



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA-UFRA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DIEGO CORREIA SODRÉ**

**NUTRIÇÃO, TROCAS GASOSAS E METABOLISMO DO  
NITROGÊNIO DE PLANTAS DE MILHO SOB APLICAÇÃO DE URÉIA  
ESTABILIZADA (NBPT) EM TEXTURAS DE SOLO**

**BELÉM**

**2017**

**DIEGO CORREIA SODRÉ**

**NUTRIÇÃO, TROCAS GASOSAS E METABOLISMO DO  
NITROGÊNIO DE PLANTAS DE MILHO SOB APLICAÇÃO DE URÉIA  
ESTABILIZADA (NBPT) EM TEXTURAS DE SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Mestrado em Agronomia: área de concentração Agronomia, linha de pesquisa fertilidade do solo, adubação e nutrição de plantas, para obtenção do título de **Mestre**.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Ricardo Shigueru Okumura

**BELÉM**

**2017**

**NUTRIÇÃO, TROCAS GASOSAS E METABOLISMO DO  
NITROGÊNIO DE PLANTAS DE MILHO SOB APLICAÇÃO DE URÉIA  
ESTABILIZADA (NBPT) EM TEXTURAS DE SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Mestrado em Agronomia: área de concentração Agronomia, com linha de pesquisa em fertilidade do solo, adubação e nutrição de plantas, para obtenção do título de Mestre.

Orientador : Profº. Dr. Ricardo Shigueru Okumura

Aprovado em 28 de julho de 2017

**BANCA EXAMINADORA**



---

Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão – Coorientador

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA- UFRA



---

Dr. Vicente Filho Alves Silva – 1º Examinador

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA- UFRA



---

Dr. Augusto José Silva Pedroso – 2º Examinador

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PARÁ-  
IFPA



---

Dr. Rafael Gomes Viana – 3º Examinador

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA UFRA

---

Sodré, Diego Correia

Nutrição, trocas gasosas e metabolismo do nitrogênio de plantas de milho sob aplicação de uréia estabilizada (NBPT) em texturas de solo / Diego Correia Sodré. – Belém, PA, 2017.

78 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2017.

Orientador: Ricardo Shigueru Okumura.

1. Inibidor de Uréase. 2. Nutrição Mineral – Milho. 3. Fertilizante Nitrogenado. 4. Textura de solo. 5. Ureia Estabilizada. I. Okumura, Ricardo Shigueru, (orient.) II. Título

CDD – 631.83

---

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo que tem feito em minha vida, mostrar que sou protegido, guiado e iluminado pela sua presença. Obrigado pela força e coragem que me deste para realizar mais esse objetivo em minha vida.

Aos meus pais, Pedro e Claudia que apesar das dificuldades, sempre acreditaram em mim e estiveram ao meu lado.

Aos meus irmãos Saulo, Debora, Dayana e Glauber, pelo companheirismo, amizade, por ajudarem no decorrer do trabalho e por sempre estarem no meu coração;

Aos meus avós Varlindo e Floripes, por proporcionarem uma criação digna e formada em cima de valores e princípios, estarem ao meu lado em todos os momentos e por sempre desejarem o melhor para mim;

A minha querida e amada namorada Laís Rocha pela sua compreensão, ajuda, colaboração em todas as etapas de desenvolvimento e finalização de meu trabalho assim como sua família;

Os meus familiares tios, primos, cunhada e sobrinho, pelo amor, compreensão, e por acreditarem nos meus estudos sempre buscando me dar forças;

Aos meus tios Heliomar, Edilene e Alexandre por tudo que sou hoje devo a cada um de vocês, em primeiro agradeço ao meu tio Heliomar pela amizade, por sempre estar pronto a ajudar, pelos momentos e ajudando em tudo durante minha jornada no ensino fundamental e médio. Agradeço de coração a minha tia e madrinha Edilene, por sempre acreditar em mim, me ajudar de diversas formas, pelo seu amor, pela sua paciência, por abdicar de seu conforto em detrimento de meus estudos. E por fim e não menos importante agradeço imensamente a meu tio Alexandre por sempre acreditar em meu potencial, pelos puxões de orelha e por sempre estar presente, me incentivando a sempre estudar.

A meu Coorientador Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão, pela orientação, paciência e incentivo, amizade, durante a construção deste trabalho.

A meu orientador Dr. Ricardo Shiguero Okumura, por inicialmente ter confiado em meu trabalho, ter me aceito como seu orientado e pela amizade construída durante esse período. Assim como, ajudar em todas as etapas de desenvolvimento de nosso trabalho.

Aos meus amigos Michel Sato, Edna Souza, Gledson Castro, Renato Teixeira, Bruna Fujiyama, Deyvison Medrado, assim como todos os colegas da pós-graduação em

agronomia pela ajuda, apoio e principalmente pela amizade construída no decorrer do mestrado.

Aos colegas e amigos Yan Nunes, Fernanda Cipriano e Lorene Tadaiesky pelo companheirismo, amizade, ajuda e principalmente pelo apoio nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos de estágio pela colaboração na coleta de dados, Thiago Yakuwa , Icaro Menezes, Welber Melo

Ao profissional Paulo Sarmiento e a instituição de pesquisa museu Emilio Goeldi, pela ajuda nas análises de meu trabalho.

Ao instituto de ciências agrarias (ICA), pela utilização de laboratórios e equipamentos para processar e analisar meu material.

A todas as pessoas que confiaram em mim e me auxiliaram a transpor os obstáculos dessa trajetória para que pudesse alcançar esse objetivo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo fomento da bolsa, que financiou todo meu trabalho.

## RESUMO

A ureia é a fonte mais utilizada no mundo, contudo nos sistemas agrícolas estima uma perda de 5 a 30% do N, para minimizar a perda de NH<sub>3</sub>, algumas tecnologias têm sido desenvolvidas, como os inibidores de uréase (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) (NBPT). O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da aplicação de fertilizante nitrogenado tratado com inibidor de uréase (NBPT) em dois solos de texturas distintas no desenvolvimento vegetativo, fisiológico e bioquímico do milho. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia/Belém-PA, em que o delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, constituídos de 5 doses de N (NBPT) (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N) em Latossolo Amarelo de texturas distintas (argilosa e franco arenosa), com 5 repetições. Foram avaliados a altura, diâmetro, área foliar específica e massa seca da parte aérea (variáveis fitotécnicas), fotossíntese, condutância, transpiração, concentração interna de CO<sub>2</sub> (variáveis fisiológicas), proteínas, aminoácidos, amônio, nitrato (variáveis bioquímicas), e os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg). As doses de N (NBPT) influenciaram significativamente as variáveis estudadas (fitométricas, trocas gasosas, bioquímicas e nutricionais) com exceção à concentração interna de CO<sub>2</sub>. A dose de máxima eficiência foi obtida entre 100 a 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, em que os melhores resultados foram proporcionados no solo de textura franco arenosa. A ureia tratada com inibidor de uréase (NBPT) promoveu um melhor aproveitamento do N, pela cultura do milho, independente da textura do solo.

**Palavras-chaves:** *Zea mays*, inibidor de uréase, fertilizante nitrogenado.

## ABSTRACT

Urea is the most widely used source in the world; however, in agricultural systems it estimates a loss of 5 to 30% of N to minimize  $\text{NH}_3$  loss, some technologies have been developed, such as N- (n-butyl ) thiophosphoric triamide) (NBPT). The objective of the study was to evaluate the effect of nitrogen fertilizer treatment with urea inhibitor (NBPT) on two different textured soils in the vegetative, physiological and biochemical development of maize. The experiment was carried out in a greenhouse at the Federal Rural University of Amazonia / Belém-PA, where the experimental design was a completely randomized, 5 x 2 factorial scheme consisting of 5 doses of N (NBPT) (0,50,100, 150 and 200 kg ha<sup>-1</sup> of N) in Yellow Latosol of distinct textures (clayey and sandy loam) with 5 replicates. Were evaluated the height, diameter, specific leaf area and dry mass of the aerial part (phytotechnical variables), photosynthesis, conductance, transpiration, internal concentration of CO<sub>2</sub> (physiological variables) , proteins, amino acids, ammonium, nitrate (biochemical variables) and macronutrient contents (N,P,K,Ca,Mg). The N doses (NBPT) significantly influenced the studied variables (phytometric, gas exchange, biochemical and nutritional), with the exception of the internal CO<sub>2</sub> concentration. The maximum efficiency dose was obtained between 100 a 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, where the best results were provided in the soil of sandy loam texture. The urea treated with urea inhibitor (NBPT) promoted better N utilization by maize culture, regardless of soil texture.

**Keywords:** *Zea mays* ,urease inhibitor, nitrogen fertilizer.

## Sumário

1-CONTEXTUALIZAÇÃO.....	10
1.1-REVISÃO DE LITERATURA.....	11
<b>1.1.1-ASPECTOS GERAIS E IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.2-NITROGÊNIO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.3-UREIA.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.4-FERTILIZANTES DE EFICIÊNCIA AUMENTADA .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.5-SOLO AMAZÔNICO.....</b>	<b>16</b>
1.2-REFERÊNCIAS .....	19
2-Introdução .....	30
3.1- <b>Material e Métodos</b> .....	31
3.2- <b>Resultados e Discussão</b> .....	40
<b>3.2.1- Fitométricos .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.2- Trocas Gasosas .....</b>	<b>47</b>
<b>3.2.3- Bioquímicos .....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.4- Teores de nutrientes .....</b>	<b>59</b>
3.3- <b>Conclusão</b> .....	68
4 - <b>Referências Bibliograficas</b> .....	69

## 1- CONTEXTUALIZAÇÃO

A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo. (DUARTE;MATTOSO;GARCIA,2017).

O milho é afetado por uma série de fatores tais como a própria cultivar, o solo, a fertilização, o clima, as práticas culturais, as pragas e as moléstias. (FANCELLI e DOURADO NETO, 2004; FORNASIERI-FILHO, 2007). Tornando-se importante e necessário, o desenvolvimento de estudos na tentativa de solucionar os vários problemas que envolvem esses fatores, buscando obter altas produções, com elevada qualidade (OKUMURA;MARIANO;ZACCHEO,2011).

Durante os últimos anos, a atual agricultura está associada ao aumento da produção de alimentos. Segundo a Pioneer Sementes (2014), com o desafio de alimentar o mundo – hoje, com uma população mundial de 7 bilhões de pessoas e, que em 2050 superará a 9 bilhões, o milho será ainda mais importante dentro desta estratégia. Isso porque a demanda por alimentos crescerá 20% nos próximos 10 anos, e o Brasil será responsável por atender 40% desta demanda.

Com o aumento populacional, e as áreas agrícolas cada vez mais escassas, aumentar a produtividade, é um desafio muito importante, apostar em novas tecnologias aliadas com práticas de manejo adequadas que permitam colher mais por área (OLIVEIRA,2015).

A lixiviação de nitrato é considerada a principal perda do N disponível às plantas (ERREBHI et al.,1998). Ela é influenciada diretamente pelos fatores que determinam o fluxo de água no solo e pela concentração de  $\text{NO}_3^-$  na solução (WHITE, 1987). Fatores como sistema de preparo do solo, tipo de solo e forma de aplicação dos fertilizantes nitrogenados, podem influenciar tanto o fluxo de água quanto a concentração de nitrato na solução do solo.

O tipo de solo pode ter grande influência na magnitude do processo de lixiviação. Solos argilosos possuem maior capacidade de retenção de nitrogênio, principalmente na forma de  $\text{NH}_4^+$ , do que solos arenosos. A maior capacidade de armazenamento de água dos solos argilosos reduz a percolação da água pelo perfil e, conseqüentemente, o arraste de nitrato para camadas inferiores do solo (BORTOLINI, 2000; CAMARGO et al., 1989).

Uma alternativa para melhorar o manejo da fertilidade do solo, vem sendo a utilização de fertilizantes estabilizados com inibidor de nitrificação e inibidores de uréase, que visam melhorar a absorção do nitrogênio pelas plantas, de forma que evitam a rápida perda desse nutriente para o ambiente.

Com isso a hipótese do presente trabalho é que uso de ureia estabilizada com inibidor de uréase, diminui as perdas de nitrogênio na cultura do milho, contribuindo com ganhos em seu desenvolvimento e permitindo uma relação positiva de custo e benefício quando comparado com outras fontes de nitrogênio.

## **1.1- REVISÃO DA LITERATURA**

### **1.1.1- ASPECTOS GERAIS E IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO**

O milho é um dos principais cereais cultivados e consumidos no mundo, em virtude de seu alto potencial produtivo, composição química e valor energético. O seu cultivo tem grande importância econômica, uma vez que pode ser utilizado como base na alimentação humana, participando na produção de matéria-prima para cerca de 600 produtos industriais e para nutrição animal (PEREIRA et al., 2009). Conforme Souza; Braga (2004), o destaque da produção de milho para alimentação animal brasileira resulta na utilização de 80% do total que é produzido no país para uso na forma de ração e silagem.

O USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (2016) prevê, em seu levantamento da safra mundial de milho 2015/16, uma produção global de 967,9 milhões de toneladas. O Brasil encontra-se na terceira posição como produtor mundial (MAPA, 2015), após os Estados Unidos e a China, com a safra 2016/2017 estimada em 91 milhões de toneladas (CONAB, 2017). No agronegócio brasileiro, em termos de área cultivada, a cultura do milho é a segunda mais cultivada, sendo a primeira a cultura da soja, com estimativa de área plantada para safra de 2016/2017, em 17,07 milhões de hectares, referente a duas safras, verão e segunda safra (sequeiro), com produtividade média de 5.356 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2017).

A planta de milho possui metabolismo fisiológico classificado como C4, possuindo ampla capacidade fotossintética. Esse tipo de metabolismo faz com que o processo fotossintético seja mais eficiente em ambientes secos e quentes (TAIZ; ZEIGER, 2006). Como não apresenta saturação luminosa fotossintética, as plantas C4

permitem maior aproveitamento da energia luminosa disponível em zonas tropicais, onde altas intensidades de luz prevalecem por praticamente todo o ano (PIMENTEL, 1998).

A baixa produtividade média de milho no Brasil não traduz o bom nível tecnológico adquirido por boa parte dos agricultores voltados para o cultivo comercial, visto que a média nacional envolve o cultivo nas mais diferentes regiões e nos mais distintos sistemas de produção, desde a “roça de toco” até grandes áreas sob agricultura de precisão. Para o aumento da produtividade é imprescindível que sejam adotadas técnicas básicas, incluindo manejo adequado dos corretivos do solo e dos fertilizantes, principalmente os nitrogenados. Entretanto, devido principalmente, ao alto valor dos fertilizantes nitrogenados, são utilizadas quantidades insatisfatórias de N, que associadas à baixa fertilidade natural dos solos de clima tropical, assim como ao manejo inadequado da cultura, fazem com que o país apresente baixa produtividade média de grãos (ARAÚJO; FERREIRA; CRUZ, 2004; SILVA et al., 2005).

### **1.1.2- NITROGÊNIO**

A exigência de N pelas plantas é consequência da sua função estrutural, pois ela faz parte da molécula de compostos orgânicos, como os aminoácidos e proteínas, sendo ainda ativador de muitas enzimas (RAIJ, 1991). O vegetal também depende do N para realização de um ou mais processos vitais da planta, como síntese de proteína, absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA, 1989), proporcionando uma vegetação verde e abundante, aumento na folhagem e nos teores de proteínas das plantas alimentícias, rápido crescimento e auxílio aos microrganismos do solo para a decomposição da matéria orgânica (MALAVOLTA, 1979).

Predominantemente, o N é encontrado no solo na forma orgânica e apenas uma pequena parcela, cerca de 5% do nitrogênio total, apresenta-se sob formas inorgânicas de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e/ou nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Estas formas estão prontamente disponíveis e são originados pela mineralização durante os cultivos por meio de hidrólise enzimática, produzida pela atividade da microbiota do solo (CORDEIRO; HOEK, 2007) e/ou então por aplicação de fertilizantes nitrogenados. O contato íon-raiz ocorre principalmente por fluxo de massa, onde o nitrogênio se move na solução do solo até a raiz (ULLOA; LIBARDI; REICHARDT, 1982).

A baixa eficiência de recuperação do N de fertilizantes nitrogenados aplicados às culturas tem sido atribuída principalmente a perdas por volatilização da amônia ( $\text{NH}_3$ ),

oriundo de fontes amoniacais de N, e lixiviação de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), acarretando em maiores custos com fertilizantes e mão de obra (ROGERI, 2010).

Segundo Coelho et al. (2002) 70 a 90% das pesquisas conduzidas no Brasil sob diversas condições de solo, clima e sistemas de manejo demonstraram respostas positivas da cultura do milho à adubação N. Entretanto, deve se ter cautela para recomendar a dose a ser utilizada, haja vista que se subestimada, ocorrerá à redução da produtividade, e quando superestimada, diminuem a rentabilidade do produtor pelo gasto desnecessário com fertilizantes, além de afetar o meio ambiente, em consequência das perdas de N em decorrência do excesso disponível (ARGENTA et al. 2003).

Do ponto de vista econômico e ambiental, a dose de N a ser aplicada, pode ser considerada a decisão racional no manejo de fertilizantes. Nessa recomendação deve se levar em consideração às condições edafoclimáticas, sistema de cultivo (sistema plantio direto ou convencional), época de semeadura, responsividade do material genético, rotação de culturas, época e modo de aplicação, fontes de N, aspectos econômicos e operacionais (BOBATO, 2006). Esses fatores afetam a resposta do milho ao N de modo que as curvas de rendimento podem variar bastante entre diferentes locais, assim como em solos férteis com elevado teor de N orgânico no solo (LIANG e MACKENZIE, 1994), conseqüentemente, adubações N podem não ter efeito ou mesmo diminuir a produção (BELOW, 2002; SÁ, 1995).

### **1.1.3- UREIA**

A ureia é um produto sintético de fórmula  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , cuja composição apresenta unicamente os elementos N, C, H e O, sendo que os três últimos são abundantes na natureza, na forma de diversos compostos muitos deles são vitais para os seres vivos ( $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ). Apresenta-se na forma granulada e de cor branca, no entanto pode ser rosada conforme o processo de fabricação (MALAVOLTA, 1979).

Do ponto de vista agrícola, a ureia tem como grandes vantagens o teor elevado de N (45%), o baixo custo de transporte, a alta solubilidade, a menor corrosividade, a compatibilidade com inúmeros outros fertilizantes e defensivos, a alta taxa de absorção foliar, ser prontamente disponível para as plantas e de fácil manipulação, e causar menor acidificação no solo (CANTARELLA e MARCELINO, 2007; RAIJ, 1991) em relação aos demais fertilizantes N.

Porém, a ureia apresenta algumas desvantagens, como a elevada higroscopicidade que é a tendência em absorver umidade do ar atmosférico. Outro aspecto negativo

associado ao uso da ureia é a presença do biureto em sua composição, que pode ser fitotóxico em algumas culturas, quando aplicado via foliar. (OLIVEIRA; BALBINO, 1995).

Acreditava-se que a principal perda de N do solo era por lixiviação, no entanto, esta perda é pequena. Coelho (1987) em pesquisa desenvolvida em um Latossolo Vermelho-Escuro, cultivado com milho, observou que dos 60kg N ha<sup>-1</sup> aplicado na forma de ureia tratado com 15N, apenas 2kg ha<sup>-1</sup> de N (4%) foi perdido por lixiviação, sendo que 34kg ha<sup>-1</sup> de N (56%) foi absorvido pela planta, e 14kg ha<sup>-1</sup> de N (23%) permaneceu no solo na camada de 0-0,9m, e o restante foi perdido por outros processos.

A perda de N por volatilização de NH<sub>3</sub> para a atmosfera é o principal fator responsável pela baixa eficiência da ureia aplicada sobre a superfície do solo (CABEZAS, KORNDORFER e MOTTA, 1997a, b; CABEZAS e TRIVELIN, 1990; RODRIGUES e KIEHL, 1986; BOUWMEESTER, VLEK e STUMPE, 1985; TERMAN, 1979), sendo essas perdas agravadas em SPD (Sistema Plantio Direto), onde os restos vegetais favorecem a rápida hidrólise do fertilizante, em razão do aumento da presença da enzima urease (CANTARELLA et al., 1999; CABEZAS, KORNDORFER e MOTTA, 1997a; CANTARELLA, 1993; MELLO, 1987) além de que a cobertura vegetal reduz o contato da ureia com o solo (MENGEL, 1996), diminuindo assim a adsorção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aos colóides orgânicos e inorgânicos, e com isso facilita a volatilização de amônia.

Uma alternativa, de minimizar as perdas de ureia por volatilização e aumentar assim a sua eficiência, é o tratamento prévio desse fertilizante com inibidores da urease (BURESH, VLEK e STUMPE, 1984), que atuam sobre a molécula da ureia por um período pré-determinado, minimizando a volatilização de NH<sub>3</sub>, pois agem retardando as reações que levam a volatilização de NH<sub>3</sub>, até que a ureia possa ser incorporada pela chuva.

#### **1.1.4- FERTILIZANTES DE EFICIÊNCIA AUMENTADA**

Entre os produtos testados como inibidor da urease, o NBPT vem obtendo bons resultados (BRONSON et al., 1989; BREMNER e CHAY, 1986). O NBPT é um composto que apresenta teor de N, de solubilidade e difusividade similares à da ureia (WATSON, 2000). Ele não é um inibidor direto da urease, haja vista que uma vez aplicado ao solo o NBPT tem que ser convertido ao seu análogo de oxigênio [N-(n-butil)

fosfórico triamida] – NBPTO – que é o verdadeiro inibidor da atividade (BREMNER, 1995; CHRISTIANSON, BYRNES e CARMONA, 1990; McCARTY, NELSON e HUBER, 1989). A conversão do NBPT em NBPTO é rápida em solos bem arejados, ocorrendo em alguns minutos ou horas, porém pode levar vários dias em condições de solos inundados (WATSON, 2000).

O NBPT atua inibindo a atividade da enzima urease, pois ela ocupa o local ativo (MOBLEY e HAUSINGER, 1989), ocasionando uma desaceleração na atividade da enzima (CHRISTIANSON, BYRNES e CARMONA, 1990), e refletindo em menor perda de  $\text{NH}_3$  por volatilização (BREMNER, McCARTY e HIGUCHI, 1991; CLAY, MALZER e ANDERSON, 1990). Além de que, o atraso na hidrólise reduz a concentração de  $\text{NH}_3$  presente perto da superfície do solo, o que reduz o potencial de volatilização e aumenta a possibilidade da chuva incorporar a ureia no perfil do solo (RAWLUK, GRANT e RACZ, 2001).

A eficácia do NBPT na redução da volatilização de  $\text{NH}_3$  depende não apenas da quantidade de enzima, mas também da taxa de conversão de NBPT a seu oxigênio análogo (NBPTO) em contato com o solo e também das taxas de degradação dos dois compostos (OKUMURA; MARIANO, 2012).

O NBPT é uma alternativa para minimizar os danos resultantes da aplicação de altas doses de ureia na semeadura (MALHI et al., 2001, 2003; BREMNER, 1995; SCHLEGEL, 1991), pois em baixas concentrações tem demonstrado resultados eficientes (RAWLUK, GRANT e RACZ, 2001; WATSON et al., 1994a; BREMNER e CHAI, 1986). Além disso, sua aplicação não tem demonstrado efeito sobre as propriedades biológicas do solo (BANERJEE, BURTON e GRANT, 1999), o que contribui para tornar seu uso viável.

Independentemente de a condição ser favorável ou não, a ureia se hidrolisa rapidamente, tornando-se suscetíveis às maiores perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  logo na primeira semana após sua aplicação, sendo exatamente nesse período que a atuação de NBPT é mais evidente (RAWLUK, GRANT e RACZ, 2001), retardando a hidrólise e ocasionando uma diminuição na taxa de volatilização, favorecendo assim a difusão do fertilizante para o interior do solo. Além disso, devido à hidrólise mais lenta, a elevação do pH ao redor do grânulo do fertilizante não é tão rápida.

### **1.1.5- SOLOS AMAZÔNICOS**

Os solos amazônicos são altamente intemperizados, tendo como característica a acidez e a saturação por alumínio elevadas, e baixa concentração de nutrientes, proveniente das elevadas taxas de lixiviação. (MANTOVANELLI et al.,2016).

A agricultura itinerante permanece ainda como um dos sistemas de uso do solo mais importante na Amazônia, tanto sob o ponto de vista econômico como também pela quantidade de pessoas que dela dependem direta ou indiretamente. Seu fundamento é a reciclagem de nutrientes, por meio de queimadas da biomassa, que liberam para o solo praticamente todos os nutrientes sob a forma de cinzas. Associado a ela, tem-se as altas temperaturas e umidade que aceleram os processos de decomposição da biomassa vegetal. Entretanto, com o passar do tempo, há uma diminuição da fertilidade inicial do solo devido à remoção de nutrientes por meio da colheita, lixiviação e processos erosivos do solo. As deficiências de nutrientes e o aumento significativo das plantas invasoras podem inviabilizar novos cultivos (COSTA,2017).

Com o aumento populacional, e as áreas agrícolas cada vez mais escassas, aumentar a produtividade, é um desafio muito importante, apostar em novas tecnologias aliadas com práticas de manejo adequadas que permitam colher mais por área.

Em 2010 o Brasil teve um pequeno aumento de 6,5% para a safra de 2011. Um dos principais fatores para esse avanço da cultura foi o crescimento da área plantada, principalmente nas regiões Norte e Nordeste. O milho no Brasil tem uma produção superavitária, ou seja, o lucro obtido ao final da venda supera o custo de produção. Por isso, há um grande investimento para o desenvolvimento da cultura no país (ABIMILHO, 2015). Todos os estados brasileiros possuem uma parcela da produção de milho no montante nacional (LANDAU et al., 2010).

A região norte foi a que apresentou a menor quantidade produzida, devido ao fato de estar inserida na área de Amazônia Legal, que preconiza a preservação de 80% da propriedade para a reserva legal (LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012. Art 12 cap I) (BRASIL, 2016), o que impede a ampliação das áreas produtivas e, conseqüentemente, da produção.

### **1.1.6 O NITROGÊNIO E A CULTURA DO MILHO**

O nitrogênio (N), na cultura do milho, é um dos principais nutrientes que influenciam na produtividade de grãos, pois, participa de inúmeras rotas metabólicas. No solo está presente na matéria orgânica (MO), necessitando de transformações para estar

disponível às plantas, sendo absorvido na forma nítrica ( $N-NO_3^-$ ) e amoniacal ( $N-NH_4^+$ ). Nos sistemas de produção as fontes nitrogenadas mais utilizadas são a ureia [ $CO(NH_2)_2$ ] e sulfato de amônio [ $(NH_4)_2SO_4$ ]. Devido as transformações no solo, o N é considerado um elemento dinâmico e com relações complexas, que geram controvérsias e discussões com relação à sua fonte e modo de aplicação no milho (DEMARI,2014).

O N é importante no metabolismo vegetal, pois participa na biossíntese de proteínas e clorofilas, sendo necessária desde os estádios fenológicos iniciais de desenvolvimento da planta (BASSO e CERETTA, 2000), e segundo Sangoi et al. (2008) participa de inúmeras rotas metabólicas, importantes na bioquímica das plantas (ANDRADE et al., 2003).

É constituinte de biomoléculas como ATP, NADH, NADPH, proteínas de armazenamento, ácidos nucleicos e enzimas (HARPER, 1994), constituinte das moléculas de citocromos, e clorofila (BULL, 1993). Isso mostra que o nitrogênio está correlacionado diretamente com o desenvolvimento vegetal e produtividade. Dentre as principais culturas de interesse agrônomo, o milho expressa dependência nutricional, principalmente de nitrogênio (CANCELLIER 2011).

Estudos conduzidos por Taiz & Zeiger (2009) evidenciam dependência direta do milho na utilização de nutrientes na forma mineral, onde grandes quantidades refletem positivamente no rendimento de grãos.

Segundo Calonego (2012) a eficiência na absorção e translocação do N para os grãos é um fator de extrema importância, pois influencia diretamente na produtividade.

Conforme Basi et al. (2011) o N tem influência sobre a qualidade da silagem de milho, afirmam que a qualidade dos grãos é afetada positivamente quando utilizado o nitrogênio, pois a planta bem nutrida com nitrogênio produz uma silagem de maior valor nutricional.

É o que afirmam Ferreira et al. (2001) ao estudarem características agrônomicas com a utilização de nitrogênio, concluíram que a adubação nitrogenada melhorou a qualidade dos grãos, aumentando os teores de proteína e nutrientes minerais, intervindo de forma positiva no número de espigas por planta, massa de espigas, e a massa de mil sementes aumentando de acordo com as doses nitrogenadas.

Outro fator importante para a determinação da adubação nitrogenada em milho é a diferença no aproveitamento e na assimilação do N entre os híbridos (NUNES et al., 2013).

A partir da emergência do milho inicia-se a absorção de nitrogênio pelas raízes, conforme Ta & Weiland (1992) o N absorvido no desenvolvimento inicial tem função estrutural da planta, e pouco será armazenado e translocado.

O milho é uma cultura que remove grandes quantidades de nitrogênio e usualmente requer o uso de adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo, quando se deseja produtividades elevadas (COELHO; FRANÇA,2006).

Segundo Rehagro 2017, a fonte de nitrogênio a ser utilizada será um fator decisivo no modo e época de aplicação, evitando perdas e aumentando a velocidade de disponibilidade deste nutriente para a planta. Para adubação na cultura do milho, são usadas basicamente três fontes de nitrogênio: Ureia (45 % N), Sulfato de Amônio (20 % N e 22-24 % S) e Nitrato de Amônio (32 % N).

Meira (2009), em experimentos avaliando diferentes dosagens e fontes distintas de Nitrogênio, concluiu que a produção de grãos aumenta com o acréscimo na dosagem do nutriente, porém não há diferença entre as fontes de nitrogênio utilizadas.

O fornecimento de nitrogênio(N), no momento correto e em dose adequada, é fundamental para o ótimo desenvolvimento e crescimento da cultura do milho (COELHO et al., 1992) e é o nutriente que mais onera o custo de produção dessa cultura (AMADO et al., 2002). Mesmo utilizando fertilizantes químicos, a definição da dose ideal de N é difícil, devido à dinâmica do nitrogênio no solo, que envolve volatilização, imobilização por microorganismos e lixiviação além da diversidade de resposta dos híbridos de milho ao nitrogênio (GODOY et al., 2003).

A disponibilidade de nitrogênio afeta diretamente o desenvolvimento da área foliar e a taxa de fotossíntese (GODOY JÚNIOR e GRANER, 1964; LEMAIRE & GASTAL, 1997).

Quando há deficiência de N ocorre diminuição da duração das folhas verdes (metabolicamente ativas) interferindo na produção de massa seca (MALAVOLTA et al., 1976) e conseqüentemente sobre a produtividade da cultura. A taxa de fotossíntese é prejudicada porque há diminuição da radiação interceptada pelas folhas. O N também afeta o crescimento do sistema radicular, o tamanho das espigas, o número e massa de grãos e sanidade de grão, além de componentes da produtividade como a massa de 1000 grãos e número de espigas por planta (MELGAR et al., 1991); a altura de plantas (DAVIDE, 1967); o comprimento da espiga (BALKO e RUSSEL, 1980); o diâmetro do

colmo (PEREIRA FILHO, 1977); a inserção da espiga, e o número de plantas acamadas e quebradas (GODOY JÚNIOR e GRANER, 1964).

## 1.2- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMILHO – **Associação Brasileira das Indústrias do Milho**. Estatísticas. Disponível em <<http://www.abimilho.com.br/estatisticas>>. Acesso em: 10 de jun. 2016.

ADUBAÇÃO Nitrogenada na cultura do milho: Disponível em <<http://rehagro.com.br/adubacao-nitrogenada-na-cultura-do-milho/>>. Acesso: 25/03/2017.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.241- 248, 2002.

ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. M.; QUEIROZ, D. S.; SALGADO, L. T.; CECON, P. R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetumpurpureumschum. cv. napier*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, p. 1643-1651, dez. 2003. Edição especial.

ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 2004. v. 39, p. 771-777.

ARGENTA, G. et al. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2003. v. 27, p. 109-119.

BALKO, L.G.; RUSSEL, W.A. Response of maize inbred lines to N fertilizer. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.723-732, 1980.

BANERJEE, M.R.; BURTON, D.L.; GRANT, C.A. Influence of urea fertilization and urease inhibitor on the size and activity of the soil microbial biomass under conventional and zero tillage at two sites. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 79, p. 255-163, 1999.

BASI, S.; NEUMANN, M.; MARAFON, F.; UENO, R.K.; SANDINI, I.E. Influência da adubação nitrogenada sobre a qualidade da silagem de milho. **Pesquisa Aplicada &**

**Agrotecnologia**. v4. n3. set/dez. (2011). Disponível em: <http://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/1433/1587>. Acesso: 28/03/2016.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:905-915, 2000. Disponível em: <http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v24n4a22.pdf>. Acesso: 04/07/2017.

BELOW, F. E. **Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho**. Piracicaba: Potafós, 2002. p. 7-12. (Informações Agronômicas, 99).

BRASIL. Presidência da republica. **Casa civil subchefia para assuntos jurídicos**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm) acesso em: 13 de junho de 2016.

BOBATO, A. **Índice nutricional do nitrogênio**: uma ferramenta para o diagnostico do estado nutricional da cultura do milho. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. 76p.

BOUWMEESTER, R.J.B.; V.L.E.K., P.L.G.; STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from an urea-fertilized soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, p. 376-381, 1985.

BORTOLINI, C.G. **Eficiência do método de adubação nitrogenada em pré-semeadura do milho implantado em semeadura direta após aveia preta** . 2000. 48f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BREMNER, J.M.; CHAY, H.S. Evaluation of N-butyl phosphorothioic triamide for retardation of urea hydrolysis in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 17, n. 3, p. 337-351, 1986.

BREMNER, J.M.; McCARTY, G.W.; HIGUCHI, T. Persistence of the inhibitory effects of phosphoroamides on urea hydrolysis in soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 22, p. 1519-1526, 1991.

BREMNER, J.M. Recent research on problems in the use of urea as a nitrogen fertilizer. **Fertilizer Research**, v. 42, n. 1-3, p. 321-329, 1995.

BRONSON, K.F.; TOUCHTON, J.T.; HILTBOLD, A.E.; HENDRICKSON, L.L. Control of ammonia volatilization with N-(n-butyl) thiophosphoric triamide in loamy sands. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, v. 20, n. 13-14, p. 1439-1451, 1989.

BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. P.63-146.

BURESH, R.J.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. Labeled nitrogen fertilizer research with urea in the semi-arid tropic. I. Greenhouse studies. **Plant and Soil**, v. 80, p. 3-19, 1984.

CABEZAS, W.A.R.L.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 481-487, 1997a.

CABEZAS, W.A.R.L.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH<sub>3</sub> volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, n. 3, p. 345-352, 1990.

CABEZAS, W.A.R.L.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 489-496, 1997b.

CALONEGO, J. C.; PALMA, H. N.; FOLONI, J. S. S. Adubação nitrogenada foliar com sulfato de amônio e ureia na cultura do milho. **Journal of Agronomic Sciences**,

Umuarama, v. 1, n. 1, p. 34-44, 2012. Disponível em: <http://dca.uem.br/V1N1/04-Juliano.pdf>. Acesso: 30/06/2017.

CAMARGO, P. B. et al. Destino do N de fertilizantes – N 15 (uréia e aquamônia) aplicados na cultura da cana-de-açúcar. I. Deslocamento no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 22., 1989, Recife. **Resumos.** .. Recife : SBSCS, 1989. p.70-71.

CANCELLIER, L. L.; AFFÉRI, F. S.; CARVALHO, E. V.; DOTTO, M. A.; LEÃO, F. F. Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 139-148, jan-mar, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rca/v42n1/v42n1a18.pdf>. Acesso: 01/05/2016.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba, POTAFOS, 1993. p.148-196.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M.J.; RESENDE, L.C.L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: Congresso Nacional da STAB, 7. **Anais Álcool Subpr.**, Londrina, p. 82-87, 1999.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Uso de inibidor de uréase para aumentar a eficiência da uréia. In: Simpósio sobre Informações Recentes para Otimização da Produção Agrícola, **Anais do Simpósio sobre Informações Recentes para Otimização da Produção Agrícola**, Piracicaba, 2007 (15 a 16/03/2007). CD-Rom (19 p.).

CHRISTIANSON, C.B.; BYRNES, B.H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**, v. 26, p. 21-27, 1990.

CLAY, D.E.; MALZER, G.L.; ANDERSON, J.L. Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification and hydrolysis inhibitors. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, p. 263-266, 1990.

COELHO, A.M. **Balço de nitrogênio (15N) na cultura do milho (*Zea mays* L.) em um Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras. 1987. 142p.

COELHO, A. M.; FRANCA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, p.61-67, 1992.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G. E. de; BAHIA FILHO, A. F. C. **Nutrição e adubação do milho.** In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2006. p. 1-10. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 78).

COELHO, A. M.;FRANÇA,G.E;PITTA,G.V.E.;ALVES,V.M.C. **Cultivo do milho:** diagnose foliar do estado nutricional da planta. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 5 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 45).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Pesquisa de safras e informações geográficas da agricultura brasileira.– abril/2017.** Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1534&t=2/arquivos/17\\_05\\_17\\_16\\_32\\_32\\_0203\\_boletim\\_graos\\_Abril\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1534&t=2/arquivos/17_05_17_16_32_32_0203_boletim_graos_Abril_2017.pdf)>. Acesso em: 10 Abril. 2017.

CORDEIRO, L. A. M.; HOEK, J. B. V. D. Nitrogênio na cultura do milho sob sistema plantio direto. **Revista Factuciência**, Unai, 2007.v. 13, p. 27-54.

COSTA,N.L.;Desenvolvimento sustentável e a agricultura itinerante. **Agrolink**,2005. Disponível em: < [https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/desenvolvimento-sustentavel-e-a-agricultura-itinerante\\_384078.html](https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/desenvolvimento-sustentavel-e-a-agricultura-itinerante_384078.html)>. Acesso em:28 jun. 2017,23:21:30.DAVIDE, J.G. The effect of fertilizer and population density on the grow and yield of corn in the Philippines. *Philippine Agriculturist*, Laguna, v.14, n.10, p.573-580, 1967.

DEMARI,G.H. **Fontes e parcelamento do nitrogênio na cultura do milho**.2014.69 f. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação e Agronomia: Agricultura e Ambiente)-Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul,2014.

DUARTE,J.O.;MATTOSO,M.J.;GARCIA,J.C. **Árvore do conhecimento Milho**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica,2017.Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_8\\_168200511157.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_8_168200511157.html)> . Acesso em: 20 jun. 2017, 21:53:30.

ERREBHI, M. et al. Potato yield response and nitrate leaching influenced by nitrogen management. *Agronomy Journal* , v.90, n.1, p.10-15, 1998.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2ª ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.

FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 1, p. 131-138, jan./mar. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sa/v58n1/a20v58n1.pdf>. Acesso: 28/03/2016.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576p.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1049-1056, 2003.

GODOY JUNIOR, C; GRANER, E.A. Milho: adubação mineral nitrogenada. IV – Parcelamento do calnitro. **Revista da Agricultura**, v.39, p.185-189, 1964.

HARPER, J. E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K. J. et al. Physiology and determination of crop yield. **American Society of Agronomy**, 1994. Cap.11A, P. 285-302.

LANDAU, E. C.; GARAGORRY, L. F.; FILHO, H. C.; GARCIA, J. C.; DUARTE, CRUZ, J. C. **Áreas de Concentração da Produção Nacional de Milho no Brasil. XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo**. 2010, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F.N. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRES, G (Org.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin: Springer, 1997. p.3-43.

LIANG, B.C.; MACKENZIE, A.F. Corn yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 74, n. 2, p. 235-240, 1994.

MALAVOLTA, E. **ABC DA ADUBAÇÃO**. 4ª Edição, Editora Agronômica Ceres Ltda, 1979. 255p.

MALAVOLTA, E.; BASSO, L.C.; OLIVEIRA, G.D. et al. Estudos sobre a nutrição mineral do milho. Efeito de doses crescentes de N, P e K no crescimento, na produção e na composição mineral da variedade „Piranão“ em condições controladas. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**. Piracicaba, v.33, p.479-499, 1976.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo. 1989. 201p.

MALHI, S.S.; GRANT, C.A.; JOHNSTON, A.M.; GILL, K.S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil & Tillage Research**, v. 60, n. 3-4, p. 101-122, 2001.

MALHI, S.S.; OLIVER, E.; MAYERLE, G.; KRUGER, G.; GILL, K.S. Improving effectiveness of seedrow-placed urea with urease inhibitor and polymer coating for durum wheat and canola. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, n. 11-12, p. 1709-1727, 2003.

McCARTY, D.B.; NELSON, D.W.; HUBER, D.W. Effect of N-(n-butyl) thiophosphoric triamide on hydrolysis of urea by plant, microbial, and soil urease. **Biology Fertility of Soils**, v. 8, p. 123-127, 1989.

MEIRA, F.A. **Fontes e Épocas de Aplicação do Nitrogênio na Cultura do Milho Irrigado**. Seminário: Ciências Agrárias, v. 2, p. 275-284, Londrina-PR. 2009.

MELGAR, R.J. et al. Doses e épocas de aplicação do fertilizante nitrogenado para milho em Latossolo da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.15, p.289-296, 1991.

MELO, F.A.F. **Ureia fertilizante**. Campinas : Fundação Cargill, 1987. 192p.

MENGEL, D. **Manejo de nutrientes na cultura do milho de alta produtividade**. Piracicaba : Potafós, 1996. 16p. (Informações Agronômicas, 73).

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – **MAPA**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>> Acesso em: 30 de Dez. 2015.

MOBLEY, H.L.; HAUSINGER, R.P. Microbial ureases: significance, regulation, and molecular characterization. **Microbiology and Molecular Biology. Reviews**, v. 53, n. 1, p. 85-108, 1989.

NUNES, E. N.; MONTENEGRO, I. N. A.; NASCIMENTO, D. A. M; SILVA, D. A.; NASCIMENTO, R. Análise de crescimento e assimilação de nitrogênio em plantas de milho (*Zeamays L.*). **Revista Verde** (Mossoró – RN - Brasil), v. 8, n. 4, p. 72 - 76, out – dez, 2013. Disponível em:

[http://gvaa.dominiotemporario.com/revista/index.php/RVADS/article/viewFile/1977/pdf\\_795](http://gvaa.dominiotemporario.com/revista/index.php/RVADS/article/viewFile/1977/pdf_795). Acesso: 28/03/2016.

OKUMURA,R.S.;MARIANO,D.C.Aspectos agronômicos da ureia tratada com inibidor de uréase.**Ambiência-Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**,Guarapuava,v.8,p.403-414,mai/ago.2012.

OKUMURA,R.S.;MARIANO,D.C.;ZACCHEO,P.V.C.Usos de fertilizante nitrogenado na cultura do milho:uma revisão.**Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**,Guarapuava-PR,v.4, p.226-244,2011.

OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C. **Efeitos de fontes e doses de nitrogênio aplicado em cobertura nas culturas de trigo, milho e algodão**. In: OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C. Resultados de pesquisa, 1/95. Cascavel: OCEPAR, 1995. 48 p.

OLIVEIRA,J.I.P. **Avaliação de Ureia de liberação lenta na cultura do milho (*Zea mays* L.)**.2015.33 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul,Ijuí,2015.

PEREIRA, H. S. et al. Ammonia volatilization of urea in the the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2009. v. 33, n. 6, p. 1685-1694.

PEREIRA FILHO, I.A. **Comportamento dos cultivares de milho (*Zea mays* L.) ‘Pirañao’ e ‘Centralmex’ em diferentes condições de ambientes, espaçamentos e níveis de nitrogênio**. 1977. 84 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1977.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: UFRRJ, 1998. 158 p.

PIONEER Sementes. **O milho no Brasil, sua importância e evolução**. 2014. Disponível em: <http://www.pioneersementes.com.br/Media-Center/Pages/Detail-do-Artigo.aspx?p=165>>. Acesso em: 09 jul. 2015.

- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343 p.
- RAWLUK, C.D.L.; GRANT, C.A.; RACZ, G.J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 81, p. 239–246, 2001.
- RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 37-43, 1986.
- ROGERI, D. A. **Suprimento e perdas de N no solo decorrentes da adição da cama de aves**. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages: UDESC. 2010.
- SÁ, J.C.M. **Plantio direto: Transformações e benefícios ao agroecossistema**. In: J.C.M.Sá. (Org.). Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto. 1 ed. Castro-PR: Fundação ABC, 1995, v. 1, p. 1-14.
- SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L; GRACIETTI, M. A.; HORN, D.; SCHWEITZER, C.; SCHMITT, A.; BIACHET, P. Rendimento de grãos, produção e distribuição de massa seca de híbridos de milho em função do aumento da densidade de plantas. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 11, n. 1, p. 25-31, jan-mar, 2005. Disponível em: <http://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/view/1163/958>. Acesso:03/08/2016.
- SCHLEGEL, A.J. Reduced ammonia phytotoxicity from uan solution by the urease inhibitor n-(normal-butyl) thiophosphoric triamide. **Journal of Fertilizer**, v. 8, n. 2, p. 40-44, 1991.
- SILVA, E.C. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2005. v. 29, n. 3, p. 353-362.

TA, C. T.; WEILAND, R. T. **Nitrogen partitioning in maize during ear development**. *Crop Science*, v. 32, p. 443-451, 1992.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 4.ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2006. 720 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed., 842 p., Artmed, Porto Alegre, 2009.

TERMAN, G.L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Advances in Agronomy**, v. 31, p. 189-223, 1979.

ULLOA, A. M. C.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. **Utilização do nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1982. 66 p.

WATSON, C.J. Urease activity and inhibition – Principles and practice. London: **The International Fertilizer Society**. Proceedings No. 454. 40p. 2000.

WATSON, C.J.; MILLER, H.; POLAND, P.; KILPATRICK, D.J. .; ALLEN, M.B.D.; GARRET, M.K.; CHRISTIANSON, C.B. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide (nBTPT) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, p. 1165-1171, 1994a.

WHITE, R.E. Leaching. In: WILSON, J. R. *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*. Wallingford : C.A.B. International, 1987. p.193-211

## 2. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos principais cereais produzidos no Brasil. A sua importância econômica é caracterizada pelas diversas formas do seu aproveitamento, que vai desde a alimentação humana até a indústria de alta tecnologia (CRUZ et al,2011).

Dada a importância da cultura, é natural pesquisas direcionadas aos tratamentos culturais, principalmente no tocante a nutrição mineral, uma vez que o milho é exigente em muitos elementos minerais, sobretudo o nitrogênio (N). O seu inadequado fornecimento e os baixos teores no solo são fatores limitantes a produtividade de grãos (CIVARDI et al., 2011), devido influenciar nos processos bioquímicos da planta (TAIZ; ZEIGER, 2013), o que determina o desenvolvimento das plantas com aumento significativo na área foliar e na produção de massa seca (OLIVEIRA et al., 2009), consequentemente, em maior produtividade de grãos.

Os fertilizantes nitrogenados são produzidos principalmente a partir de combustíveis fósseis não renováveis e, quando usados em grandes quantidades ou em condições inadequadas, podem perder N por erosão, lixiviação, desnitrificação e volatilização (LARA CABEZAS et al., 2000).

Fertilizantes conhecidos como fertilizantes especiais ou de eficiência aprimorada, tem ampliado a sua participação no mercado dos fertilizantes, sendo o NBPT ( Tiofosfato de N-(n-butil) triamida ) é atualmente o inibidor de uréase que tem grande importância comercial e prática na agricultura, sendo comercializado em mais de 70 países (TRENKEL, 2010). A adição do inibidor à UR tem reduzido a volatilização de NH<sub>3</sub> em torno de 60%, aumentando a eficiência de uso do N e a produtividade das culturas, sendo eficiente em baixas concentrações (WATSON et al., 1994; TRENKEL, 1997; RAWLUK et al., 2001; CANTARELLA et al., 2008; 2009).

O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da aplicação de doses de fertilizante nitrogenado tratado com inibidor de uréase (NBPT) nos componentes fitotécnicos, troca gasosa, bioquímicos e nutricionais que influenciam no desenvolvimento vegetativo do milho em duas texturas distintas de Latossolo amarelo da Amazônia oriental.

### 3.1- MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1.1 CARACTERIZAÇÕES DA ÁREA E COLETA DO SOLO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, apresentando como coordenadas geográficas 48°26'33.43" de longitude Oeste de Greenwich e 1°27'12.88" de latitude Sul (ilustração 1), no período de abril a junho de 2016 no município de Belém.

**Ilustração 1.** Casa de vegetação do setor de solos UFRA-Belém.



**Fonte:** Autor

Foram coletados no município de Paragominas, distante 300 km de Belém, em área de capoeira aberta, 150 kg de solo com textura argilosa. E na EMBRAPA Amazônia Oriental, em área de capoeira secundária, foi coletado 150 kg de solo de textura franco arenosa, ambas as coletas foram realizadas na camada arável de 0 a 0,20 m, posteriormente as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas para análises no laboratório de solos da UFRA. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013), estão apresentados na Ilustração 2.

**Ilustração 2.** Texturas de Latossolo Amarelo Distrófico

**Fonte:** Autor

### 3.1.2 ANÁLISES QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DO SOLO

Após o acondicionamento, as amostras foram secas ao ar, e passadas em peneiras com malha de 5 mm. Em seguida foram coletadas amostras compostas de cada textura e em laboratório, foram realizadas as análises químicas e granulométricas (Tabela 1) de acordo com metodologia proposta por Raij et al. (2001).

**Tabela 1.** Análise química do solo estudado nas suas diferentes texturas.

	pH*	N	P**	K	Na	Ca	Ca+Mg	Al
		%	----- -	mg/dm <sup>3</sup>	-	-----	cmol/dm <sup>3</sup> -----	
Franco Arenoso	4,6	0,05	6	22	14	0,3	0,5	1,4
Argiloso	4,9	0,07	4	69	5	0,8	1,1	0,2

\*água

\*\* extrator Mehlich

**Tabela 2.** Análise física do solo estudado nas suas diferentes texturas.

Textura	Prof. (m)	Granulometria		
		Areia	Silte	Argila
		-----	(g/kg)	-
Franco Arenoso	(0-0,2)	784	96	120
Argiloso	(0-0,2)	136	324	540

### 3.1.3 DELINEAMENTOS EXPERIMENTAL E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, com cinco repetições, totalizando 50 unidades experimentais. Os fatores foram cinco doses de nitrogênio na forma de Ureia revestida por NBPT (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N), distribuídas nos vasos de 5 dcm<sup>3</sup> que continham solos de texturas franco arenosa e argilosa. Como planta indicadora, para avaliação dos resultados, foi cultivada o milho (*Zea mays* L.) híbrido AG 1051, possui ciclo semiprecoce, porte de planta alta, inserção de espiga alta, um excelente sistema radicular, boa qualidade de colmo, excelente empalhamento e tipo de grão dentado amarelo. O mesmo é uma ótima opção para silagem de planta inteira e milho verde, e possui um potencial produtivo de 45.000 – 50.000 plantas/ha.

Inicialmente, após o preenchimento dos vasos, foi realizada a incubação do solo, por um período de 30 dias, com a finalidade, de corrigir a acidez do solo e propiciar condições adequadas para crescimento das plantas por meio da aplicação de calcário dolomítico com PRNT de 96%, adotou-se a recomendação de 2,8 t ha<sup>-1</sup> para o solo de textura franco arenosa e 0,9 t ha<sup>-1</sup> para o solo de textura argilosa, as doses foram calculadas utilizando o método do alumínio trocável que tem por finalidade neutralizar o teor de alumínio trocável e/ou fornecer cálcio e magnésio ao solo. Após a incubação, foi realizado o semeio, com 3 sementes/vaso, e posteriormente realizado o desbaste, deixando-se uma planta em cada vaso.

Os vasos contendo os solos de duas texturas, ou seja: textura franco arenosa e argilosa, foram inicialmente saturados com água e drenados por aproximadamente 2 horas, até a obtenção de 60% da capacidade de retenção de água para, em seguida serem pesados. As irrigações subsequentes do experimento foram efetuadas com base na pesagem diária dos vasos, em que aplicou o volume de água obtido pela diferença entre a pesagem atual e a anterior. Após a determinação das necessidades de água, os tratamentos foram aplicados.

A distribuição dos tratamentos com as doses de N, tomou-se por base às recomendações de adubação para cultura segundo a análise do solo realizada. Para o solo de textura franco arenosa a adubação de fundação foi de 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (super fosfato triplo), 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) e 30 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR 12 (micronutriente

contendo: B, Cu, Fe, Mn e Mo). No solo de textura argilosa a adubação foi de 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (super fosfato triplo), 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) e 30 kg ha<sup>-1</sup> FTE BR 12 (micro).

As doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N) foram aplicadas no período em que as plantas apresentarem 4 folhas completas (estádio fenológico V<sub>4</sub>) com a adubação em cobertura de uma só vez, como parte dos tratamentos realizados, visando reduzir os custos de parcelar a adubação e verificar a eficiência do tratamento em aplicação única.

Ao completar o estágio vegetativo V<sub>10</sub> foi realizado a coleta dos dados biométricos de altura e diâmetro das plantas com o uso de fita métrica e paquímetro, respectivamente. A medição de altura foi feita a partir do solo até a porção final da folha mais longa. O diâmetro foi medido do centro do vaso até a altura de 6 cm. Ao fim das medições, foram feitas as coletas de material vegetal (raíz, colmo e folha), separando-os em saco de papel identificados e pesados, para obtenção de massa úmida.

Para a estimativa da área foliar das plantas, foram coletadas as folhas em cada tratamento, sendo esta determinada com o uso do medidor LI-3100 da empresa LI-COR (Ilustração 3). A área foliar total, por planta, foi determinada em cm<sup>2</sup>. Posteriormente, os valores da área foliar total foram divididos pela massa seca da folha, determinando-se assim a área foliar específica. Em seguida, as amostras foram levadas para secagem em estufa de circulação forçada de ar a 60°C, até atingirem peso constante, e assim determinando a fitomassa seca. Posteriormente processou-se a moagem do material em moinho tipo Willey, e retiradas sub-amostras.

**Ilustração 3.** Analisador de área foliar.



**Fonte:** Autor

Para determinação da relação parte aérea/ raiz, foi utilizado o peso seco de folha mais o peso seco de caule dividindo pelo peso seco de raíz. Assim determinando a relação A/R.

### 3.1.4. DETERMINAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS NAS FOLHAS

As trocas gasosas foram determinadas na primeira folha expandida e fotossinteticamente ativa, a partir do ápice para a base. A taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática ao vapor d'água (Gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e taxa de transpiração (E) foram estimados no intervalo de 08:00 às 11:00 h (hora solar) usando um sistema portátil de fluxo aberto de trocas gasosas (LI-6400XT, LI-COR Inc., Lincoln, NE) sob uma concentração de CO<sub>2</sub> externo de 400  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de ar e PAR artificial de 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Todas as medições foram realizadas a 28 °C e o déficit de pressão de vapor foi mantido em aproximadamente 1,3 kPa. A quantidade de luz azul foi ajustada para 10% da irradiância de fótons fotossintéticos para otimizar a abertura estomática.

**Ilustração 4.** IRGA-Analisador de trocas gasosas por infravermelho.



**Fonte:** Autor

### 3.1.5. COLETA E ARMAZENAMENTO DO MATERIAL

A coleta das plantas ocorreu aos 46 DAS (dias após a semeadura) às 06:00 h. Parte desse material, no estado fresco, juntamente com as raízes (terço distal) foi reservado para a determinação da atividade da redutase do nitrato (RN). As plantas foram posteriormente separadas em folhas e raízes, envolvidas em papel alumínio e armazenadas em ultrafreezer a - 80 °C. Para a determinação das atividades enzimáticas e análises bioquímicas, o material vegetal foi primeiramente congelado em nitrogênio líquido sendo posteriormente liofilizado. O material seco foi triturado em moinho até a obtenção de um pó fino e, devidamente armazenado em tubos falcon até a sua utilização nos ensaios.

### SOLUTO ORGÂNICO

#### Obtenção dos extratos

Os extratos para a determinação dos solutos orgânicos foram obtidos a partir de 100 mg do pó liofilizado de folhas e raízes, os quais foram adicionados em tubos de ensaio de 15 mL. O material foi homogeneizado com 10 mL de tampão fosfato de potássio a 100 mM, pH 7,5, contendo NaCl a 0,1 M. O homogenato resultante permaneceu em agitação por 30 min e, em seguida, foi centrifugado a  $3.000 \times g$ , por 10 min. O sobrenadante (extrato) coletado, filtrado em papel de filtro e armazenado em frascos de vidro a -20 °C.

#### N-aminossolúveis

Os teores de N-aminossolúveis foram determinados de acordo com o método de Yemm e Cocking (1955). Em tubos de ensaio, foram adicionados 0,5 mL dos extratos devidamente diluídos, 0,25 mL de tampão citrato a 0,2 M (pH 5,0), 0,5 mL de KCN a 0,2 mM, em metilcelosolve, e 0,1 mL de ninhidrina a 5%, em metilcelosolve. Após terem sido bem homogeneizados em vórtex, os tubos foram hermeticamente fechados e colocados em banho-maria por 20 min à temperatura de 100 °C. Em seguida, a reação foi interrompida em banho de gelo e, após o resfriamento, foram adicionados 0,65 mL de etanol a 60%. Os teores de N-aminossolúveis foram estimados através de leituras de absorvância em 570 nm, tendo como referência uma curva padrão de glicina. Cada extrato e suas repetições foram dosados em duplicata, sendo os resultados expressos em  $\mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$ .

## METABOLISMO DO NITROGÊNIO

### Nitrato

#### Obtenção do extrato

Foram adicionados 100 mg de pó liofilizado de folhas e raízes em tubos de ensaio contendo 5 mL de água destilada. Em seguida, o material foi colocado em banho-maria a 100 °C por 30 minutos. Após esse período, os tubos de ensaio foram colocados sobre a bancada para resfriar à temperatura ambiente (25 °C), sendo posteriormente centrifugados a  $3.000 \times g$ , por 10 min. O sobrenadante foi coletado em tubo de ensaio e o precipitado foi ressuspensionado com outros 5 mL de água destilada, sendo repetido o procedimento da extração anterior. Em seguida, os extratos foram coletados em um tubo de ensaio graduado e o volume foi completado com água destilada até atingir 10 mL. Os extratos obtidos foram congelados a -20 °C para posterior análise. Os teores de nitrato foram determinados de acordo com Cataldo et al. (1975), com pequenas modificações, sendo os valores das alíquotas reduzidos para  $\frac{1}{4}$  dos mencionados por esses autores. A reação foi preparada em tubo de ensaio, contendo 100  $\mu\text{L}$  do extrato e 200  $\mu\text{L}$  de solução de ácido salicílico a 5% (p/v), em ácido sulfúrico concentrado e, posteriormente, os tubos foram levados a agitação em vórtex. Imediatamente após esse processo, os tubos de ensaio foram colocados sobre a bancada por 20 min até atingir a temperatura ambiente e imediatamente após esse processo, foram adicionados 4.700  $\mu\text{L}$  de NaOH a 2 M, sendo a solução vigorosamente agitada até atingir pH 12. A absorbância foi determinada em 410 nm, tendo como referência uma curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de  $\text{KNO}_3$  usando a água destilada e reagente como o branco. Cada extrato e suas repetições foram dosados em duplicata, sendo os resultados expressos em m mol de  $\text{NO}_3^-$  - kg<sup>-1</sup> MS de tecido.

### Proteínas solúveis

#### Obtenção do extrato

Para a preparação do extrato, em tubos de ensaio de 15 mL, adicionaram-se 100 mg de pó liofilizado de folhas e raízes e depois 5,0 mL do tampão de Tris-HCl a 25 mM, pH 7,6. Em seguida, deixou-se sob agitação durante 2 h em agitador orbital com os tubos devidamente lacrados. Após a extração, os tubos foram centrifugados em centrífuga de bancada a  $2.000 \times g$ , por 10 min, sendo o sobrenadante coletado para a dosagem das proteínas solúveis.

Os teores de proteínas solúveis foram determinados pelo método descrito por Bradford (1976). Para isso, foi preparado previamente o reagente de Bradford. Para isso, foram adicionados 105,26 mg de Comassie Brilliant Blue G (SIGMA 95%) em um béquer (revestido com papel alumínio) e acrescentados 50 mL de álcool etílico. A mistura foi deixada sob agitação por 15 min. Imediatamente após essa etapa, a solução foi transferida para um balão volumétrico de 1000 mL igualmente revestido em papel alumínio. Foram adicionados 100 mL do ácido fosfórico a 85% e completado o volume para 1000 mL com água destilada. Foram realizadas duas filtrações com papel de filtro. Em seguida, foram adicionados em tubos de ensaio 100  $\mu$ L da amostra e 2,5 mL do reagente de Bradford, os tubos foram agitados delicadamente (para não desnaturar as proteínas). A mistura foi deixada em repouso por 15 min, sendo então submetida à leitura de absorbância em 595 nm. Como padrão, foi utilizado a albumina de soro bovina. Cada extrato foi dosado em duplicata, sendo os teores de proteínas solúveis expressos em mg proteína g<sup>-1</sup> MS de tecido.

#### Concentrações de amônio livre

##### Obtenção do extrato

Foram pesados 50 mg de massa seca (MS) das raízes e das folhas em pó, e colocados em tubos de ensaio de 15 mL, adicionando-se 5 mL de água destilada e levados ao banho-maria por 30 min a 100 °C. Após a extração as amostras foram centrifugadas em centrífuga de bancada (1000 rpm) e os sobrenadantes coletados para obtenção do extrato total. Nos tubos de ensaio foram acrescentados 400  $\mu$ L de extrato total + 2,5 mL da solução A (5 g de fenol + 0,025 g de nitroprussiato de sódio/ 500 mL de água destilada) e homogeneizado em vórtex, acrescentando mais 2,5 mL da solução B (2,5 g de NaOH + 12,6 mL de hipoclorito de sódio/ 500 mL de água destilada) e foram agitados novamente em vórtex, levando-os ao banho-maria por 20 min a 37 °C. Após esse período foram removidos do “banho-maria” e deixados em repouso por 40 min, em seguida, levados para fazer a leitura no espectrofotômetro a 625 nm e usando-se água destilada (em substituição ao extrato) + reagentes como branco. As concentrações de amônio livre foram estimadas a partir da curva-padrão construída com (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> p.a (Sigma). Os resultados foram expressos em mmol de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/ kg de MS. Para isso utilizou-se o método descrito por (WEATHERBURN, 1967).

## TEORES DE NUTRIENTES

Para determinação de nitrogênio foi realizada através da solubilização sulfúrica seguida do método semi-micro Kjeldahl, no analisador elementar. Neste caso, é determinado o N total. Técnica de solubilização úmida, seguida por destilação a vapor e titulação para a quantificação do  $\text{NH}_4$ . A solubilização sulfúrica ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  + catalisadores) transforma proteína e aminoácidos do tecido vegetal em  $\text{N-NH}_4$  que é destilado e complexado em ácido bórico com indicador misto, e titulado com solução padronizada de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  diluído. (EMBRAPA 2000).

Para determinar potássio, através de espectrometria de chama o método é baseado na atomização das partículas da solução através da projeção da solução sobre uma chama. Há uma excitação dos átomos, isto é, o deslocamento dos elétrons para níveis energéticos mais elevados; quando os átomos voltam ao nível energético normal, há emissão da energia absorvida na forma de radiações. Os átomos excitados dos nutrientes potássio e sódio, emitem luz a certos comprimentos de onda que são característicos para aquele elemento. Como a intensidade da luz emitida por cada nutriente depende da concentração de seus átomos, a medida possibilita sua determinação quantitativa.

O método de análise de fósforo no tecido vegetal de milho foi através espectrometria com amarelo de vanato, onde o ânion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  reage com molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) e vanadato ( $\text{VO}_3^{2-}$ ), em meio ácido, formando um complexo de coloração amarela que absorve a luz na região de 620nm.

Para determinação de Ca e Mg foi utilizada a técnica de espectrometria de absorção atômica (EAA), a solução amostra é aspirada e nebulizada em uma chama ar-acetileno ou óxido nitroso-acetileno e convertida em vapor atômico. Alguns destes átomos serão termicamente excitados pela chama, mas a maioria deles permanecerá em seu estado fundamental. Para serem excitados, estes átomos precisam absorver radiação específica proveniente de uma lâmpada de cátodo oco, que emite radiação no mesmo comprimento de onda que será absorvido por eles, na chama. Os metais das soluções aspiradas na chama a 2.000-2.500 °C transformam-se em seu estado fundamental. O átomo de cada elemento químico absorve a energia em um comprimento de onda definida. A quantidade de energia absorvida é proporcional à concentração da solução. No extrato resultante da oxidação do material vegetal pela digestão nítrico-perclórica, o Ca e o Mg são determinados por este método, utilizando-se lâmpada de cátodo oco. Para determinação destes elementos, é necessária a adição de lantânio e estrôncio para controlar a interferência de íons como fosfato, sulfato e alumínio.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, com as texturas analisadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e o efeito das doses de nitrogênio estudado por análise de regressão ao nível de significância de 5%, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

### 3.2- RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.2.1- FITOMÉTRICOS

Houve efeito de interação das doses de N com as texturas de solo para todas as variáveis analisadas. As doses de N influenciaram no diâmetro de colmo, área foliar específica, relação parte aérea /raiz e massa seca da parte aérea, efeito não observado para altura de planta. Já as texturas de solo exerceram efeito significativo para todas as variáveis analisadas, exceto para diâmetro de colmo. (Tabela 2)

Tabela 2. Resumo da análise de variância para a altura (ALT), diâmetro (DIAM), área foliar específica (Ae), relação parte aérea /raiz (A/R) e massa seca da parte aérea (MSPA) da cultura do milho.

Fonte de variação	G.L	ALT	DIAM	Ae	A/R	MSPA
Doses de N (D)	4	152,77 <sup>ns</sup>	0,13**	8360,11*	1,23**	65,83**
Texturas (T)	1	444,02**	0,01 <sup>ns</sup>	25283,01**	1,33**	448,02**
D x T	4	44,07**	0,01**	10313**	0,15**	13,70**
Erro	40					
CV		6,4	8,62	18,7	10,19	9,08

(\*) significativo à 5% de probabilidade \*\*; significativo à 1% de probabilidade; ns: não significativo.

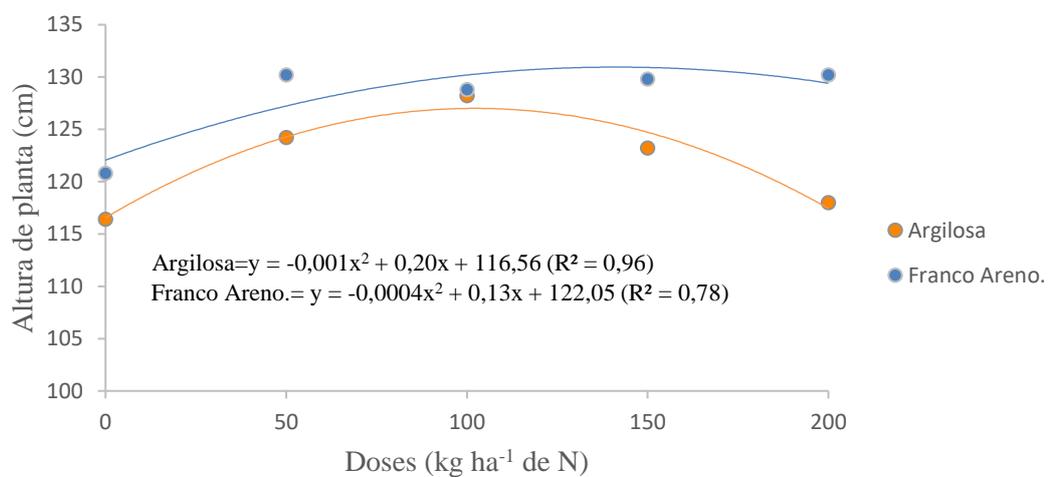
#### ALTURA DE PLANTA

Ocorreram efeitos significativos com relação à altura da planta, para a interação entre as doses de N e textura do solo, com ajuste da equação ao modelo quadrático de regressão. A dose de maior eficiência foi atingida com 157,37 kg ha<sup>-1</sup> (131,96 cm de altura) para a textura franco arenosa e de 102,20 kg ha<sup>-1</sup> (127,01 cm de altura) na textura argilosa (Figura 1). Resultados encontrados por Santos (2010), trabalhando com milheto em latossolo argiloso, constatou-se que a aplicação de nitrogênio na forma de ureia proporcionou crescimento rápido, com alongamento do colmo e das folhas, aumentando a altura das plantas.

O maior valor de altura da planta obtida no solo de textura arenosa, possivelmente, ocorreu por conta da maior capacidade de aeração o que facilitou a mineralização do N orgânico do solo, permitindo o maior desenvolvimento do sistema radicular, exportando mais nutrientes para partes da planta e incrementando o desenvolvimento vegetativo (PULITO, 2009). Assim, solos mais argilosos tem uma diminuição pronunciada na mineralização de N e redução da absorção do N prontamente disponível, devido a proteção da argila (FIOREZE et al., 2012).

De acordo com Fancelli (1997), o N é importante no estágio inicial de desenvolvimento da planta (2ª semana após a emergência), no período com quatro folhas totalmente desdobradas (estádio fenológico V<sub>4</sub>), uma vez que é a fase em que o sistema radicular, em desenvolvimento, apresenta considerável porcentagem de pêlos absorventes e ramificações diferenciadas, e a adição de N estimula sua proliferação, com consequente desenvolvimento da parte aérea.

**Figura 1.** Altura de planta em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



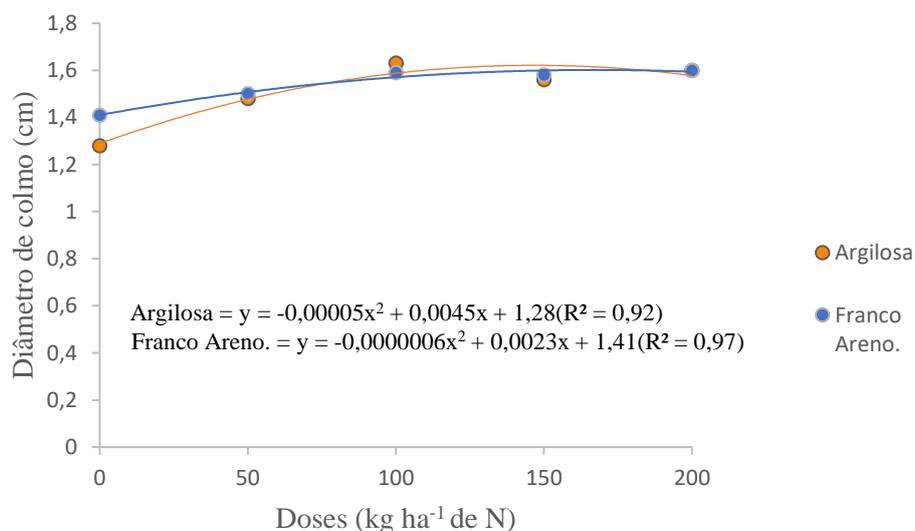
## DIÂMETRO DO COLMO

O diâmetro de colmo foi influenciado, pelas doses isoladamente e na interação dos tratamentos. A dose de máxima eficiência para ambas as texturas foi de 112,5 kg ha<sup>-1</sup> N (Figura 2), resultando nos diâmetros de 1,60 e 1,54 cm para os solos de textura franco arenosa e argilosa, respectivamente.

O inibidor de urease NBPT tem demonstrado eficiência na redução de perdas de N por volatilização de amônia. Em estudos realizados por Scivittaro et al. (2010), constataram-se redução de 88% das perdas por volatilização em solo úmido com o tratamento da ureia com esse inibidor.

O aumento do diâmetro de colmo com a dose de N é vantajoso ao agricultor, por ser a característica morfológica mais relacionada com o percentual de acamamento ou quebramento de planta (KAPPES et al, 2014), assim como é muito importante para a obtenção de alta produtividade de grãos, uma vez que plantas com maior diâmetro do colmo apresenta maior capacidade em armazenar fotoassimilados que contribuirão com o enchimento dos grãos (FANCELLI & DOURADO-NETO, 2000; KAPPES et al., 2011).

**Figura 2.** Diâmetro de colmo de plantas de milho em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



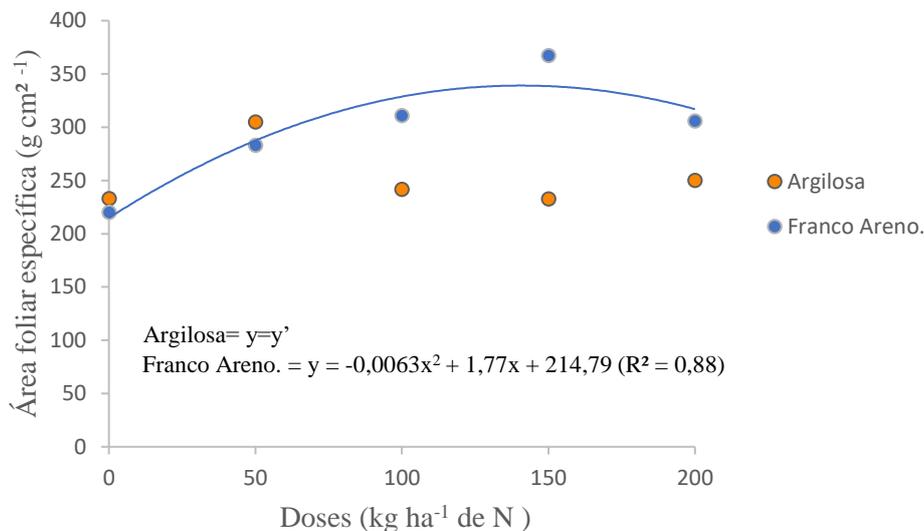
## ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA

Na figura 3 podemos observar os efeitos da interação entre os tratamentos. onde podemos observar, a dose de máxima eficiência técnica que foi alcançada com 140,30 kg de N ha<sup>-1</sup> (338,81cm<sup>2</sup>). A importância da determinação da área foliar das plantas é explicada pela relação com as taxas fotossintéticas e transpiração das plantas, uma vez que reflete a capacidade da planta em interceptar as radiações e efetuar trocas gasosas com o ambiente (GUIMARÃES et al, 2002).

O índice de área foliar, por expressar a proporção de cobertura do solo, implica em importante fator a ser considerado para definição de práticas de manejo. Estudos detalhados acerca da influência da área foliar sobre o crescimento e produção de milho no Brasil foram efetuados por Fancelli (1988). Sangoi et.al.(2001 e 2002), investigaram a redução da área foliar sobre a produtividade de híbridos de milho em diferentes populações e sobre o acúmulo de matéria seca nos grãos em Santa Catarina. Em todos os estudos, a redução da área foliar, seja por dano mecânico ou pelo ataque de pragas e/ou doenças, sempre resultou em perdas no crescimento e produção do milho. Dentre os principais fatores que concorrem para promover alterações na área foliar das plantas, tem-se as características genéticas, disponibilidade de água, luz e nutriente, competição com plantas invasoras, espaçamentos, danos mecânicos e incidência de pragas e doenças. Conforme Massinga et. Al. (2001), a área foliar do milho é inversamente proporcional à infestação de plantas daninhas. Daughtry et al. (2000) encontraram boa correlação entre a área foliar e a concentração de clorofila nas folhas de milho, demonstrando sua relação de luz e nutrientes.

O uso da área foliar específica tem sido empregado em diversos modelos de crescimento de culturas em virtude da sua alta correlação com estágio de desenvolvimento, e sua independência das condições de solo, localização, população de plantas ou cultivar.

**Figura 3.** Área foliar específica de plantas de milho em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.

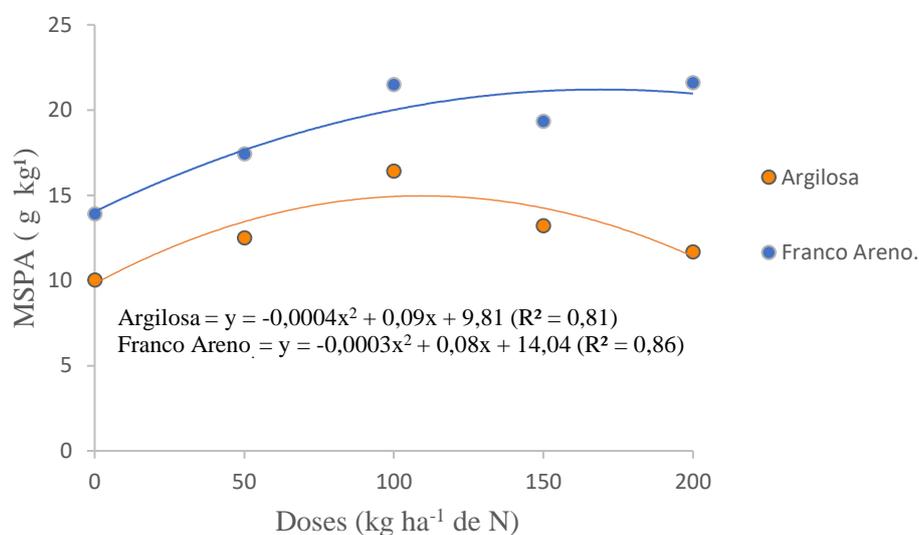


### MASSA SECA DA PARTE AÉREA

Para a variável massa seca da parte aérea, observou-se interação significativas entre os tratamentos ( $p \leq 0,001$ ), com o ajuste da equação ao modelo quadrático (Figura 4). No solo argiloso, a dose de máxima eficiência técnica foi de 112,5 kg ha<sup>-1</sup> de N (14,87 cm). Na textura franco arenosa, a dose mais eficiente foi de 133,03 kg ha<sup>-1</sup> de N (19,37,01 g ha<sup>-1</sup>), havendo um incremento de 0,8% em relação à MSPA do solo argiloso. Araújo et al. (2004) e Souto (2004), verificaram menor produção de massa seca da parte aérea na ausência de adubação nitrogenada, o que vem indicar a importância da adubação nitrogenada em relação a uma maior produção de massa de matéria seca pela cultura do milho. Frazão et al. (2014), estudando fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho observou que nas doses mais elevadas de 130 e 260 kg ha<sup>-1</sup> de N maiores produções de MSPA.

Estipula et al. (2013), também observaram aumentos lineares na produção de massa seca de planta de trigo com o aumento das doses de ureia tratada com NBPT, sendo superior às produções obtidas com ureia comum nas doses de 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N. A importância da adubação nitrogenada no desenvolvimento vegetal é atribuída por ser o nutriente nitrogênio mais requerido na fase inicial de desenvolvimento do milho, em decorrência da sua função como constituinte essencial dos aminoácidos, principais integrantes de proteínas, e atuação na divisão celular (GONDIM et al, 2010).

**Figura 4.** Produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



### RELAÇÃO PARTE AÉREA/ RAÍZ

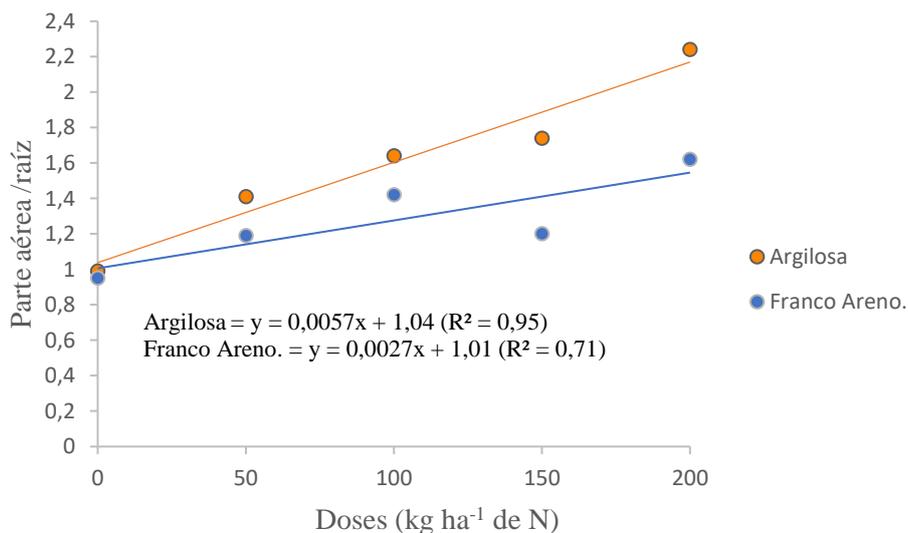
A relação parte área/raíz apresentou interação significativa entre as doses de N e textura do solo, resultando em um modelo de equação linear para ambas as texturas do solo (Figura 5). A razão MSPA/MSR variou de 1 a 2,2 demonstrando maior proporção de massa seca de parte aérea em solo de textura argilosa, aumentando conforme aumento das doses de N. Esses resultados podem ser explicados pelo fato de as plantas de milho, ao serem submetidas ao estresse de N, utilizarem este nutriente próximo aos sítios de absorção, ou seja, nas células das próprias raízes, a fim de desenvolverem um maior volume radicular visando aumentar a parte área a ser explorada.

Plantas que crescem em condições de baixa disponibilidade de nitrogênio apresentam baixa atividade meristemática da parte aérea; portanto alocam, no sistema radicular, a maior proporção de produtos da fotossíntese (LEMAIRE et al., 1997). Quando há deficiência de nitrogênio a adição deste nutriente pode resultar em acréscimo na massa seca de raíz; por outro lado, se o fornecimento é muito elevado a massa seca de raíz tende a ser reduzida (Whitehead, 1995). Outro ponto importante a ser considerado com respeito a estas diferenças observadas é em relação entre o acesso ao nutriente limitante (N) e a morfologia do sistema radicular. Assim, se existir estresse de N, fatores relacionados à morfologia de raíz passam a ser mais importantes, conferindo a planta de

milho um maior desenvolvimento radicular. Ao passo que, se o acesso à superfície radicular não for limitante, o mecanismo de absorção passa ser o fator principal no processo de aquisição do nutriente. Neste caso não se verifica grandes aumentos na produção de raízes (GERLOFF, 1977).

Soares et al. (2009), em experimento testando a resposta de linhagens de milho através das características radiculares em doses contrastantes de nitrogênio no solo, obtiveram valores que variam de 2 a 3,15 em solo com alta disponibilidade de nitrogênio. Já Pietro-Souza et al. (2013), em estudo sobre a aplicação de doses de nitrogênio no trigo em crescimento inicial, encontraram valores de razão parte aérea/raiz (1,7 a 2,1) similares ao solo de textura argilosa deste experimento. Segundo por Chun et al. (2005), A diminuição da relação MSPA (massa seca da parte aérea) / MSR (massa seca da raiz) sob estresse resulta em crescimento reduzido da biomassa da parte aérea, com ou sem aumento da biomassa radicular, sendo uma resposta adaptativa apresentada pela planta, o que maximiza a habilidade em adquirir uma quantidade maior de N do solo em baixa disponibilidade do nutriente.

**Figura 5.** Relação parte aérea/ raiz de plantas de milho em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



### 3.2.2- TROCA GASOSA

Houve efeito de interação das doses de N com a textura do solo para todas as variáveis analisadas, exceto concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci). As doses de N influenciaram na taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, condutância estomática, taxa de transpiração, efeito não observado na variável concentração interna de CO<sub>2</sub>. As texturas de solo exerceram efeito significativo apenas para a variável taxa de transpiração (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para Taxa de assimilação líquida e CO<sub>2</sub> (A) , Condutância estomática (Gs), Taxa de Transpiração (E), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), da cultura do milho.

Fonte de variação	G.L	A	Gs	E	Ci
Doses de N (D)	4	372,11 **	0,02**	8,53**	2005,03 <sup>ns</sup>
Texturas (T)	1	1,12 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>	18,30**	3064,97 <sup>ns</sup>
D x T	4	19,24*	0,001*	1,97*	1100,22 <sup>ns</sup>
ERRO	40				
Média geral		28,91	0,17	5,83	75,68
CV		13,98	19,82	13,93	33,24

(\*) significativo à 5% de probabilidade \*\*: significativo à 1% de probabilidade; ns: não significativo.

### TAXA DE ASSIMILAÇÃO DE CO<sub>2</sub> (A)

Nas folhas o nitrogênio está nos cloroplastos como constituinte da molécula de clorofila, onde cada átomo de Mg está ligado a quatro átomos de nitrogênio e também participa da síntese de vitaminas, hormônios, coenzima, alcalóides, hexosaminas e outros compostos.

A capacidade fotossintética aumenta com o incremento no conteúdo de nitrogênio (expressa em área foliar) de maneira linear em um primeiro momento, sendo que em seguida se mostra saturada por uma série de fatores (LARCHER, 2000).

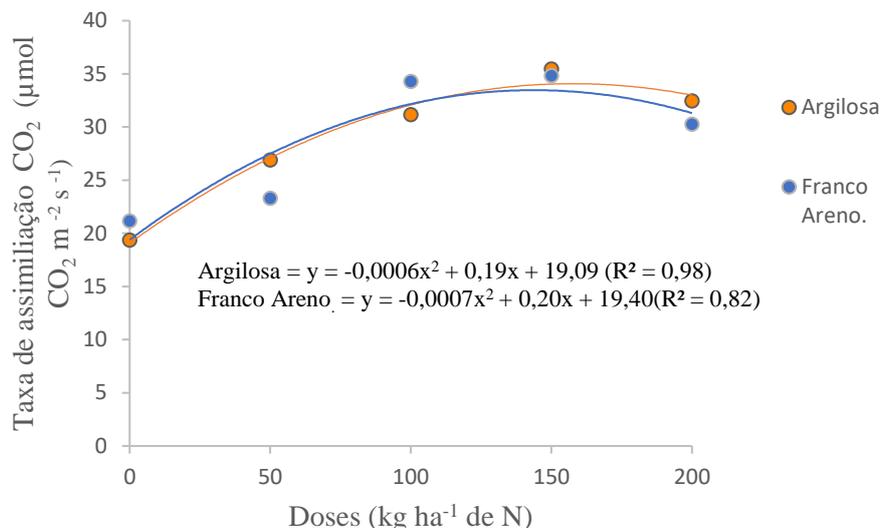
A taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), interagiu positivamente entre doses de nitrogênio e texturas do solo, obtendo-se como dose ideal 158,41 kg ha<sup>-1</sup> de N (34,15 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) para o solo argiloso e dose de 139,78 kg ha<sup>-1</sup> de N (33,04 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) para o solo franco arenoso.

Langer e Hill (1982), relatam que no caso dos cereais, o rendimento de espécies deste grupo pode ser elevado pela aplicação de nitrogênio quando em elevada população de plantas, com adequada disponibilidade de água. Porém o excesso de adubação nitrogenada pode promover um crescimento vegetativo desordenado, contribuindo desta forma para um maior auto-sombreamento. Os autores destacam que a emissão e o tamanho da área foliar são altamente dependentes do suprimento mineral, sendo notável a influência do nitrogênio, além do fósforo, e potássio. A importância do nitrogênio se deve e também pelo fato de proporcionar aumento na duração da área foliar (DAF). Com o nitrogênio influenciando no crescimento vegetal, melhor será a capacidade de captar CO<sub>2</sub> atmosférico, assim na presença de quantidades adequadas de luz, concentrações mais elevadas de CO<sub>2</sub>, sustentam taxas fotossintéticas maiores. O nitrogênio é importante na nutrição de plantas, pois é utilizado na síntese de compostos celulares, como a clorofila (LIMA et al., 2001). E através deste a energia luminosa é convertida em energia química, assim como também gerar força motriz de prótons que é utilizada para sintetizar ATP.

Durães et al. (2005), testando três linhagens de milho com a finalidade de avaliar a eficiência fotossintética nos melhores genótipos sobre estresse de água e nitrogênio, encontraram valores de assimilação de CO<sub>2</sub> de 30 a 35  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  na dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> de N. Garcia (2006), trabalhando com a cultura do milho irrigado obteve assimilação de CO<sub>2</sub> de 25,71  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  com a adubação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio.

O aumento da carboxilação com o aumento da disponibilidade de nitrogênio é o resultado da necessidade de cadeias carbônicas para a assimilação do nitrato (VIÉGAS et al., 1999; SOARES et al., 2013).

**Figura 6.** Taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A) em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



### CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (GS)

O processo de abertura e fechamento dos estômatos está relacionado principalmente com a intensidade de luz e o estado de hidratação da folha. Dessa forma, o funcionamento dos estômatos e a área foliar influenciam a produtividade do vegetal. O primeiro fator porque controla a absorção de CO<sub>2</sub> e o segundo porque determina a interceptação de luz.

A condutância estomática regula a abertura e fechamento dos estômatos, favorecendo a absorção de CO<sub>2</sub>, assim como auxiliando na transpiração da planta e assim juntamente com a solução do solo, nutrientes são carregados, principalmente o nitrogênio, que iram influenciar em várias rotas metabólicas da planta.

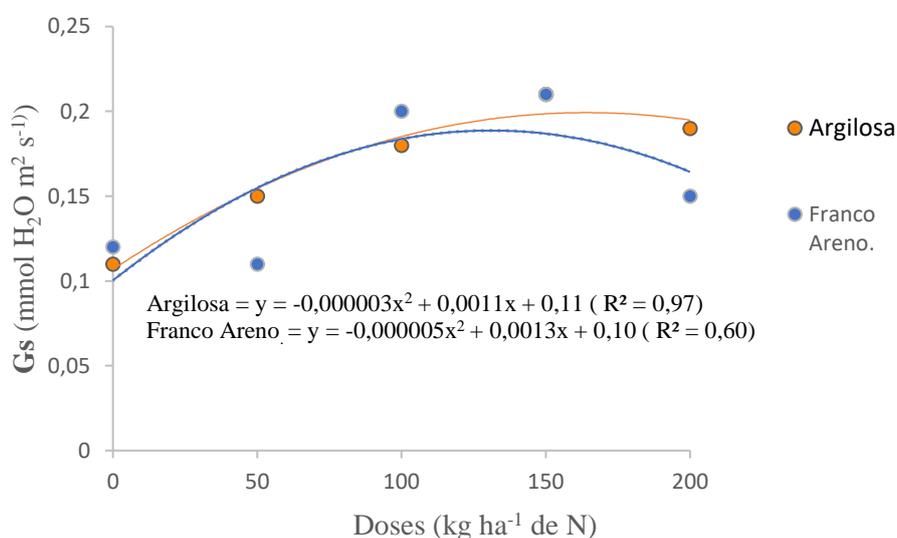
A interação das doses de N aplicadas e texturas de solos na condutância estomática (Gs), respondeu positivamente, resultando na dose ideal de 130 kg ha<sup>-1</sup> de N (0,18 mol H<sub>2</sub>O m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) para o solo de textura franco arenosa e 183 kg ha<sup>-1</sup> de N (0,21 mol H<sub>2</sub>O m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) para o solo de textura argilosa (Figura 7), valores determinados através da derivação das equações.

Para minimizar a perda de água o fechamento do estômato é fundamental, atuando como mecanismo de defesa ao dessecamento, limitando simultaneamente a assimilação de CO<sub>2</sub> (PIMENTEL, 2000), mas também podem fechar quando o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar aumenta (OREN et al., 2001).

Cechin (1997) verificou a condutância estomática de dois híbridos de sorgo, e notou que a característica avaliada aumentou em ambos os híbridos com o aumento da adubação nitrogenada, contudo o aumento da condutância no híbrido C42 acarretou na maior taxa fotossintética do mesmo.

Garcia (2006) trabalhando com a cultura do milho irrigado, encontrou resultado diferente, tendo obtido condutância estomática de  $0,00013 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$  com a adubação de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio.

**Figura 7.** Condutância estomática (Gs) em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



### TAXA DE TRANSPIRAÇÃO (E)

Sabe-se que a absorção dos nutrientes depende, entre outros fatores, da disponibilidade de água no solo e que, para o N o transporte até as raízes é essencialmente efetuado por fluxo de massa, onde o mesmo irá desempenhar várias funções metabólicas na planta.

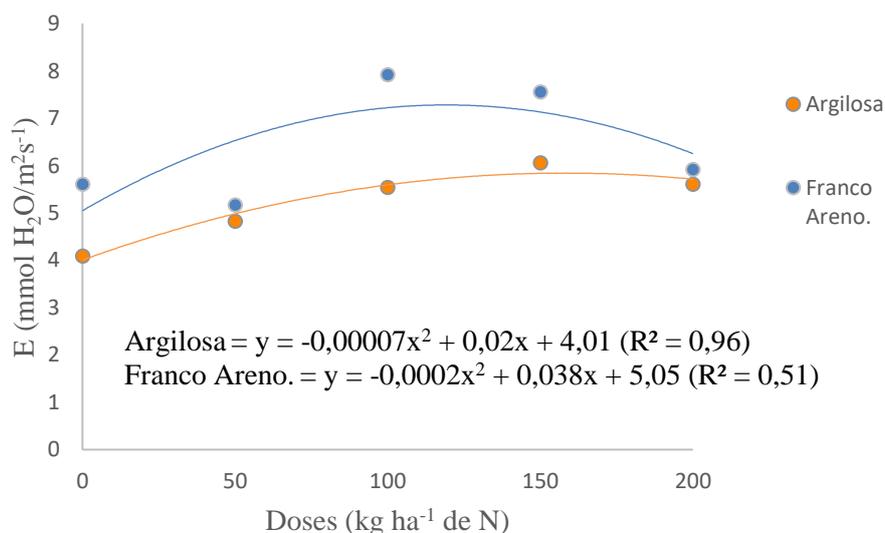
A transpiração é uma forma eficiente de dissipar o calor proveniente do sol. O calor dissipa-se porque as moléculas de água que escapam para a atmosfera têm energia maior que a média, o que promove rompimento das ligações que as seguram na forma líquida. Quando tais moléculas escapam, elas deixam para trás uma massa de moléculas com energia menor que a média e, portanto, um corpo líquido mais frio. Quase metade do ganho líquido de calor do sol é dissipada pela transpiração. Além disso, o fluxo da

água absorvida pela planta é uma importante via de condução de nutrientes dissolvidos do solo até a superfície radicular, para que ocorra a absorção (TAIZ & ZEIGER, 2004)

Para a taxa de transpiração (E), encontrou-se resposta quadrática na interação das doses de N aplicadas e texturas de solos, resultando na dose ideal de 95 kg ha<sup>-1</sup> de N (10,21 mmol H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>) para o solo de textura media e 142,86 kg ha<sup>-1</sup> de N (5,44 mmol H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>) para o solo de textura argilosa (Figura 8).

Marenco e Lopes (2009) ressaltam que a transpiração é a evaporação da água a partir da superfície da folha exposta ao ar, através dos estômatos, pelos quais passam 90% do CO<sub>2</sub> captado. A transpiração tem papel importante no crescimento e desenvolvimento da cultura, pois é via de acesso ao dióxido de carbono para a fotossíntese, tornado esses dois parâmetros intimamente associados. Assis e Verona (1997).

**Figura 8.** Taxa de Transpiração (E), em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



### 3.2.3- BIOQUÍMICOS

Houve efeito de interação das doses de N com a textura do solo para todas as variáveis bioquímicas avaliadas no tecido foliar, exceto para amônio. As doses de N influenciaram os teores de aminoácidos, nitrato e amônio, não influenciando o teor de proteínas no tecido foliar, já para a textura do solo, houve efeito significativo apenas para

teor de nitrato no tecido vegetal. A interação das doses de N com a textura de solo no sistema radicular influenciou apenas os teores de nitrato. Para doses de N de forma isolada influenciou as variáveis aminoácidos e nitrato, assim como a textura do solo influenciou significativamente todas as variáveis sendo elas proteínas, aminoácidos e nitrato, não havendo significância para a variável amônio. (Tabela 4).

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para as variáveis bioquímicas de Aminoácidos, Nitrato, Proteína e Amônio da cultura do milho em resposta a doses de nitrogênio (NBPT) em texturas distintas de solo.

FOLHA					
Fonte de Var.	G.L	Aminoácidos	Nitrato	Proteína	Amônio
Doses de N (D)	4	3813,43**	0,005**	10,08 <sup>ns</sup>	113,42*
Textura (T)	1	34,58 <sup>ns</sup>	0,006**	20,48 <sup>ns</sup>	19,22 <sup>ns</sup>
D x T	4	2947,19*	0,001**	31,18**	15,72 <sup>ns</sup>
Erro	40				
Media geral		270,72	13,86	44,36	25,38
CV		11,56	13,86	5,73	24,41
RAÍZ					
Doses de N (D)	4	3920,17**	0,002**	1,57 <sup>ns</sup>	13,57 <sup>ns</sup>
Textura (T)	1	5729,42**	0,001**	10,58**	32 <sup>ns</sup>
D x T	4	75,88 <sup>ns</sup>	0,0001**	1,73 <sup>ns</sup>	8,65 <sup>ns</sup>
Erro	40				
Media geral		273,46	0,02	41,42	34,73
CV		8,06	19,57	2,92	34,73

(\*) significativo à 5% de probabilidade;(\*\*): significativo à 1% de probabilidade; ns: não significativo

## AMINOÁCIDOS

As doses crescentes de N (NBPT), nas folhas, influenciaram significativamente ( $P > 0,05$ ) as variáveis testadas, exceto para a variável proteína solúvel total em que não foram observadas aumentos expressivos sobre efeito das dosagens utilizadas. Nas raízes, o aumento nas concentrações nitrogenadas não foi significativas ( $p < 0,05$ ).

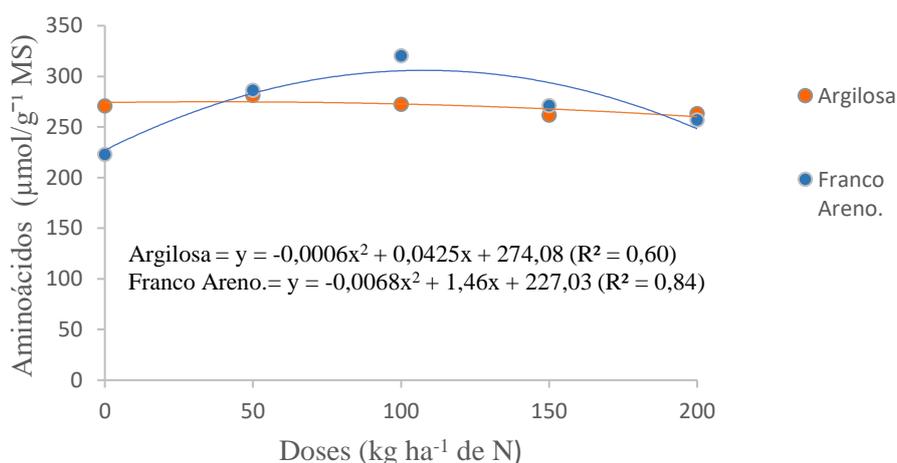
Sendo que o teor de aminoácido nas folhas foi significativo, afetando diretamente pelas doses crescentes de nitrogênio. Podemos observar que na (Figura 9) que as concentrações de aminoácidos solúveis totais nas folhas foram de : 222,99; 286,44; 320,21; 271,02; 257,09  $\mu\text{mol}$  aminoácidos/ g MS planta para o solo de textura media e 270,86;

281,35; 272,38; 261,67; 263,18 de aminoácidos/ g MS planta para de textura argilosa. Já para raiz o teor de aminoácidos apresentou significância de forma isolada para textura e doses. Assim demonstrada na (Figura 9) onde os teores de aminoácidos solúveis totais foram: 262,76  $\mu\text{mol}$  de aminoácidos / g MS planta no solo de textura media e 284,17 76  $\mu\text{mol}$  de aminoácidos / g MS planta para o de textura argilosa.

Em solos de textura argilosa, as concentrações de aminoácidos nas folhas apresentaram comportamento linear, indicando que o aumento das concentrações de N no solo, não determinou aumentos desse nutriente nas plantas, inviabilizando assim, as reações bioquímicas de conversão deste em suas formas orgânicas. No entanto, para as raízes, houve um aumento expressivo na concentração de aminoácidos em solos de textura argilosa, quando comparados ao de textura franco arenosa.

Em solos de textura argilosa há um predomínio de micro poros e uma maior capacidade de retenção de nutrientes, ocasionando uma disponibilidade por maior tempo desse nitrogênio. Já para o solo de textura franco arenosa ocorreu um comportamento quadrático onde verificamos que a medida que aumentamos as doses de N, a produção de aminoácidos aumentou até a dose de eficiência técnica 107,35  $\text{kg ha}^{-1}$  de N (305,40  $\mu\text{mol/g}^{-1}$  MS), a partir daí começa a decair a produção de aminoácidos ate a dose máxima testada.

**Figura 9.** Níveis de aminoácidos nas folhas e raiz respectivamente em plantas de milho em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



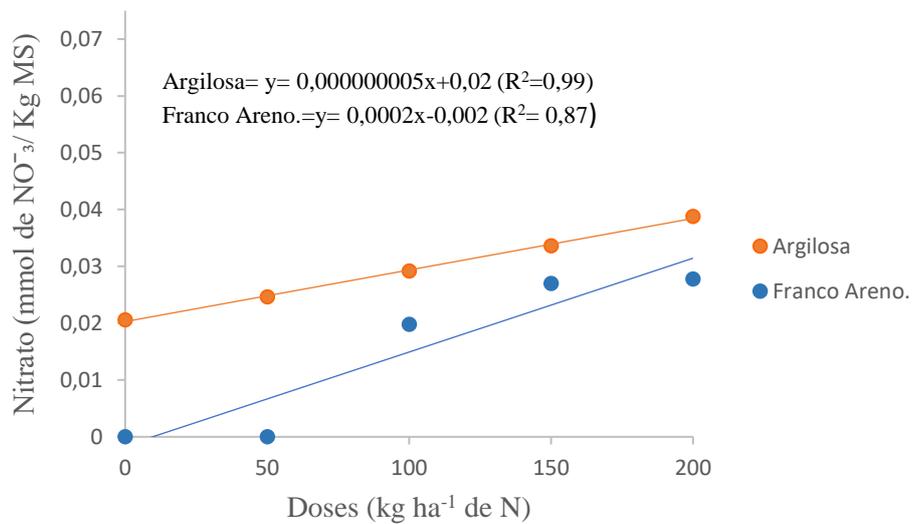
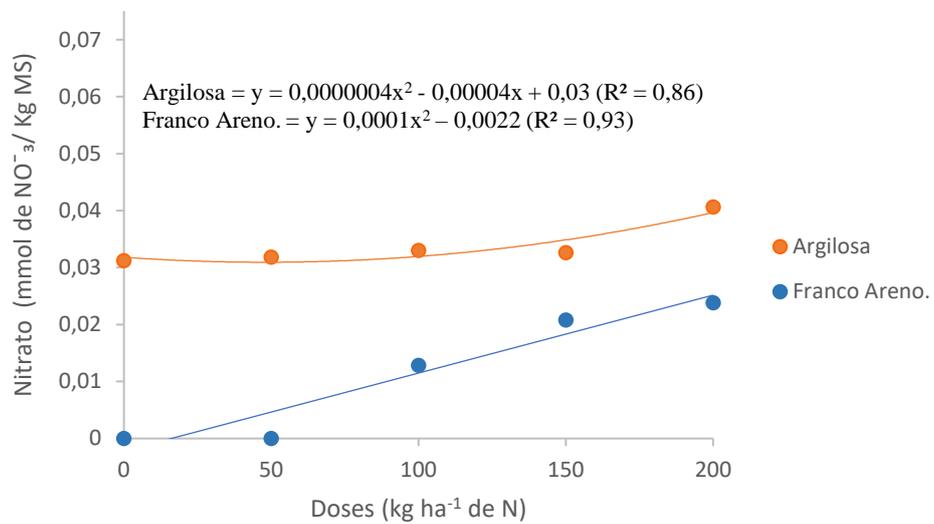


## NITRATO

O nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é a principal forma nitrogenada absorvida pelas plantas, sendo sua absorção mediada por processos ativos intermediados por co-transportadores de alta e baixa afinidade (MILLER et al., 2007). As plantas o assimilam em compostos orgânicos sendo, no entanto, necessária a ocorrência de reações de redução. Nas etapas primárias, após sua absorção pelos vegetais, a redutase do nitrato (RN) catalisa a reação de redução do  $\text{NO}_3^-$  à nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) no citosol, utilizando o NADH e/ou NADPH como doadores de elétrons (TAIZ; ZEIGER, 2013). O  $\text{NO}_2^-$  gerado, é transportado para os cloroplastos (folhas) e plastídios (raízes) em que, nestes compartimentos celulares, é reduzido o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), pela enzima redutase do nitrito (ABD- ELBAKI et al., 2000).

Analisou-se que para ambos os solos (textura franco arenosa e argilosa) as concentrações de nitrato nas folhas e nas raízes aumentaram à medida que foram aplicadas as doses crescente de nitrogênio. Porém mesmo apresentando comportamentos semelhantes para ambos os solos, as concentrações de nitrato para o solo de textura argilosa apresentaram maiores valores em relação ao de textura franco arenosa. Isso pode estar relacionado com o fato de solos de textura mais argilosa possuem capacidade de retenção de cátions em seu sitio de adsorção.

**Figura 10.** Níveis de Nitrato nas folhas e raiz respectivamente em plantas de milho em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



## PROTEÍNA

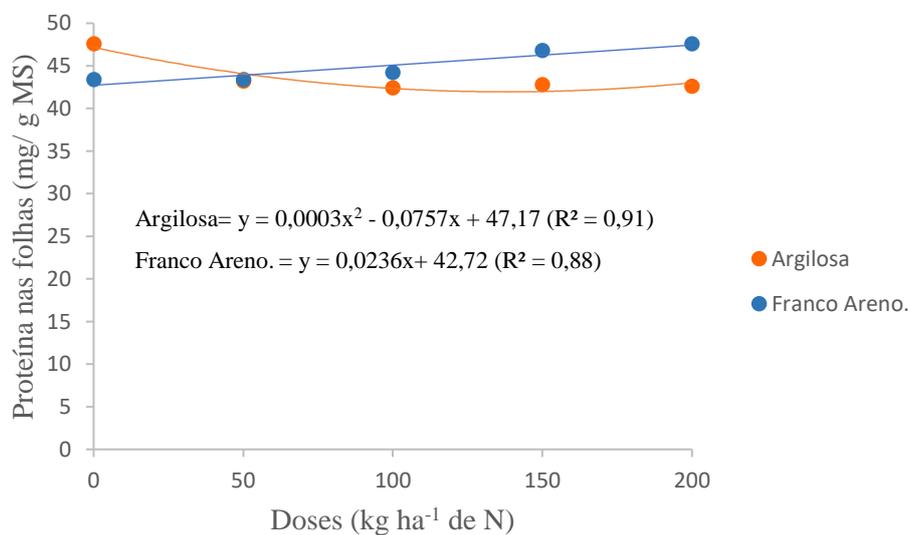
Para o solo de textura franco arenosa, assim como, nas variáveis testadas anteriormente, ocorreu um crescimento nas concentrações de proteínas solúveis a medida que foram aumentando as doses de N nas folhas. Já para o solo de textura argilosa ocorreu o processo inverso, pois com o aumento das doses de N as concentrações de proteínas solúveis totais foi diminuindo até a dose 126,17 kg ha<sup>-1</sup> de N (42,40 mg/ g MS, em seguida voltando a crescer, isso pode estar ocorrendo devido ao fato de que as proteínas produzidas através da transformação de aminoácidos em nitrato e posteriormente em proteínas solúveis totais pode estar sendo translocada para outros órgãos de crescimento da planta, assim apresentando uma menor concentração nas raízes das plantas.

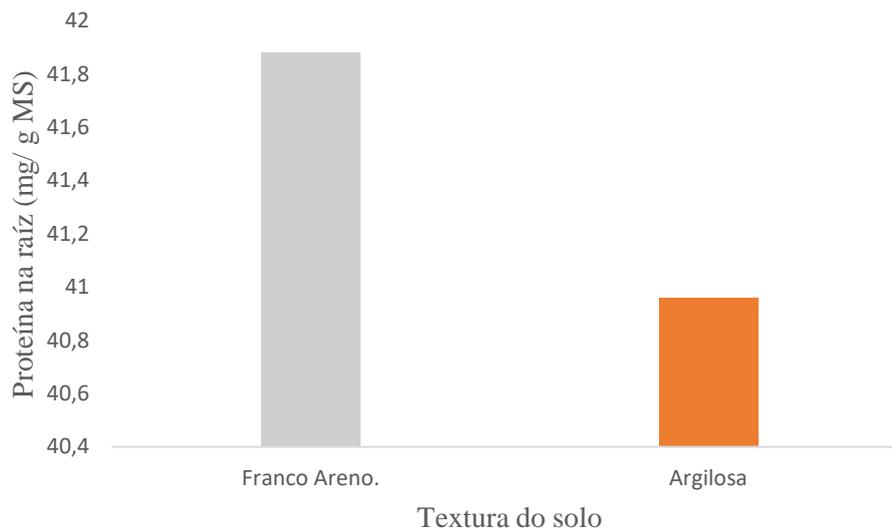
As variáveis testadas mostraram incrementos significativos nos tecidos radiculares e foliares a medida que as doses de N no solo foram aumentadas, sendo esse comportamento observado em ambos os tipos de solos textura franco arenosa e argilosa. No entanto, a concentração de aminoácidos nas folhas de plantas cultivadas em solos de textura argilosa manteve-se constante a medida em que foram aumentadas as doses de N no solo. Esse padrão de comportamento diferiu daquele apresentado para a variável proteína quando analisado o mesmo órgão do vegetal e mesmo tipo de solo em análise, onde notou-se um comportamento inversamente proporcional entre concentração proteica e doses iniciais de N, e um posterior acréscimo nas concentrações de proteínas solúveis totais quando utilizada as maiores dosagens de N no solo 200 kg ha<sup>-1</sup> de N. nas raízes embora a concentração de proteína no solo de textura franco arenosa seja maior em relação ao solo de textura argilosa, isso pode estar relacionado com o fato de ocorrer uma economia energética

Muito provavelmente pode se inferir a partir dos resultados encontrados nesse experimento que a redução nas concentrações nas raízes das plantas cultivadas em solo de textura argiloso, foi menor que o de textura franco arenosa, pode ser em função da maior concentração de aminoácidos no tecido radicular das plantas cultivadas em solos de textura argilosa, a conversão de aminoácidos em proteínas neste solo e a posterior a diminuição dessas proteínas nas raízes. Pode ser em função da quebra das proteínas em suas unidades fundamentais, os aminoácidos, o que pode ser ratificado pelo aumento nas concentrações de aminoácidos observado nas raízes de plantas sob solo de textura argilosa, quando comparado ao que ocorreu em solos de textura franco arenosa. Infere-se a partir dos resultados encontrados nesse experimento, que o custo energético na absorção de N na forma de nitrato, dispense energia metabólica das plantas para sua absorção,

tendo em vista o processo ser ativo, depende de cotransportadores. Desse modo, plantas cultivadas em solos argilosos, podem apresentar como estratégia de sobrevivência o desvio de energia metabólica, promovendo a quebra das proteínas em suas unidades fundamentais, desviando a energia que seria utilizada em processos de crescimento, para a manutenção, sendo assim, plausível a redução proteica, encontrada no tecido radicular dessas plantas.

**Figura 11.** Níveis de proteína nas folhas e raiz respectivamente em plantas de milho em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.





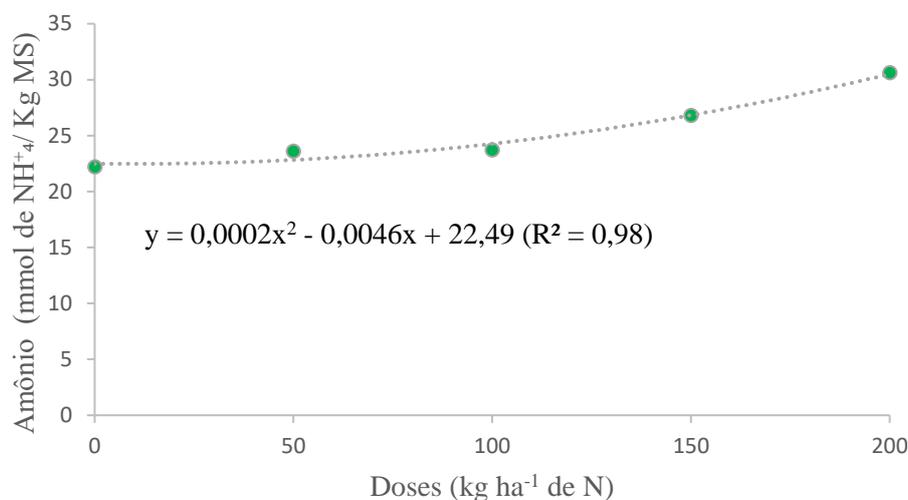
## AMÔNIO

As doses crescentes de N (NBPT), demonstrou efeito significativo ( $p > 0,05$ ) para doses. Podemos verificar que a medida que aumentamos as concentrações de ureia com inibidor de uréase foi aumentando, o teor de amônio do tecido foliar com uma dose mínima de  $11,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de N ( $22,46 \text{ mmol de NH}_4^+ / \text{Kg MS}$ ). Os vegetais evitam a toxicidade do amônio pela rápida conversão do amônio, gerado a partir da assimilação do nitrato ou da fotorrespiração em aminoácidos.

A glutamina sintetase (GS), combina o amônio com o glutamato para formar a glutamina, a mesma nos plastídios das raízes forma nitrogênio amida que é consumido localmente, enquanto a GS dos cloroplastos da parte aérea reassimila o  $\text{NH}_4$  da fotorrespiração. O amônio nas folhas é convertido em glutamato pela ação sequenciada da glutamina sintetase e da glutamato sintetase (GOGAT). Novamente no citoplasma, o glutamato é transaminado a aspartato, via aspartato aminotransferase (ASP-AT). Finalmente, a asparagina sintetase (AS) converte o aspartato em asparagina, e assim em outros aminoácidos e proteínas para o metabolismo de crescimento e desenvolvimento vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A importância do tratamento prévio da ureia com inibidor de uréase é que a molécula da ureia se mantenha intacta por um período maior, sem que haja a transformação dela em  $\text{NH}_4$ . Com isso era esperado que apresentassem maiores teor de  $\text{NH}_4$ . Tais valores de  $\text{NH}_4$  encontrados no tecido foliar para essa espécie iônica significa que a assimilação de N absorvido foi imediatamente transformada em aminoácidos (MARSCHNER, 1995).

**Figura 12.** Níveis de amônio nas folhas de plantas de milho em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



### 3.2.4- TEORES DE NUTRIENTES

Os teores de N, P e K apresentaram respostas significativas para todos os tratamentos utilizados, como também suas interações, nas raízes e folhas do tecido do milho (Tabela 5).

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância dos tratamentos, dose de Nitrogênio (D) e textura do solo (T), para os teores de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) na cultura do milho.

Folha						
Fonte de Var.	G.L	N	P	K	Ca	Mg
Doses de N (D)	4	634,70**	13,61**	0,67**	0,025**	0,115 <sup>ns</sup>
Textura (T)	1	12,66*	6,23**	1,18**	0,661**	0,090**
D x T	4	105,13**	6,44**	0,13**	0,051**	0,011 <sup>ns</sup>
Erro	40					
Média geral		34,98	5,91	1,13	0,96	0,7
C.V		4,48	5,42	4,14	4,78	11,89
Raiz						
Doses de N (D)	4	147,01**	2,40**	0,67**	0,003 <sup>ns</sup>	0,016**
Textura(T)	1	434,01**	8,95**	0,18**	0,600**	0,514**
D x T	4	53,46**	2,94**	0,84**	0,120**	0,075**
Erro	40					
Média geral		12,99	4,77	0,57	1,38	0,31
C.V		6,37	11,49	5,1	2,71	15,57

(\*) significativo à 5% de probabilidade; (\*\*): significativo à 1% de probabilidade; ns: não significativo

## NITROGÊNIO

As doses de N, proporcionaram efeito significativos no tecido radicular da cultura do milho, apresentando um comportamento linear crescente no solo de textura argilosa, ou seja, a medida que aumentou-se as doses de N ocorreu aumento nos teores do elemento. No solo de textura média a ação foi de forma quadrática, com a máxima eficiência na dose de 175 kg ha<sup>-1</sup> de N para um teor de 13,05 g kg<sup>-1</sup> de N (Figura 13). Podemos observar que a aplicação das doses de ureia com inibidor de urease (NBPT), contribuiu de forma a retardar a hidrólise da uréia no solo; assim o inibidor evita alta concentração de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e pH elevado na zona de aplicação do fertilizante e diminui a volatilização de NH<sub>3</sub>, aumentando a eficiência na absorção de N.

Os teores de N no tecido foliar do milho em relação aos tratamentos utilizados, sofreram efeitos significativos dos tratamentos e suas interações (Figura 13). As doses de ureia proporcionaram melhores ajustes na forma quadrática, para ambas as texturas de solo. No solo de textura franco arenosa a dose de maior eficiência foi de 115,38 kg ha<sup>-1</sup> de N, proporcionando um teor de 41 g kg<sup>-1</sup> de N. O N participa da constituição de aminoácidos e proteínas e é essencial nos processos de absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (MALAVOLTA, 2006). Observou-se que a ureia (NBPT) apesar de não inibir a uréase por períodos muito prolongados, conseguiu contribuir de uma forma a melhorar o aproveitamento do N pela cultura.

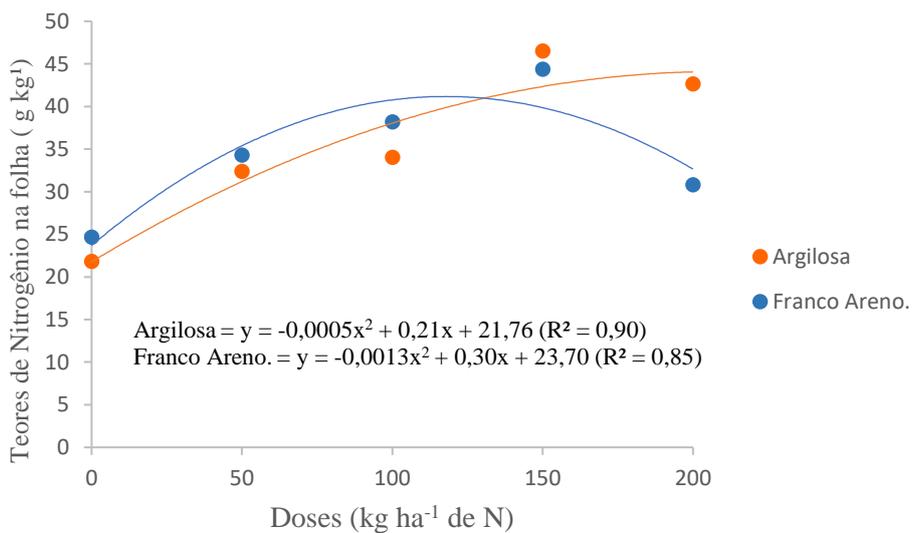
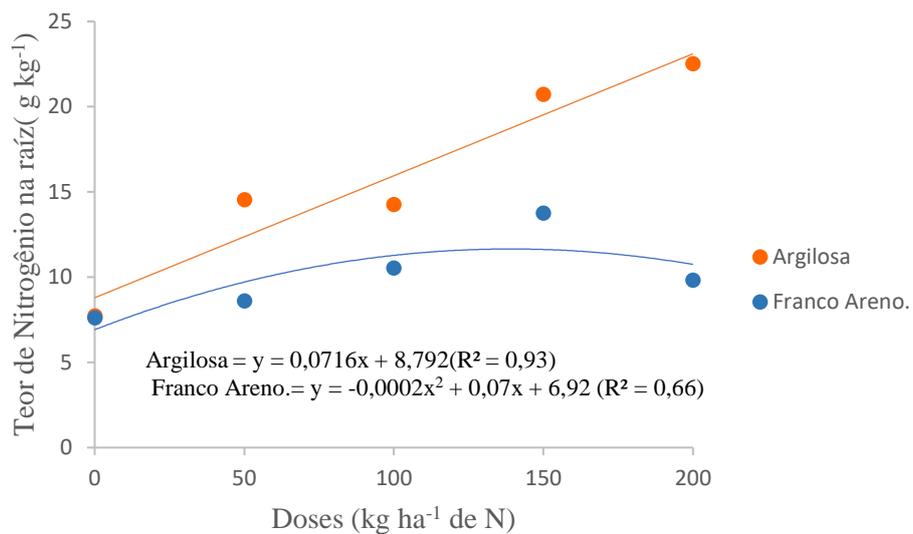
Segundo Okumura 2009, onde trabalhando com ureia com NBPT em cobertura na cultura do milho, constatou teores de N total encontrado na folha índice para fontes de ureia e ureia+NBPT de 31,28 e 31,71 g kg<sup>-1</sup> de N, respectivamente, sendo que estes teores estão de acordo com os níveis considerados adequados por Raij et al. (1996) e Malavolta (2006). Importante salientar que tais teores encontrados pelo mesmo estão abaixo dos resultados encontrados no presente trabalho, onde o teor no tecido foliar está acima do nível adequado, podendo estar no chamado consumo de luxo.

Diante de uma situação, onde a competitividade e busca por altas produtividades torna-se cada vez maior, visualiza-se a necessidade da utilização de recursos mais eficientes, como os adubos protegidos, onde atuam na diminuição das perdas por volatilização e lixiviação do N para o meio ambiente, consequentemente ocasionando ganho em produtividade e diminuição da contaminação do meio ambiente (ALMEIDA & SANCHES, 2012).

Trabalhos demonstram que doses crescentes de nitrogênio aplicados na cultura do milho safrinha promovem aumento de produtividade e de teor foliar desse nutriente, além

de afetar positivamente os componentes de produção dessa cultura (RAGAGNIN et al., 2010; SORATTO et al., 2010)

**Figura 13.** Teores de Nitrogênio na raiz e folha respectivamente em plantas de milho em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



## FÓSFORO

Os teores de P no sistema radicular do milho (Figura 14), diferiu apenas no solo de textura franco arenosa, com melhor ajuste verificado de maneira quadrática, sendo observado um decréscimo até o limite mínimo de 111,11 kg ha<sup>-1</sup> de N com um teor de 7,09 g kg<sup>-1</sup> de P. O fósforo (P) desempenha um papel fundamental na respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão e crescimento celular, dentre outros processos que ocorrem na planta, além disso o fósforo promove a rápida formação e crescimento de raízes.

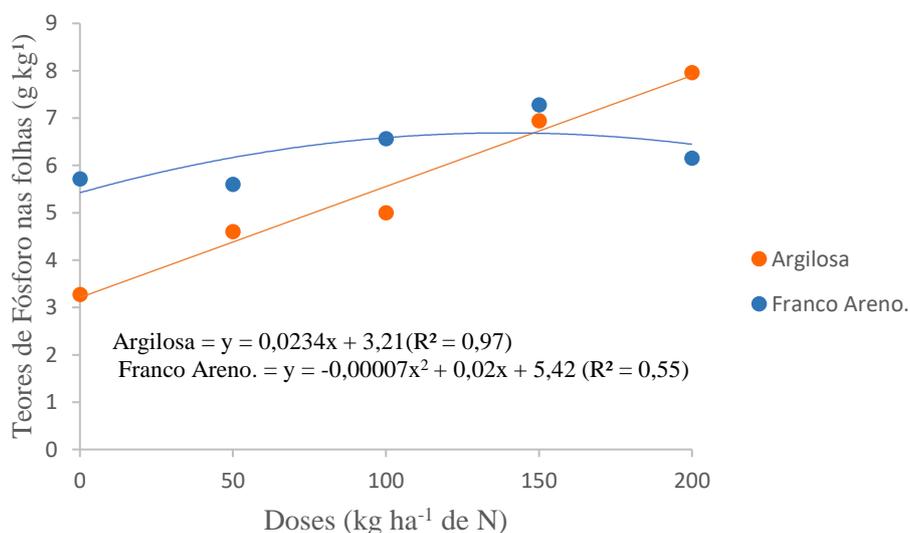
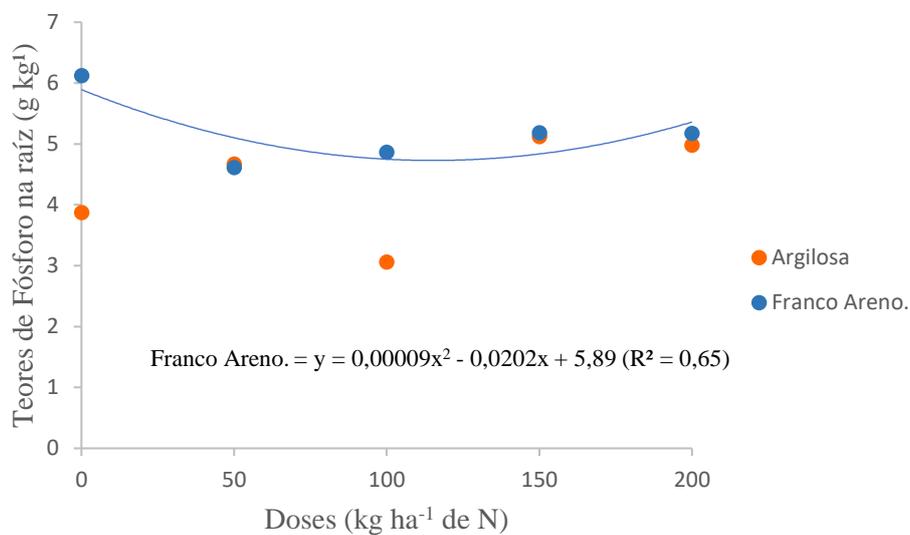
No tecido foliar, os teores de fósforo (Figura 14) responderam significativamente para solo de textura franco arenosa (p \*\*0,01) com melhor ajuste observado no modelo de regressão quadrático, com dose máxima de 142,85 kg de N ha<sup>-1</sup> para um teor de P correspondente de 6,85 g kg<sup>-1</sup>. Para a textura argilosa, o ajuste foi linear crescente até a dose máxima estudada (200 kg de N ha<sup>-1</sup>). Estes resultados podem estar relacionados à capacidade que os solos de textura argilosas possuem de reter quantidades maiores de P solução do solo, em relação ao de textura franco arenosa, e a eficiência melhorada na disponibilidade do N. Isto pode ter contribuído de forma a interagir com o P do solo, assim, melhorando sua absorção e translocação para a parte aérea das plantas de milho.

A interação entre N e P na nutrição de algumas culturas, em especial o milho é conhecida a bastante tempo. O efeito mais frequentemente relatado é do aumento da absorção de P quando este nutriente é empregado juntamente com N amoniacal.

Apesar dos níveis encontrados para teores de P no tecido radicular e foliar da cultura do milho, serem baixos, ainda assim estão acima do nível crítico para a cultura (2,5 -3,5 g kg<sup>-1</sup>) determinados por MALAVOLTA 1997.

De acordo com Cantarella et al. (1997), o teor adequado de P, nas folhas do milho, para um desenvolvimento adequado, esta situado na faixa de 2,0-4,0 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca.

**Figura 14.** Teores de Fósforo na raiz e folha respectivamente em plantas de milho em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



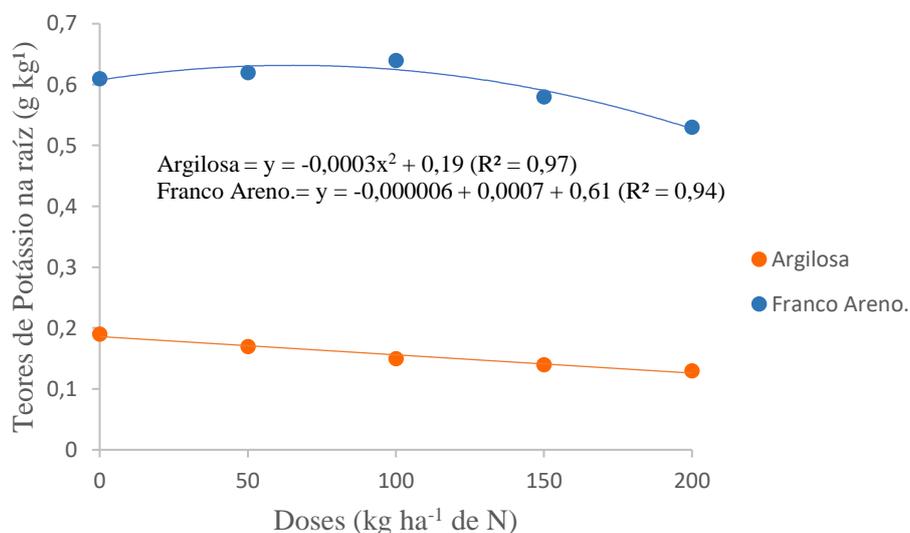
## POTÁSSIO

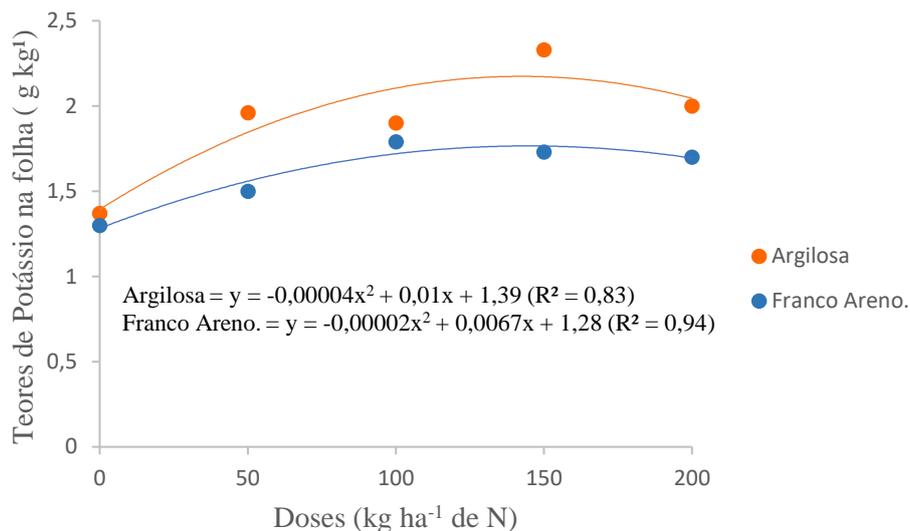
O teor de K no sistema radicular, para os tratamentos utilizados, mostraram efeitos significativos isoladamente e em interação. As doses de N aplicadas proporcionaram efeitos quadráticos para o solo de textura franco arenosa com a dose mínima eficiência atingida foi 58,03 kg ha<sup>-1</sup> de N (0,63 g kg<sup>-1</sup>). O efeito para o solo de textura argilosa foi

linear decrescente até a última dose aplicada. A mobilidade vertical de dado nutriente no solo é importante quando levando em consideração a mobilidade que o mesmo apresenta comparada com o nitrogênio e o fosforo.

Para os teores de K no tecido foliar, os efeitos foram significativos para aos tratamentos utilizados, isoladamente e com suas interações, se ajustando ao modelo quadrático de regressão para ambas as texturas. No solo de textura argilosa, a dose máxima foi atingida em 125 kg ha<sup>-1</sup>, de N correspondendo a um teor de K de 2,02 g kg<sup>-1</sup>. Para o solo de textura franco arenosa a dose de máxima eficiência foi de 167,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, correspondendo a um teor de 1,84 g kg<sup>-1</sup>. Tais resultados, apesar de apresentarem baixas teores de potássio no tecido foliar, expressão muito bem a importância do elemento na nutrição das plantas, pois o mesmo exerce muitas funções e processos metabólicos dentro da planta, onde citar à fotossíntese, potencial osmótico, transporte de floema, além de exercer grande impacto na qualidade e produtividade dos cultivos.

**Figura 15.** Teores de Potássio na raiz e folha em plantas de milho em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.





## CÁLCIO

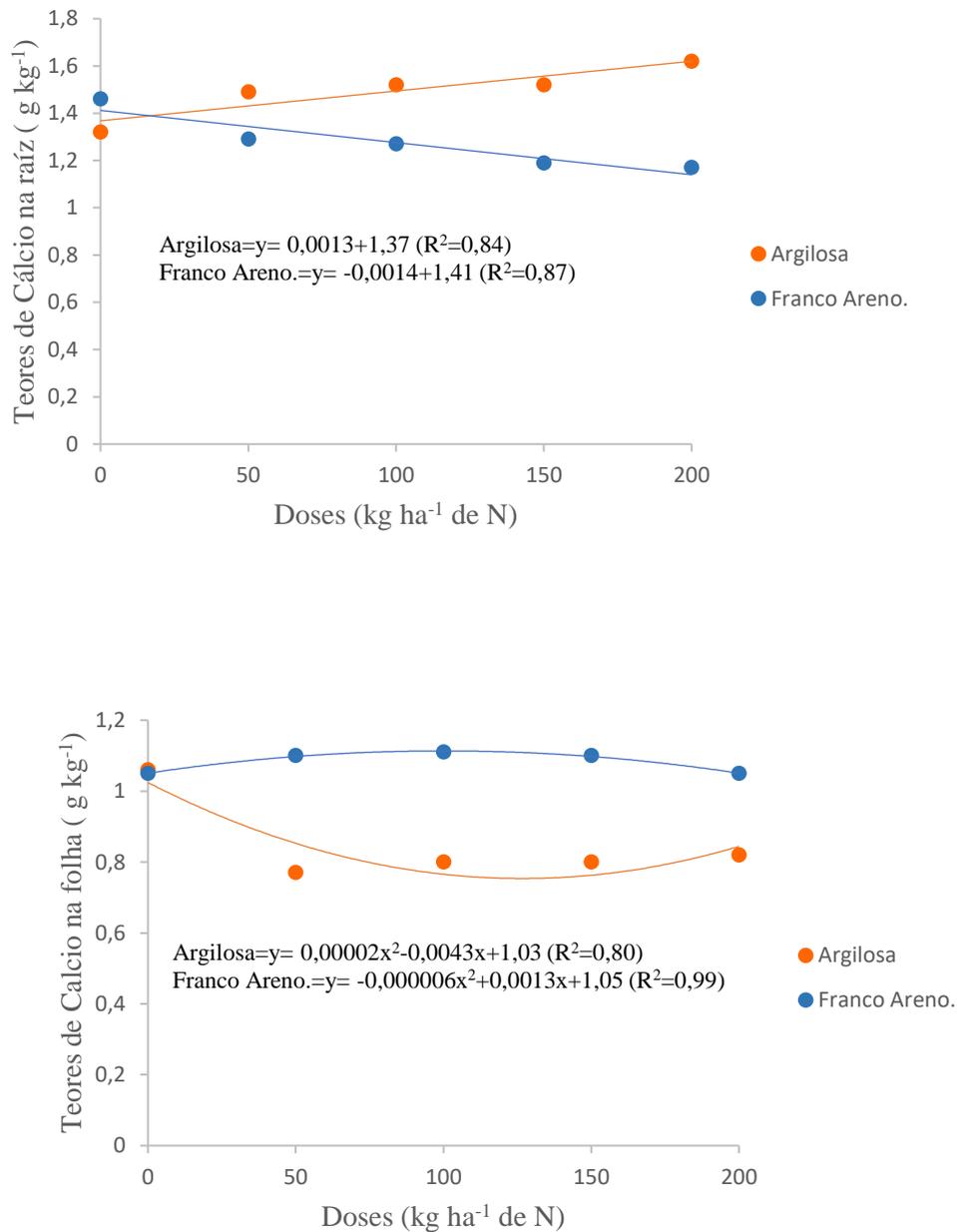
Os teores de cálcio no sistema radicular apresentou ajuste linear para a interação, dos solos com as doses. Linear crescente até a dose máxima testada no solo de textura argilosa e linear decrescente no solo de textura franco arenosa.

Segundo Novais et al. (2007), o cálcio é absorvido pelas plantas na forma do cátion  $Ca^{+2}$ . O cálcio absorvido é transportado no xilema e em partes do floema. Depois de transportado para as folhas, o cálcio se torna imóvel. A maior parte do cálcio do tecido vegetal encontrasse sob as formas não solúveis em água, como pectato de cálcio, o principal componente da lamela média da parede celular.

O mesmo é elemento essencial para o crescimento de meristema e, particularmente, para o crescimento e funcionamento apropriado dos ápices radiculares. A fração principal de Ca está nas paredes celulares ou no vacúolos e organelas (NOVAIS et al.,2007).

Normalmente na presença de doses elevadas de nitrogênio, tem efeito antagônico na absorção de cálcio pela planta de milho, apesar de na (Figura 16) demonstrar um crescimento no teor de cálcio no sistema radicular, mesmo assim encontra-se abaixo da faixa de teores adequados para a cultura do milho segundo (EMBRAPA,2010).

**Figura 16.** Teores de Cálcio na raiz e folha respectivamente em plantas de milho em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



## MAGNÉSIO

O teor de magnésio no sistema radicular apresentou melhor ajuste estatístico polinomial para a interação dos fatores. No solo de textura argilosa a dose de mínima eficiência técnica foi de 70 kg há<sup>-1</sup> de N, que proporcionou um teor de magnésio de 0,14 g kg<sup>-1</sup>. Já para o solo de textura franco arenosa a dose de máxima eficiência técnica foi de 125 kg há<sup>-1</sup> de N, com um teor de magnésio de 0,53 g kg<sup>-1</sup>.

Já para o teor de magnésio no sistema foliar mostrou significância apenas para o fator solo, onde verificamos uma maior teor de magnésio no solo de textura franco arenosa.

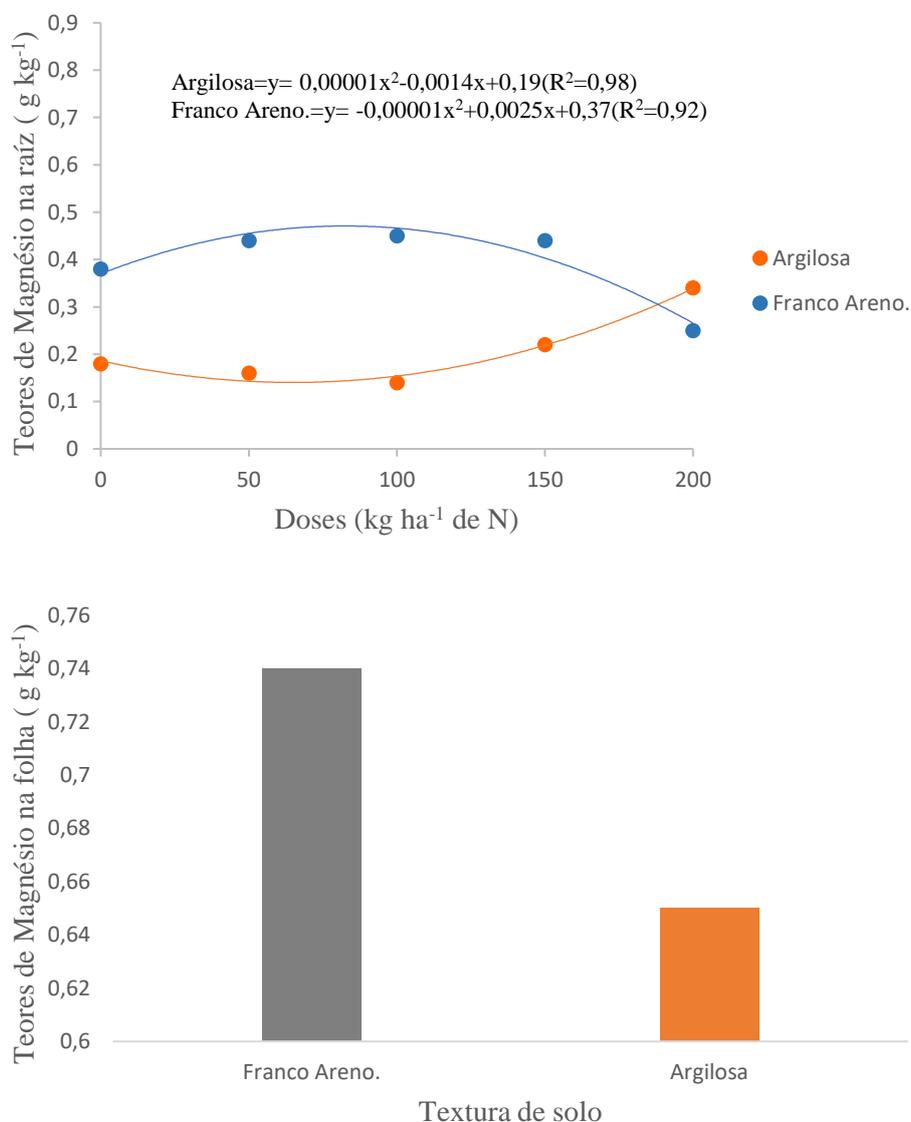
De acordo com Novais et al. 2007, o Mg é absorvido pelas plantas na forma  $Mg^{2+}$ . Por suas características, a absorção do Mg pode ser fortemente afetada pela disponibilidade de  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mn^{2+}$ .

Mais de 70% do Mg difunde-se livremente na suspensão celular, bem como associado a componente carregados negativamente, tais como proteínas e nucleotídeos por meio de ligações iônicas. Grande quantidade de Mg está, provavelmente, ligada a polifosfatos, como Mg-ATP (NOVAIS et al., 2007).

Apesar de vários trabalhos demonstrarem que o nitrogênio e o magnésio apresentam efeito sinérgico entre si, ou seja, na presença de um a absorção aumenta com o outro. Os teores apresentados na (Figura 17) estão abaixo da faixa considerada adequada para a cultura e isso pode estar relacionado com o período de coleta de material, o qual foi realizado no estágio vegetativo V10 e a literatura normalmente trata faixas adequadas em plantas adultas..

A inter- relação entre os nutrientes cálcio e magnésio na nutrição vegetal, está relacionada, às suas propriedades químicas próximas, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, fazendo com que haja competição pelo sítios de adsorção no solo, e na absorção pelas raízes. Como consequência, a presença de um pode prejudicar o processo de adsorção e absorção do outro, fato ocorrente para os íons  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  (ORLANDO FILHO et al., 1996).

Figura 17: Teores de Magnésio na raiz e folha em plantas de milho em resposta a doses de N (NBPT) em texturas diferentes de solo.



### 3.3- CONCLUSÃO

A cultura do milho respondeu de forma positiva as variáveis analisadas no trabalho, sendo ela fitométricas, trocas gasosas, bioquímicas e nutricionais, observando que a aplicação de doses de ureia com inibidor de uréase (NBPT) proporcionou ganhos mais significativos no solo de textura franco arenosa.

A aplicação de doses de N (NBPT) resultou em maiores efeitos no intervalo de 100 a 150 kg ha<sup>-1</sup> de N.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-EL BAKI, G. K. et al. Nitrate reductase in *Zea mays* L. under salinity. **Plant, Cell and Environment**, v. 23, n. 05, p. 515-521, 2000. 10.1046/j.1365-3040.2000.00568.x

ALMEIDA, R, F. & SANCHES, B, C. Fertilizantes nitrogenados com liberação lenta e estabilizada na agricultura. **Revista Verde**, Mossoró – RN, v. 7, n. 5, p. 31-35, 2012.

ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 8, p. 771-777, 2004.

ASSIS, F.N.; VERONA, L.A.F. Consumo de água e coeficiente de cultura do sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**.v.26, n.5, p.665-670. 1991.

BASI, S.; NEUMANN, M. MARAFON, F.; UENO, R. K.; SANDINI, I. E. Influência da adubação nitrogenada sobre a qualidade da silagem de milho. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, n.3, p.219-234, 2011. <http://dx.doi.org/10.5777/paet.v4i3.1433>

BRADFORD, M.M. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. **Analytical Biochemistry**,v.72, p.248-254, 1976. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)

BURNS, I.G. Eds. **Diagnostic Procedures for Crop N Management**. INRA: Paris, 1997. p. 15-29.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E.O. Adubação de cereais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p.43-50. (IAC. Boletim técnico, 100).

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from

urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Scientia Agricola*, v. 65, p. 397- 401, 2008.

CANTARELLA, H.; BOLONHEZI, D.; GALLO, P.B.; MARTINS, A.L.M.; MARCELINO, R. Ammonia volatilization and yield of maize with urea treated with urease inhibitor. In: 16th Nitrogen Workshop, Turin (Italy), June, 28th - July, 1st . 2009. p.129-130, 2009.

CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.6,n.1,p.71-80, 1975. 10.1080/00103627509366547

CECHIN, I. Comparison of growth and gas exchange in two hybrids of sorghum in relation to nitrogen supply. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.9, n.3, p.151-156, 1997.

CIVARDI, E.A. et al. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59, jan./mar. 2011. 10.5216/pat.v41i1.8146

CHUN, L.; MI, G.; LI, J.; CHEN, F.; ZHANG, F. Genetic analysis of maize root characteristics in response to low nitrogen stress. **Plant and Soil**, v.276, p.369-382, 2005. 10.1007/s11104-005-5876-2

CRUZ, J.C. et al. **Produção de Milho na Agricultura Familiar**. Sete Lagoas, MG, set. 2011.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; GAMA, E. E. G.; OLIVEIRA, A. C. Caracterização fenotípica de linhagens de milho quanto ao rendimento e à eficiência fotossintética. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.4, n.3, p.355-361, 2005. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v4n3p355-361>

ESPÍNDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, M. A. de; Campanharo, M.; Paula, G. de S. Rates of urea with or without urease inhibitor for topdressing wheat. **Chilean Journal**

**of Agricultural Research**, v.73,n.2, p.160-167, 2013. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392013000200012>

FANCELLI AL; DOURADO-NETO D. Fenologia do milho. In: FANCELLI AL; DOURADO-NETO D. (Ed.). 546 **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: Publique, 1997. p. 131-140.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FIGLIANO, S. L. et al. Tillering of two wheat genotypes as affected by phosphorus levels. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 331-338, 2012. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v34i3.13326>

FRAZÃO, J.J; SILVA, A. R; SILVA, V. L; OLIVEIRA, V. A; CORRÊA, R. S. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** PB. v18.n. 12 p.1262-1267.2014.<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1262-1267>

GARCIA, G. O. **Alterações químicas do solo, aspecto nutricionais, fisiológicos e de produção da cultura do milho irrigado com água salina**. 2006. 88 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2006.

GERLOFF, G. C. 1977. Plant efficiency in the use of nitrogen, phosphorus and potassium. pp. 161–173. In: M J Wright (ed.), **Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils** Cornell University Press, Ithaca, NY.

GONDIM, A. R. O.; PRADO, R. M.; ALVES, A. U.; FONSECA, I. M. Eficiência nutricional do milho cv. BRS 1030 submetido à omissão de macronutrientes em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 4, p. 539-544, 2010.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro: II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 213-218, maio/ago. 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000200005>

JADOSKI JUNIOR, C. **Avaliações fisiológicas de sorgo sacarino inoculado com *Azospirillum brasilense* em função da adubação nitrogenada e reguladores vegetais.** 2015. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista ‘Júlio de Mesquita Filho. Botucatu, 2015.

KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, v. 70, n.2,p. 334-343, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000200012>.

KAPPES,C; ARF,O; BEM,E.A.D; PORTUGAL,J.R; GONZAGA,A.R. Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.2, p. 201-217, 2014. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n2p201-217>

LANA, M. C.; WOYTICHOSKI JÚNIOR, P. P.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; ÁVILA, M. R.; ALBRECHT, L. P. Arranjo espacial e adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31,n.3, p. 433-438, 2009. [10.4025/actasciagron.v31i3.788](http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i3.788)

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KORNDÖRFER, G.H. & PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluída de cobertura na cultura de milho, em sistema de plantio direto no triângulo mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24,n.2,p.363-376, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832000000200014>.

LANGER, R.H.M.; HILL, G.D. Physiological basis of yield. In: **Agricultural Plants**. Cambridge: Cambridge University Press. 1982. p.291 – 310.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F.; PLENET, D. Dynamics of N uptake and N distribution in plant canopies. Use of crop N status index in crop modelling. In: Diagnostic Procedures for Crop N Management. Eds G Lemaire and I G Burns. pp 15–29.1997 INRA, Paris.

LIMA, E. do V. et al. Adubação NK no desenvolvimento e na concentração de macronutrientes no florescimento do feijoeiro. **Scientia Agrícola**, v.58,n.1, p.125-129, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162001000100019>.

MAÇÃS, J. E. S. **Nitrogênio nítrico e amoniacal no desenvolvimento da parte aérea de milho cultivado em argissolo**. 2008. 72f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2007. Disponível em: Acesso em: 19 ago. 2014.

MARENCO, R.A.; LOPES. N.F. **Fisiologia vegetal**, 3 ed, UFV. 2009, cap 4, p. 227.

MAR, G. D.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; NOVELINO, J. O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, , v. 62,n.2, p. 267-274, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052003000200012>.

MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London : Academic, 1995. 889p.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranja 'Valência' sob deficiência hídrica. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 11, n. 1, p. 2934, 1999.

MENDES, E.D.R. et al. **Diferentes fontes e doses de nitrogênio na cultura do milho no município de alta floresta-MT: características produtivas, 2012**. Disponível em: <[http://www.abms.org.br/29cn\\_milho/02184.pdf](http://www.abms.org.br/29cn_milho/02184.pdf)>. Acesso em: 30 jul. 2015.

NASCIMENTO, F.M.; BICUDO, S.J.; FERNANDES, D.M.; RODRIGUES, J.G.L.; FERNANDES, J.C.; FURTADO, M.B. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio: Influência na relação C/N da palhada no desenvolvimento e produtividade do milho em sistema plantio direto. **Científica**, Jaboticabal, v.40, n.1, p.77-89, 2012. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2012v40n1p77+-+89>

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARITTI, R.B.; NEVE S, J.C.L. Fertilidade do Solo – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG. 2007. 1017 p.

NUNES, E.N.; MONTENEGRO, I.N.A.; NASCIMENTO, D.A.M.; SILVA, D.A.; NASCIMENTO, R. Análise de crescimento e assimilação de nitrogênio em plantas de milho (*Zea mays* L.). **Revista Verde** (Mossoró – RN - Brasil), v. 8, n. 4, p. 72 - 76, out – dez, 2013

OKUMURA, R.S. **Uréia com NBPT em cobertura na cultura do milho**. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

ORLANDO FILHO, J.O.; BITTENCOURT, V.C.; CARMELLO, Q.A.C.; BEAUCLAIR, E.G.F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB**, v.14, n.5, p.13-17, 1996.

OLIVEIRA, J.I.P. **Avaliação de ureia de liberação lenta na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2015. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul., Ijuí, 2015.

OREN, R. et al. Sensitivity of mean canopy stomatal conductance to vapor pressure deficit in a flooded *Taxodium distichum* L. forest: hydraulic and non-hydraulic effects. **Oecologia**, n. 126, p. 21-29, 2001. 10.1007/s004420000497

PEIXOTO, C.M. **O milho no Brasil, sua importância e evolução**. 2013: Disponível em: . Acesso em: 20 jul. 2015.

PIETRO-SOUZA,W; BONFIM-SILVA,E.M; SCHLICHTING,A.F; SILVA,M.C. Desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.17, n.6, p.575–580 , 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-4366201300060000>

PIMENTEL, C; PEREZ, A.J.L.C. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.1, p.31-39, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000100005>

PULITO, A.P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de Eucalyptus**. 2009. 58p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.Piracicaba,2009. 10.11606/D.11.2009.tde-22062009-150636

RAGAGNIN, V. A.; SENA JÚNIOR, D. G.; SILVEIRA NETO, A. N. Recomendação de calagem a taxa variada sob diferentes intensidades de amostragem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14,n.6, p.600-607, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000600006>

RAIJ, B van. CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. Boletim Técnico, 100.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RAWLUK, C.D.L.; GRANT, C.A.; RACZ, G.J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 81, p. 239-246, 2001.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, DF. EMBRAPA, 2013. 353 p.

SAS. SAS/STAT®. User's guide. Version 9.2. Cary: SAS Institute Inc., 2008. 584p.

SBRISSIA, A.F; SILVA, S.C. Comparação de três métodos para estimativa do índice de área foliar em pastos de capim marandu sob lotação contínua. São Paulo. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.37, n.2, p.212-220, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000200006>

SCIVITTARO, W. B.; GONÇALVES, D. R. N.; VALE, M. L. C. do; RICORDI, V. G. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. **Ciência Rural**, v.40,n.6, p.1283-1289, 2010.

SHIMAZAKI, K. I. et al. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, n. 1, p. 219-247, 2007. [10.1146/annurev.arplant.57.032905.105434](https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105434)

SILVA, P. S. L.; OLIVEIRA, F. H. T.; SILVA, P. I. B. Efeitos da aplicação de doses de nitrogênio e densidades de plantio sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21,n.3, p. 452-455, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362003000300007>

SILVA, E. C. da; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E. de. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29,n.3, p.353-362, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000300005>.

SILVA, A. D.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F. de; GONÇALVES, M. C.; ROSCOE, R. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em

sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.1,p.75-88, 2006. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v5n1p75-88>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

SOARES, M. O.; MARRIEL, I. E.; MAGALHAES, P. C.; GUIMARAES, L. J. M.; CANTÃO, F. R. de O.; ROCHA, M. C. da; CARVALHO JÚNIOR, G. A. de; MIRANDA, G. V. Discriminação de linhagens de milho quanto à utilização de nitrogênio, por meio da avaliação de características do sistema radicular. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.1, p. 93-103, 2009. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v8n1p93-103>

SOARES,L.A.dosA.;FURTADO,G.F.;ANDRADE,E.M.G.;SOUSA,J.R.M.;GUERRA, H.O.R.;NASCIMENTO,R. Troca de CO<sub>2</sub> do feijão-caupi irrigado com água salina e fertilização nitrogenada. **Agropecuária Científica no Semiárido**. v. 9, n. 3, p. 30-37. 2013.

SORATTO, R. P.; PEREIRA, M.; COSTA, T. A. M.; LAMPERT, V. N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 511- 518, 2010.

SOUTO, L. S. **Resposta do milho à adição de níveis de fitomassa de *Brachiaria decumbens* Stapf e nitrogênio em Latossolo Vermelho**. 2004. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre, Artmed, 2004. 719p.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed.Porto Alegre:Artmed, 2013. 918p.

TRENKEL, M.E. **Improving fertilizer use efficiency: controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture.** International Fertilizer Industry Association, Paris, 151p. 1997.

TRENKEL, M. E. **Slow – and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture.** Second edition, IFA, Paris, France, 2010.

VIÉGAS, R.A.; MELO, A.R.B.; SILVEIRA, J.A.G.S. Nitrate reductase activity and proline accumulation in cashew in response to NaCl salt shock. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v.11, p.21-28, 1999.

WATSON, C.J.; MILLER, H.; POLAND, P.; KILPATRICK, D.J. .; ALLEN, M.B.D.; GARRET, M.K.; CHRISTIANSON, C.B. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide (nBTPT) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 26, p. 1165-1171, 1994.

WEATHERBURN, M. W. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. **Analytical Chemistry**, v. 39, n. 08, p. 971-974, 1967. 10.1021/ac60252a045

WHITEHEAD, D. C. **Grassland nitrogen.** Wallingford: CAB International, 1995. 397p.