entre plantas. Na adubação de plantio foram aplicados 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅+ 60 kg ha⁻¹ de N +25 kg de ZnSO₄ ha⁻¹.

3.3 Tratamentos

O experimento foi delineado em blocos casualizados com 8 tratamentos e quatro repetições em um arranjo fatorial 2x2x2, sendo 2 níveis de potássio, 2 níveis de ácido húmico e o solo com e sem cobertura de Gliricídia. Os tratamentos foram:

- 1- Potássio (K)
- 2- Cobertura de Gliricídia (G)
- 3- Ácido húmico (AH)
- 4 – CONTROLE
- 5 – K + G
- 6 – K + AH
- 7 – G + AH
- 8 - K + G + AH

Foram realizadas duas adubações potássicas, no plantio estágio v0 e em cobertura no estágio v4 do milho, aplicando-se 78 kg/ha de KCL nos tratamentos que receberam potássio. Os tratamentos com Gliricídia e ácido húmico receberam apenas uma aplicação, a cobertura de Gliricídia foi aplicada antes do plantio do milho nos tratamentos correspondentes, utilizou-se 20000 kg/ha de biomassa de Gliricídia. Os tratamentos correspondentes ao ácido húmico receberam 500 l/há com aplicação feita no estágio v8 da cultura do milho.

3.4 Amostragem e parâmetros avaliados

As plantas de milho foram coletadas em duas fases, no florescimento e na maturidade fisiológica para serem posteriormente avaliados os teores de nutrientes. A primeira coleta foi feita no estágio R1, coletou-se três plantas em cada parcela útil

de 8x2 m e a segunda coleta feita na maturidade fisiológica, quando os grãos na espiga alcançaram o máximo de acúmulo de peso seco e vigor que ocorre cerca de 50 a 60 dias após a polinização, foram coletadas três plantas por parcela útil de 8x2 m. Na fase da maturidade fisiológica foram coletadas dez espigas de milho para avaliar os parâmetros número de grãos por espiga, fileiras de grãos por espiga, massa de 100 grãos e produtividade.

Após a coleta, as plantas de milho foram separadas em colmo, folhas e parte reprodutiva. Em seguida, o colmo, as folhas e a parte reprodutiva foram postos em envelopes, identificadas e levadas à estufa de circulação fechada onde permaneceram por três dias a 60°C. Após a secagem, as plantas foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de 1mm de diâmetro (40mesh) e submetidas a análise química para determinação dos teores de nutrientes presentes no colmo, nas folhas e na parte reprodutiva.

3.5 Produtividade

Para avaliar a produtividade do milho foram colhidas 10 espigas por parcela, as espigas foram despalhadas e seus grãos pesados para determinação da massa total de grãos. A produtividade foi calculada a partir da massa total de grãos em cada parcela útil de 8 x 2 m e pela quantidade de plantas/ha.

3.6 Teores de nutrientes nas plantas de milho

As concentrações de N foram determinadas após a digestão com $H_2SO_4-H_2O_2$, segundo a metodologia de Tedesco et al. (1995) e, a partir da digestão nitroperclórica (HNO_3-HClO_4) foram determinados os teores de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn por Espectrometria de Emissão Óptica em Plasma Indutivamente Acoplado.

3.7 Eficiências

Para determinar a eficiência de uso do potássio por plantas, foram calculadas:

Remobilização do Potássio (RK, em kg ha^{-1}):

$$RK = CK_f - CK_o \quad (1)$$

onde:

CK_f (kg ha^{-1}) é o conteúdo total de K nas folhas e colmos durante a pendoamento; CK_o (kg ha^{-1}) é o conteúdo total de K nas folhas e colmos durante o maturação (MI et al., 2007);

A eficiência de remobilização de K (%) = (remobilização K/K acumulado no florescimento) x 100.

Eficiência Agronômica do Potássio (EAK, em kg kg^{-1}):

$$EAK = \frac{(Pf - Po)}{Q} \quad (2)$$

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);

A eficiência de translocação = ((conteúdo do nutriente na parte aérea)/(conteúdo total do nutriente na planta)) 100 (Li et al., 1991). (3)

A estimativa da eficiência da fertilização potássica (EFK) baseou-se no método descrito por Moll et al. (1982):

$$EFK = EAK \times EUK \quad (4)$$

Sendo:

EAK = K total na planta na maturação/N suprido na adubação e;

EUK (kg de grãos/kg de K total na planta) = grãos produzidos/K total na planta na maturação.

Para o nitrogênio foi calculado a eficiência de recuperação do N orgânico e inorgânico de acordo com o cálculo descrito por Roberts (2008) e a eficiência agrônômica de N. Além do conteúdo de nitrogênio, fósforo e potássio na maturação.

3.8 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância, após checagem das pressuposições de normalidade e homocedasticidade, com o auxílio do software estatístico Infostat (DI RIENZO et al., 2008). As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p > 0,01$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produtividade do milho híbrido AG 7088

A produtividade do milho AG 7088 no presente estudo variou de 2,01 a 5,21 t/ha (Tabela 2). Os tratamentos G, G+K e G+AH obtiveram maiores produtividades não apresentando diferença estatística entre si, porém diferindo estatisticamente do tratamento AH e do tratamento CONTROLE, que possuem valores inferiores. Valores médios de produtividade foram observados nos tratamentos G+K+AH, K+AH e K com 4,61–3,50–12 respectivamente, os quais não apresentaram diferença mínima significativa em relação os tratamentos AH e o tratamento CONTROLE.

A presença de biomassa da leguminosa Gliricídia colaborou para valores mais elevados de produtividade, fato descrito por Marin et al. (2007) em trabalhos com a incorporação de 20 Mg ha⁻¹ de ramas de Gliricídia ao solo na microrregião de Brejo paraibano, obtendo aumento acentuado na produtividade. Estudos feito por Ferreira et al. (2001) corroboram com esses resultados. Esse comportamento pode ser explicado pela alta qualidade de resíduos que a Gliricídia possui e a quantidade de nitrogênio que favorece o aumento da produtividade.

O parâmetro número de grãos/espiga apresentou maiores valores nos tratamentos com a presença da leguminosa Gliricídia, com valores médios de 532,90, 525,75 e 523,48 nos tratamentos G, G+K+AH e G+AH, respectivamente. Estes tratamentos não diferiram estatisticamente entre si, houve diferença somente quando comparados com os tratamentos AH e CONTROLE. Para o peso de 100 grãos foi observado valores acentuados nos tratamentos G, G+K+AH e G+K, apresentando diferença estatística em relação ao tratamento AH. É possível observar neste parâmetro, que o tratamento AH apresentou valor inferior, se comparado aos tratamentos com a combinação da biomassa de Gliricídia e potássio. Resultado semelhante foi obtido por Verlinden et al. (2009) quando cultivaram milho aplicando substâncias húmicas. Estudos feitos por Rodrigues et al. (2014) e Castillhos et al. (2005) corroboram com estes resultados. No parâmetro fileiras de grãos/espiga constatou-se

maior quantidade de fileiras de grãos na combinação de G+K+AH, com 18 fileiras. Apresentando diferença estatística dos tratamentos K+AH, K, CONTROLE e AH.

Tabela 2. Componentes da produtividade do milho híbrido AG 7088, em função das diferentes combinações de Potássio (K), Gliricídia (G) e Ácido Húmico (AH).

Tratamentos	Nº de grãos/espiga	Fileiras de grãos/espiga	Peso de 100 grãos (g/kg)	Produtividade (t/há)
G	532,90 a	17,80 ab	26,90 a	5,21 a
G+K+AH	525,75 a	18,00 a	26,05 a	4,61 ab
G+AH	523,48 a	17,80 ab	24,88 ab	5,10 a
G+K	515,00 ab	17,85 ab	27,17 a	5,18 a
K+AH	376,00 abc	17,30 bc	25,41 ab	3,50 abc
K	372,08 abc	15,90 c	23,92 ab	3,12 abc
CONTROLE	344,80 bc	15,75 c	23,49 ab	2,12 bc
AH	314,05 c	15,40 c	18,96 b	2,01 c
CV %	12,62	3,21	8,47	26,26

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p>0,01$).

A Gliricídia é uma leguminosa amplamente utilizada para cobertura vegetal em sistemas agrícolas, principalmente em cultivos em aléias, devido a sua alta qualidade de resíduos. Característica que contribui para melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, resultando em sistemas produtivos eficientes, quanto ao manejo e utilização de nutrientes, consequentemente aumentando a produtividade. Neste estudo, para os parâmetros de produtividade avaliados (tabela 2), a presença de biomassa de Gliricídia contribuiu para o aumento dos valores desses parâmetros, ou seja, a cultura foi mais eficiente em absorver nutrientes e metaboliza-los nos tratamentos que receberam a biomassa da leguminosa Gliricídia.

Nos tratamentos que continham AH, houve valores baixos para todos os parâmetros produtivos avaliados, fato que pode estar associado a diversos fatores como época de aplicação e modo do ácido húmico, dose aplicada e ao material de origem do AH. Estudos a respeito dos benefícios do ácido húmico para as plantas ainda não estão completamente elucidados.

4.2 Eficiências

A eficiência agronômica é a produção econômica obtida (grãos, no caso de culturas anuais) por unidade de nutriente aplicado. Também chamada de eficiência econômica, pois determina quanto será obtido na produção por unidade de nutriente aplicado. A eficiência agronômica do K nos tratamentos G+K+AH e G+K foi de 31,97- 39,19 respectivamente, apresentando diferença estatística quando comparadas aos tratamentos K e K+AH que possuem valores médios de 17,52-12,81 respectivamente (tabela 3). Pode-se observar que a presença da leguminosa *Gliricídia* contribuiu para o uso mais eficiente do K, entretanto, os tratamentos que não receberam a biomassa da leguminosa obtiveram valores inferiores de eficiência agronômica do K.

A eficiência de translocação refere-se à quantidade de nutriente que foi translocado para as diferentes partes da planta, a qual, neste estudo variou de 64,84 a 84,75. Foram encontrados maiores valores, ou maior eficiência de translocação nos tratamentos G+K, K+AH e K, os quais não diferem estatisticamente entre si, porém se comparados aos tratamentos G, G+K+AH, CONTROLE e AH, constata-se diferença mínima significativa. Para este parâmetro, detectaram-se valores acentuados quando houve a aplicação do K, no entanto, a presença da biomassa de *Gliricídia* contribuiu substancialmente para maior eficiência de translocação.

A eficiência de fertilização que é representada pela eficiência de absorção + a eficiência de utilização do K, apresentou maior valor no tratamento G+K diferindo estatisticamente dos tratamentos G+K+AH, K+AH e K, havendo também diferença dos tratamentos K+AH e K em comparação ao tratamento G+K+AH. Já a eficiência

de utilização do K, apresentou diferença estatística entre os tratamentos G+K+AH e K com valores máximo (129,97) e mínimo (66,09) de eficiência de utilização, respectivamente. A eficiência de utilização do K neste estudo apresentou valores bastante expressivos se comparados a outros trabalhos, como o de Niu et al. (2011).

Tabela 3. Eficiência agronômica do K (kg kg⁻¹), eficiência de translocação do K (kg kg⁻¹), eficiência de fertilização (kg kg⁻¹): eficiência de absorção do K + eficiência de utilização do K.

Tratamentos	Eficiência agronômica	Eficiência de translocação	Eficiência de fertilização	
			Eficiência de absorção	Eficiência de utilização
G	-	77,85 b	-	-
G+K+AH	31,97 a	72,89 b	25,75 b	129,97 a
G+AH	-	79,32 ab	-	-
G+K	39,19 a	82,21 a	33,78 a	127,17 ab
K+AH	17, 52 b	83,05 a	3,20 c	109,35 ab
K	12,81 b	84,75 a	2,90 c	66,09 b
CONTROLE	-	64,84 c	-	-
AH	-	69,46 bc	-	-

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p>0,01$).

4.3 Eficiência do uso do N e remobilização do potássio

A recuperação do nitrogênio proveniente de fontes orgânicas, neste caso, proveniente da cobertura vegetal de Gliricídia foi maior nos tratamentos com a leguminosa (G) e do ácido húmico com a leguminosa (G+AH), apresentando diferença estatística em relação aos tratamentos AH+K+G e K+G. Valores baixos de eficiência de recuperação do N orgânico (ERNO) foram verificados nos tratamentos AH+K+G e K+G, os quais apresentaram diferença estatística entre si (Tabela 4).

Quanto à eficiência de recuperação do nitrogênio inorgânico (ERNI), foi maior quando se aplicou AH+G. Houve diferença estatística entre todos os tratamentos testados AH+K+G, AH+G, AH+K e AH, possuindo baixos valores nos tratamentos com a aplicação de K. A ERNI apresentou valores baixos nos tratamentos com a presença de K, fato que pode ter ocorrido devido a uma interação entre os nutrientes K e N, afetando a eficiência de uso dos nutrientes. Essa interação entre os nutrientes pode ser sinérgica ou antagônica, ou seja, afeta positivamente ou promove decréscimos, neste estudo, verificou-se que a eficiência de recuperação do N inorgânico foi menos eficiente nos tratamentos com a presença do K. Tal fato foi observado por Farinelli et al. (2003) em trabalhos com a cultura do arroz, obtendo maiores produtividades com altas doses de nitrogênio e sem adubação potássica.

A eficiência agrônômica do nitrogênio apresentou nos tratamentos K+G e AH+G valores mais expressivos, não diferindo estatisticamente entre si, porém apresentando diferença estatística se comparados aos tratamentos AH+K+G, AH+K, AH e K, não foi observado diferença estatística entre os tratamentos AH+K, AH e K. Os tratamentos com a aplicação da biomassa de *Gliricídia* tiveram valores mais elevados em relação aos tratamentos que não receberam. A remobilização do potássio foi superior no tratamento AH+K+G com 65, 70%, em relação aos demais tratamentos, havendo, portanto diferença estatística. Foi observado nos parâmetros ERNO, ERNI e EAN coeficientes de variação (CV%) de 39,06 – 57,81 – 46,60 respectivamente, isso indica que houve maior variação em torno da média.

Tabela 4. Eficiência de recuperação do N orgânico (ERNO), eficiência de recuperação do N inorgânico (ERNI), eficiência agrônômica do N (EAN) e remobilização do K.

Tratamentos	ERNO (%)	ERNI (%)	EAN (kg kg ⁻¹)	K
				Remobilização (%)
AH+K+G	9,94 c	5,01 d	45,17 b	65,70 a
K+G	17,73 b	-	54,54 a	40,21 b
G	23,61 a	-	50,19 ab	-
AH+G	25,02 a	17,56 a	55,09 a	-
AH+K	-	7,26 c	15,13 c	47,74 b
AH	-	16,30 b	18,89 c	-
K	-	-	19,28b c	40,92 b
CONTROLE	-	-	-	-
CV (%)	39,06	57,81	46,60	-

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p>0,01$).

4.4 Teores de nutrientes na planta

Os teores de nutrientes nas plantas variam de acordo com a cultura, a fase da planta e as partes componentes. O teor de N encontrado nas plantas de milho na fase da maturação foi significativamente maior no tratamento G+AH e valores menores foram encontrados nos tratamentos K e no CONTROLE, os quais não apresentaram diferença em comparação a G+K e K+AH. Os teores de fósforo (P) na planta no período da maturação variaram de 20,84 a 15,28, o tratamento que recebeu somente adubação potássica se sobressaiu em relação aos demais tratamentos, diferindo estatisticamente daqueles que receberam somente aplicação de G, AH, G+AH e do tratamento CONTROLE.

Observou-se que nos tratamentos G+AH, G e AH que apresentaram maiores teores de N, ocorreu menores teores de P, isso se deve a interação que há entre esses nutrientes, pois ao se analisar uma planta não é incomum entrar o excesso desses dois nutrientes. Na presença do K o P tende a ser mais expressivo, como

pode ser verificado neste estudo, os teores de P são maiores quando há adubação potássica.

O teor de Potássio (K) nas folhas, colmos e grãos apresentaram variação entre si, havendo teores mais elevados no colmo. Nas folhas, o teor de K foi maior quando aplicados a adubação potássica, havendo diferença de todos os tratamentos. Nos que receberam K+AH houve diferença em comparação aos demais tratamentos, já os tratamentos G, AH e o CONTROLE apresentaram valores semelhantes, não apresentaram diferença do tratamento com G+AH. A combinação de G+K+AH obteve menor teor de K nas folhas, com diferença estatística em relação as demais combinações.

No colmo, o teor de K variou de 13,3 a 38,3 nos tratamentos AH e G+K respectivamente, as combinações de G+K e K+AH obtiveram altos teores de K se comparados aos tratamentos K, AH e CONTROLE com teores mais baixos de K. Teores médios de K foram verificados nos tratamentos G, G+K+AH e G+AH, não diferindo entre si, porém apresentando diferença em relação aos demais tratamentos. Verifica-se que o maior teor de K no colmo encontra-se no tratamento G+K, nesta combinação houve também maior eficiência de utilização do K pela planta. O K quando aplicado sobre a biomassa da Gliricídia foi utilizado com mais eficiência pelas plantas, devido à biomassa propiciar a cobertura do solo, melhorando sua estrutura e fornecendo nutrientes no seu processo de decomposição, evitando assim perdas de K e consequentemente, havendo maior eficiência na absorção e utilização dos nutrientes.

O teor de K nos grãos apresentou valores semelhantes em todas as combinações de tratamentos, não apresentando diferença estatística entre si. O K além de suas diversas funções na planta aumenta o conteúdo de amido e açúcares nos grãos, entretanto, não é nos grãos que se encontram os maiores teores de potássio, a ocorrência maior de K ocorre nas folhas e colmos.

Tabela 5. Teor de nitrogênio (N) em toda a planta na maturação, teor de fósforo (P) em toda a planta na maturação e teor de potássio (K) nas folhas, colmo e grãos na maturação.

Teores de nutrientes na maturação (g/kg)					
Tratamentos	N	P	K		
			Folhas	Colmo	Grãos
G	43,19 ab	16,21 b	7,41 d	24,47 b	9,07 a
G+K+AH	46,56 ab	17,95 ab	4,33 e	26,76 b	8,72 a
G+AH	51,45 a	15,79 b	9,14 cd	22,91 b	10,14 a
G+K	41,40 b	17,56 ab	9,50 c	38,3 a	9,20 a
K+AH	41,51 b	19,12 ab	13,10 b	36,56 a	10,16 a
K	34,33 b	20,84 a	32,52 a	15,93 c	10,12 a
CONTROLE	33,59 b	15,42 b	7,50 d	11,16 c	8,72 a
AH	42,62 ab	15,28 b	6,37 d	13,3 c	8,68 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p>0,01$).

5. CONCLUSÕES

A cobertura vegetal de Gliricídia teve efeito positivo na eficiência de utilização do potássio pelo milho;

O fertilizante potássico quando aplicado sob a cobertura de Gliricídia teve maior eficiência;

Houve interação entre a aplicação de potássio e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho, causando efeito negativo;

O uso do ácido húmico com a cobertura de Gliricídia e o potássio não promoveu incrementos na produtividade e na eficiência de utilização dos nutrientes.

REFERÊNCIAS

- Arabi, M.I.E., MirAli, N., Jawhar, M., 2002. Effect of foliar and soil potassium fertilisation on wheat yield and severity of *Septoria tritici* blotch. *Aust. Plant Path.* 31,
- Ardjasa, W.S., Tomonori, A., Ho, A., K, Ken-Ichi, Makoto, K., 2002. Fate of basal N and growth of crops cultivated under cassava-based intercropping system with reference to K application rate. *Soil Sci. Plant Nutr.* 48, 365–370.
- Aydin, A., Kant, Canan, Turan, Metin, 2012. Humic acid application alleviates salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. *Afr. J. Agric. Res.* 7, 1073–1086.
- Barre P, Montagnier C, Chenu C, Abbadie L, Velde B. Clay minerals as a soil potassium reservoir: observation and quantification through X-ray diffraction. *Plant Soil* 2008;302:213–20.
- Barreto, A. C.; Fernandes, F. M. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, p. 1287-1293, 2001.
- Barta, A.L., 1982. Response of symbiotic N₂ fixation and assimilate partitioning to K supply in alfalfa. *Crop Sci.* 22, 89–92.
- Bettoni, M. M., Mogor, V. P. Goicoechea, N. Growth and metabolism of onion seedlings as affected by the application of humic substances, mycorrhizal inoculation and elevated CO₂. *Scientia Horticulturae* 180 (2014) 227–235.
- Borges, R., Mallarino, R.B., 2001. Deep banding phosphorus and potassium fertilizer Bowden, C.L.; Evanylo, G.K.; Zhang, X.; Ervin, E.H.; Seiler, J.R. Soil carbon and physiological responses of corn and soybean to organic amendments. *Compost Science and Utilization*, Emmaus, v. 18, p. 162-173, 2010.

Bull, L.T. Nutrição mineral do milho. In: Bull, L.T.; Cantarella, H. (Ed.). Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. p. 63-145.

Canellas, L. P.; Zandonadi, D.; Busdto, J.; Baldotto, M.; Simoes, M. Bioactivity and chemical characteristics of humic acids from tropical soils sequence. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 173, n. 9, p. 624-637, 2008.

Cantarella, H., Duarte, A.P. (2004) Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: Galvão, J.C.C., Miranda, G.V. (eds.) Tecnologias de produção do Milho. 20.ed. Viçosa:UFV, p. 139-82.

Carvalho, M.M.; Martins, C.E.; Verneque, R.S. Respostas de uma espécie de brachiaria à fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 15, n. 2, p. 195-200, 1991.

Chen, X., Li, C., Zhang, F., Jiang, L., Liu, Z., Xiao, K., Assaraf, M., Imas, P., 2011. Potassium fertilization on maize under different production practices in the North China Plain. Agron. J. 103, 822–829.

Chen, Y., Aviad, T., 1990. Effects of humic substances on plant growth. In: MacCarthy, P., Clapp, C.E., Malcolm, R.L., Bloom, P.R. (Eds.), Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. SSSA, Madison, pp. 161–186. China. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 40, 2833–2854. corn response following long-term no till. Agron. J. 93, 487–495.

Cherney, J.H.; Ketterings, Q.M.; Orloski, J.L. Plant and soil elemental status as influenced by multi-year nitrogen and potassium fertilization. Journal of Plant Nutrition, New York, v. 27, n. 6, p. 991-1014, 2004.

Delfine, S.; Tognetti, R.; Desiderio, E.; Alvino, A. Effects of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. Agronomy for Sustainable Development, Versailles, v. 25, p. 183-191, 2005.

Dierolf, T.S., Yost, R.S., 2000. Stover and potassium management in an upland rice–soybean rotation on an Indonesian ultisol. Agron. J. 92, 106–114.

Dierolf, T.S., Yost, R.S., 2000. Stover and potassium management in an upland rice–soybean rotation on an Indonesian ultisol. *Agron. J.* 92, 106–114.

Divito, G. A., Sadras, V. How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis. *Field Crops Research* 156 (2014) 161–171.

Drumond, M.A.; carvalho filho, O.M. Gliricídia. In: KIILL, L.H.P.; MENEZES, E.A. *Es-pécies vegetais exóticas com potencialidades para o Semi- Árido brasileiro* . Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 340p. Cap. 10, p.301-321.

Duke, S.H., Collins, M., Soberalske, R.M., 1980. Effects of potassium fertilization on nitrogen fixation and nodule enzymes of nitrogen metabolism in alfalfa. *Crop Sci.* 20, 213–219.

Eyheraguibel, B., Silvestre, J., Morard, P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresour-ce Technology* 99 (2008) 4206–4212.

Farinelli, R.; Fornasieri Filho, D.; Penariol, F.G.; Bordin, L.; Lemos, L.B. Influência da adubação nitrogenada e potássica nos componentes de produção de arroz de terras altas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. *Anais...* Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD – ROM.

Feigenbaum, S., Mengel, K., 1979. The effect of reduced light intensity and subopti-mal potassium supply on N₂ fixation and N turnover in rhizobium infected lucerne. *Physiol. Plant.* 45, 245–249.

Ferretti, M., Ghisi, R., Nardi, S., Passera, C., 1991. Effect of humic substances on photosynthetic sulphate assimilation in maize seedlings. *Can. J. Soil Sci.* 71, 239–242.

Foloni, J.S.S.; Echer, F.R.; Creste, J.E.; Vilasboas, G.A. Ureia e nitrato de amônio via pulverização foliar no trigo. *Cultura Agronômica*, v.18, p.83-94, 2009. for corn managed with ridge tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 376–384.

García, A. C., Santos, L. A., Izquierdo, F. G., Rumjanek, V. M., Castro, R. M., Santos, F. S., Souza, A., Berbara, R. L. L. Potentialities of vermicompost humic acids to alleviate water stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Journal of Geochemical Exploration* 136 (2014) 48–54. H⁺ pumps activation. *Planta* 225, 1583–1595.

He, C., Ouyang, Z., Tian, Z., Schaffer, H.D., 2012. Yield and potassium balance in a wheat–maize cropping system of the North China Plain. *Agron. J.* 104, 1016– 1022.

Huang, S.W., Jin, J.Y., Tan, D.S., 2009. Crop response to long-term potassium application as affected by potassium-supplying power of the selected soils in Northern humic substances on higher plants. *Soil Biol. Biochem.* 34, 1527–1536. induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast J. Niu et al. / *Field Crops Research* 140 (2013) 69–76.

Jouany, C., Colomb, B., Bosc, M., 1996. Long-term effects of potassium fertilization on yields and fertility status of calcareous soils of south–west France. *Euro. J. Agron.* 5, 287–294.

Jouany, C., Colomb, B., Bosc, M., 1996. Long-term effects of potassium fertilization on Keeney, D.R.; Baumgardt, B.R.; Stangel, P.J.; Liebhardt, W.C.; Beestman, G.B.; Peterson, A.R. Effects of soil fertility on the quality of crops grown for silage. *Research Report, Madison*, v. 29, p. 1-11, 1967.

Lavres Junior, J.; Monteiro, F.A. Perfilhamento, área foliar e sistema radicular do capim-Mombaça submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1068-1075, 2003.

Linehan, D.J., 1978. Humic acid and iron uptake by plants. *Plant and Soil.* 50, 663–670.

Liu, C.Y., Wang, K., Meng, S.X., Zheng, X.H., Zhou, Z.X., Han, S.H., Chen, D.L., Yang, Z.P., 2011. Effects of irrigation, fertilization and crop straw management on nitrous oxide and nitric oxide emissions from a wheat–maize rotation field in northern China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140, 226–233.

Loué, A. The interaction of potassium with other growth factors, particularly with other nutrients. In: CONGRESS INTERNATIONAL OF THE POTASH INSTITUTE, 11. p. 407-433. 1978, Bern. Proceedings Bern: International Potash Institute, 1978.

Lynd, J.Q., Ansman, J.R., 1989. Soil fertility effects on growth, nodulation nitrogenase and seed components of jack bean (*Canavalia ensiform* L.). *J. Plant Nutr.* 12, 563–579.

Lynd, J.Q., Odell Jr., G.V., McNew, R.W., 1981. Soil potassium effects on nitrogenase activity with associated nodule components of hairy vetch at anthesis. *J. Plant Nutr.* 4, 303–318.

Mallarino, A.P., Higashi, S.L., 2009. Assessment of potassium supply for corn by analysis of plant parts. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, 2177–2183.

Marin, A.M.P.; Menezes, R.S.C; Salcedo, I.H. Produtividade de milho solteiro ou em aléias de gliricídia adubadas com duas fontes orgânicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.5, p.669-677, 2007. <http://www.scielo.br/pab/v42n5/09.pdf>. doi:10.1590/S0100-204X2007000500009. 12 Jan. 2011.

Marques Júnior, R. B.; Canellas, L. P.; Silva, L. G.; Olivares, F. L. Promoção de enraizamento de microtoletes de cana-de-açúcar pelo uso conjunto de substâncias húmicas e bactérias diazotróficas endofíticas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1121-1128, 2008.

Marschner, H., 1995. *Mineral Plant Nutrition of Higher Plants*, second ed. Academic Press, London. 1995. 874p.

Martim, A.R.; Monteiro, F.A.; Carmello, Q.A.C. Interação entre nitrogênio e potássio nos capins Coastcross 1 e Tifton 85 cultivados num oxissolo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. 1997, Rio de Janeiro. 1 CD-ROM. Resumos... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

Mengel, K., Haghpara, M.R., Koch, K., 1974. Effect of potassium on fixation of molecular nitrogen by root nodules of vicia-faba. *Plant Physiol.* 54, 535–538.

Monteiro, F.A.; Lima, S.A.A.; Werner, J.C. Adubação potássica em leguminosas e em capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.) adubado com níveis de nitrogênio ou consorciado com leguminosas. *Boletim de Indústria Animal*, Nova Odessa, v. 37, n. 1, p. 127-147, 1980.

Mora, V., Baigorri, R., Bacaicoa, E., Zamarreño, A.M., García-Mina, J.M., 2012. The humic acid-induced changes in the root concentration of nitric oxide, IAA and ethylene do not explain the changes in root architecture caused by humic acid in cucumber. *Environ. Exp. Bot.* 76, 24–32.

Moura, E. G. et al., Patents on Periphery of the Amazon Rainforest. *Recent Patents on Food, Nutrition e Agriculture* v.1, n. 2, p. 142-148, 2009a.

Murillo, J.M., Madejón, E., Madejón, P., Cabrera, F., 2005. The response of wild olive to the addition of a fulvic acid-rich amendment to soils polluted by trace elements Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vianello, A., 2002. Physiological effects of Niu, J., Zhang, W.,

OLIVEIRA, V. R. de. Crescimento de leguminosas arbóreas e rendimento de milho em sistemas silviagrícolas. Mossoró, 2012. 86 f.: il. on plant growth and nutrition. In: Pinton, R., Varanini, Z., Nannipieri, P. (Eds.), *The Rhizosphere*. Marcel Dekker, New York, NY, pp. 141–157.

Ollins, M., Duke, S.H., 1981. Influence of potassium-fertilization rate and form on photosynthesis and N₂ fixation of alfalfa. *Crop Sci.* 21, 481–485.

Ollins, M., Lang, D.J., 1985. Shoot removal and potassium fertilization effects on growth, nodulation and dinitrogen fixation of red clover and birdsfoot trefoil under greenhouse conditions. *Field Crop Res.* 10, 251–256.

Oosterhuis et al., 2013 D.M. Oosterhuis, D.A. Loka1, T.B. Raper Potassium and stress alleviation: physiological functions and management of cotton. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 176 (2013), pp. 331–343.

Oosterhuis et al., 2014 D.M. Oosterhuis, D. Lola, E.M. Kawakami, W.T. Pettigrew. The physiology of potassium in crop production. *Adv. Agron.*, 126 (2014), pp. 203–233.

P. He et al. Temporal and spatial variation of soil available potassium in China (1990–2012) *Field Crops Research* 173 (2015) 49–56.

Pacyna, S., Schulz, M., Scherer, H.W., 2006. Influence of sulphur supply on glucose and ATP concentrations of inoculated broad beans (*Vicia faba minor* L.). *Biol. Fert. Soils* 42, 324–329.

Pauletti, V. *Plantio direto: atualização tecnológica*. São Paulo: Fundação Cargil, 1998.

Peoples, M.B., Herridge, D.E., Ladha, J.K., 1995. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant Soil* 174, 3–28

Pettigrew, 2008 W.T. Pettigrew Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiol. Plantarum*, 133 (2008), pp. 670–681.

Plante, A.F., Stewart, C.E., Conant, R.T., Paustian, K., Six, J., 2006. Soil management effects on organic carbon in isolated fractions of a Gray Luvisol. *Can. J. Soil Sci.* 86, 141–151. potassium in ridge-till planting. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 629–636.

Qiu, S.J., Xie, J.G., Zhao, S.C., Xu, X.P., Hou, Y.P., Wang, X.F., Zhou, W., He, P., Johnston, A.M., Christie, P., Jin, J.Y., 2014. Long-term effects of potassium fertilization on yield, efficiency, and soil fertility status in a rain-fed maize system in northeast China. *Field Crops Res.* 163, 1–9.

Rehm, R.G., Lamb, J.A., 2004. Impact of banded potassium on crop yield and soil root and shoot of wheat and its uptake in different soils. *Int. J. Plant Prod.* 4, 25–32.

Roshani, G.A., Narayanasamy, G., 2010. Effects of potassium on temporal growth of Schiavon, M., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vaccaro, S., Francioso, O., Nardi, Serenella, 2010. High molecular size humic substances enhance phenylpropanoid metabolism in Maize (*Zea mays* L.). *J. Chem. Ecol.* 36, 662–669.

Rosolem, C.A. Interação de potássio com outros íons. In: Yamada, T.; Roberts, T.L. (Ed.). *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 2005. p. 239-256.

Ruan, J.; WU, X.; Hardter, R. Effects of potassium and magnesium nutrition on the quality components of diffents types of tea. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.79, p.47-52, 1999.

Ruan, J.; WU, X.; YE, Y.; Hardter, R. Effect of potassium, magnesium and sulphur applied in different form of fertilizers on free amino acid content in leaves of tea (*Camellia sinensis* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.76, p.389-396, 1998.

Sánchez, P. A. Tropical soil fertility research: towards a second paradigm. In: *INTERNATIONAL SOIL SCIENCE SOCIETY SYMPOSIUM*. 15., 1994, Acapulco. *Proceedings...* Acapulco: International Society of Soil Science, Mexican Society of Soil Science, 1994. p. 89-104.

Schneider, A., Castillon, P., Pellerin, S., 2003. Relationships between soil potassium Sharma, A., Jalali, V.K., Arora, S., 2010. Non-exchangeable potassium release and its removal in foot-hill soils of north–west Himalayas. *Catena* 82, 112–117.

Silva, I.R. & Mendonça, E.S. Matéria orgânica do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B. & Neves, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

Silveira, R. L. V. de A., Malavolta, E. Nutrição e adubação potássica em Eucalyptus: <http://www.potafos.org> em 03/03/06.

Smil V. Crop residues: agriculture's largest harvest. *Bioscience* 1999;49:299–308.

Sparks DL. Potassium dynamics in soils. *Adv Soil Sci* 1987;6:1–63. supply characteristics based on soil solution concentration and buffer power and field responses of winter wheat and maize. *Plant Soil* 254, 269–278.

Sparks, D. L. Bioavailability of soil potassium. In: Sumner, M. E. (Ed.). *Handbook of soil science*. Boca Raton: CRC, 2000. p. 38-53.

Trindade, A. V. (2000). In: Mamão. Produção: aspectos técnicos. Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, BA) – Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 77p. (Frutas do Brasil; 3).

Vadez, V., Sinclair, T.R., Serraj, R., 2000. Asparagine and ureide accumulation in nodules and shoots as feedback inhibitors of N₂ fixation in soybean. *Physiol. Plant.* 110, 215–223.

Vanlauwe, B.; Gachengo, K.; Shepherd, E.; Barrios, G.; Cadisch, G.; Palm, C. A. Laboratory validation of a resource quality-based conceptual framework for organic matter management. *Soil Science Society of America Journal*, v. 69, p. 1135-1145, 2005.

Varanini, Z., Pinton, R., 2001. Direct versus indirect effects of soil humic substances
Vaughan, D., Malcom, R.E., 1985. Influence of humic substances on growth and physiological processes. In: Vaughan, D., Malcolm, R.E. (Eds.), *Soil organic matter and biological activity*. Dordrecht, Boston, pp. 37–75.

VAUGHAN, D.; MALCOM, R.E. & ORD, B.G. Influence of humic substances on biochemical processes in plants. In: VAUGHAN, D. & MALCOM, R.E. Soil organic matter and biological activity. Dordrecht, Martinus Nijhoff/Junk W, 1985. p.77-108.

Verlinden, D.; pycke, B.; Mertens, J.; Debersaques, F.; Verheyen, K.; Baert, G.; Bries, J.; Haesaert, G. Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 32, p. 1407-1426, 2009.

Vilela, L., Sousa, D. M. G. de; Silva, J. E., da Adubação potássica. In; Sousa, D.M.G. de; Lobato, E. (Eds.) *Cerrado: Correção do solo e adubação*, Brasília, DF; Embrapa Informações tecnológica, 2004b. p. 169-182.

Vyn, T.J., Janovicek, K.J., 2001. Potassium placement and tillage system effects on Wang, L., Chen, F., 2012. Genotypic variation of potassium uptake and use efficiency in cotton (*Gossypium hirsutum*). *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 175, 303–308.

Wang, Y., Wu W-H. Genetic approaches for improvement of the crop potassium acquisition and utilization efficiency. *Current Opinion in Plant Biology* 2015, 25:46–52.

Wu, J., Guo, X.S., Wang, Y.Q., Xu, Z.Y., Zhang, X.L., Lu, J.W., 2011. Decomposition characteristics of rapeseed and wheat straw under different water regimes and straw incorporation models. *J. Food Agric Environ.* 9, 572–577.

Yadvinder-Singh, Bijay-Singh, Ladha, J.K., Khind, C.S., Khera, T.S., Bueno, C.S., 2004. Effects of residue decomposition on productivity and soil fertility in rice–wheat rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 854–864.

Yang et al., 2011. F.Q. Yang, G.W. Wang, Z.Y. Zhang, A.E. Eneji, L.S. Duan, Z.H. Li, X.L. Tian Genotypic variations in potassium uptake and utilization in cotton, *J. Plant Nutr.*, 34 (2011), pp. 83–97.

Yang, H., Li, Q., Yu, J.Z., 2003. Comparison of two methods for the determination of water-soluble organic carbon in atmospheric particles. *Atmos. Environ.* 37, 865–870.

Yields and fertility status of calcareous soils of south-west France. *Euro. J. Agron.* 5, 287–294.

Zandonadi, D.B., Canellas, L.P., Facanha, A.R., 2007. Indolacetic and humic acids

Zhang, F., Niu, J., Zhang, W., Chen, X., Li, C., Yuan, L., Xie, J., 2010. Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. *Plant Soil* 335, 21–34.

Zhang, W., Ru, S. et al., 2012. Effects of potassium fertilization on winter wheat under different production practices in the North China Plain. *Field Crops Research* 140 (2013) 69–76.

Zhao, S., Hea, P., Qiu, S., Jia, L., Liu, M., Jin, J., Johnston, A. M. Long-term effects of potassium fertilization and straw return on soil potassium levels and crop yields in north-central China. *Field Crops Research* 169 (2014) 116–122.

Zörb, C., Senbayram, M., Peiter, E. Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology* 171 (2014) 656–669.