



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA  
CURSO DE MESTRADO EM AGROECOLOGIA

PAULO HENRIQUE MARQUES MONROE

**EFICIÊNCIA DE FONTES ALTERNATIVAS DE FÓSFORO E NITROGÊNIO  
PARA A AGRICULTURA FAMILIAR DO MARANHÃO**

SÃO LUÍS  
2011

PAULO HENRIQUE MARQUES MONROE  
Engenheiro Agrônomo

**EFICIÊNCIA DE FONTES ALTERNATIVAS DE FÓSFORO E NITROGÊNIO  
PARA A AGRICULTURA FAMILIAR DO MARANHÃO**

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alana das Chagas Ferreira Aguiar

SÃO LUÍS  
2011

**PAULO HENRIQUE MARQUES MONROE**

**EFICIÊNCIA DE FONTES ALTERNATIVAS DE FÓSFORO E NITROGÊNIO  
PARA A AGRICULTURA FAMILIAR DO MARANHÃO**

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

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Alana das Chagas Ferreira Aguiar** (orientadora)  
Doutora em Agronomia  
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

---

**Prof. Dr. Luís Carlos Nogueira** (1º examinador)  
Doutor em Engenharia Agrícola e Biológica  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

---

**Prof. Dr. Christoph Gehring** (2º examinador)  
Doutor em Agronomia  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

## SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
<b>CAPÍTULO I – ABSORÇÃO, DINÂMICA E USO DOS NUTRIENTES, DE DIFERENTES FONTES, NO CULTIVO DO MILHO</b>	
1.INTRODUÇÃO .....	07
2.REFERENCIAL TEÓRICO.....	08
2.1 Fósforo no milho.....	08
2.2 Uso de fosfato natural na agricultura.....	08
2.3 Absorção e remobilização de P no milho.....	10
2.4 O N no milho.....	11
2.5 A dinâmica do N no solo.....	12
2.6 A substituição do N sintético por leguminosas.....	13
2.7 Absorção e remobilização do N.....	14
3. LITERATURA CITADA.....	16
<b>CAPÍTULO II - EFICIÊNCIA DE FONTES ALTERNATIVAS DE FÓSFORO E NITROGÊNIO PARA A AGRICULTURA FAMILIAR DO MARANHÃO</b>	
RESUMO.....	29
ABSTRACT.....	30
1. INTRODUÇÃO.....	31
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	32
2.1 Coleta da Fonte de Fósforo (FNT).....	32
2.2 Experimento I.....	32
2.3 Experimento II.....	33
2.3.1 Área Experimental.....	33

2.3.2 Delineamento Experimental e Práticas Culturais.....	35
2.3.3 Parâmetros Analisados.....	35
2.3.4 Cálculos e Análise Estatística.....	36
3. RESULTADOS.....	37
3.1 Fosfato Natural de Trauíra (FNT).....	37
3.2 FNT em Duas Classes de Solo.....	38
3.3 Relação do FNT com Leucena e Diferentes Fontes Sintéticas.....	40
4. DISCUSSÃO.....	45
4.1 Fosfato Natural de Trauíra (FNT).....	46
4.2 FNT em Duas Classes de Solo.....	46
4.3 Relação do FNT com Leucena e Diferentes Fontes Sintéticas.....	48
5. CONCLUSÃO.....	52
6. LITERATURA CITADA.....	53

**ABSORÇÃO, DINÂMICA E USO DOS NUTRIENTES, DE DIFERENTES  
FONTES, NO CULTIVO DO MILHO**

---

**CAPÍTULO I**

## 1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é considerado uma das principais *commodities* agrícolas em função do seu potencial produtivo e grande importância na produção animal, constituindo-se em um alimento de alto valor nutritivo. O nitrogênio e o fósforo são os elementos mais limitantes para o crescimento desta cultura (OLIVEIRA et al. 2009) e a escolha das fontes para fertilização pode garantir o aumento da eficiência de uso destes nutrientes.

O nitrogênio e o fósforo são elementos que se perdem facilmente no solo: o primeiro por lixiviação, denitrificação, volatilização (STEVENSON, 1982) e o segundo principalmente por fixação (MOREIRA et al., 2006). Esses processos influenciam a eficiência de uso desses nutrientes e aumentam os custos de produção (FAGERIA e BALIGAR, 2005).

O uso de leguminosas de alta qualidade de resíduo é recomendado para a melhoria da fertilidade do solo e o aporte de nutrientes pelas culturas alimentares no trópico úmido (AGUIAR et al, 2009; LEITE et al., 2008; MOURA et al., 2009). Como fonte de fósforo, fosfatos aluminosos encontrados em grande quantidade no Norte do Maranhão têm apresentado resultados agronômicos satisfatórios, após calcinação (CÂMARA et al., 1984; GUARDANI, 1987).

A absorção de nitrogênio e o conteúdo na parte aérea são reduzidos quando o suprimento de fósforo no solo é baixo (ALVES et al., 1999; BRASIL et al., 2007). Humble et al. (1969) reportam que a assimilação do fósforo na solução do solo também é influenciada pela duração do período de absorção e concentração de nitrogênio. O uso desses nutrientes é positivamente associado, havendo necessidade de mais estudos dos mecanismos que envolvem essa interação.

Alguns estudos reportam a influência de fontes nitrogenadas e fosfatadas na eficiência de utilização dos nutrientes pela planta (CHIEN e MENON, 1995; MOURA et al., 2010). Esses fatores podem acelerar ou prolongar o início de senescência da planta, dificultando a dinâmica dos nutrientes nos tecidos vegetais, alterando a remobilização e absorção pós-antese, essenciais para a formação dos grãos (BANCAL, 2009; TAHIR e NAKATA, 2005).

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Fósforo no milho**

O fósforo é considerado o segundo elemento mais importante para nutrição de plantas e é responsável pela transferência de energia na síntese de substâncias orgânicas (Primavesi, 1985). Pode ser encontrado na natureza em sua forma orgânica (P-org) e inorgânica (Pi), representada principalmente pela sua fração fosfato ( $\text{PO}_4^-$ ), porém a quantidade de fósforo disponível em solos brasileiros é menor que a demanda para o crescimento das plantas. Formas inorgânicas de baixa solubilidade são mais encontradas no solo e a necessidade de utilizar técnicas que aumentem a disponibilidade desse elemento é um fator relevante para o desenvolvimento de pesquisas nessa área (CASSINI, 2005).

A cultura do milho extrai cerca de 10 kg de fósforo para cada tonelada de grão produzida. Cerca de 80 a 90% deste elemento absorvido são exportados pelos grãos (Büll, 1993; Coelho e França, 1995).

O milho é uma cultura que apresenta grande dependência do custo de produção em função da necessidade de adubação fosfatada, do que propriamente o preço do produto (PRADO e FERNANDES, 2001).

De acordo com Harger et al. (2007), a produção de massa de matéria seca da parte aérea das plantas de milho aumentou com o incremento das doses de fósforo, independentemente da fonte de P considerada. Em baixos níveis de fósforo no solo, Brasil et al. (2007) observaram diferente acúmulo de massa seca na parte aérea e raízes de híbridos e linhagens de milho.

Gatiboni et al., (2007) concluíram que em solos com baixa ou nenhuma adição de fertilizantes fosfatados, as formas orgânicas de fósforo são as principais mantenedoras do fósforo absorvido pelas plantas.

### **2.2 Uso de Fosfato Natural Calcinado na Agricultura**



O minério de fosfato tem uma enorme utilidade sócio-econômica, pois é dele que é feito o superfosfato e muitos outros adubos fosfatados largamente usados na agricultura (PEIXOTO, 2002). Além disso, o uso de fertilizantes fosfatados acidulados solúveis em água, como superfosfato simples, pelos agricultores de baixa renda é limitado nos países em desenvolvimento pelo seu elevado custo (CHIEN et al., 1996).

Vance et al. (2003) estimam que as reservas de fósforo no mundo economicamente viáveis para exploração podem ser suficientes até 2050, indicando a necessidade de estudar a eficiência de fontes alternativas de P para as culturas.

Diamond (1979) propôs um sistema de classificação dos fosfatos naturais para aplicação direta em três categorias (baixa, média e alta reatividade), de acordo com o teor de  $P_2O_5$  solúvel dos materiais em citrato neutro de amônio, ácidos cítrico e fórmico. Já Hammond et al. (1983) propuseram um sistema com quatro categorias (alta, média, baixa e muito baixa) baseado na eficiência agrônômica relativa (EAR) e no teor de  $P_2O_5$ (%) solúvel em citrato neutro de amônio.

Embora o Brasil apresente inúmeras reservas de fosfatos naturais cuja aplicação de forma direta reduza consideravelmente os gastos em relação a fontes solúveis, são pouco utilizados devido à baixa eficiência que apresentam, como constatado por diferentes pesquisadores no Brasil (Coutinho et al., 1991; Dynia, 1977; Feitosa et al., 1978; Goedert et al., 1984; Goedert et al., 1990).

A calcinação é uma tecnologia simples que pode ser aplicada a fosfatos aluminosos, demonstrando bom desempenho quando comparados a fosfatos naturais solúveis (CÂMARA, 1984). Essa técnica de solubilização do fosfato pode ser realizada de forma artesanal com uso de fornos rudimentares, utilizando como fonte energética a casca do babaçu (*Orbygnia phalerata* Mart.). De acordo com Braun (1983), sob o ponto de vista técnico essa estratégia atenderia a demanda local.

Gilkes e Palmer (1979) trabalharam com fosfatos aluminosos das Ilhas Christmas e utilizaram calcinação para testar a solubilidade do material. Eles constataram que temperaturas entre 450° e 600°C promoviam a desestruturação dos minerais resultando em um material amorfo e temperaturas acima de 650°C recristalizavam o material formando minerais diferentes.

No Maranhão, na região Noroeste do Estado, foram encontrados seis reservas de fosfato aluminoso: Pirocaua, Trauíra, Pedra Grande, Tromai, Tralhoto e Jacaré (REZENDE,

2001). De acordo com Braun, (1983) as jazidas fosfáticas de Trauíra somam cerca de 19 milhões de toneladas de  $P_2O_5$ .

Palmer e Gilkes (1983) realizaram um estudo com um fosfato aluminoso calcinado a  $500^\circ C$  utilizando plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) e verificaram que o fosfato calcinado promoveu o mesmo rendimento máximo das plantas obtido com superfosfato.

Mesmo com sua baixa solubilidade em água, esses minerais normalmente apresentam alta solubilidade em citrato neutro de amônio após a calcinação devido ao colapso da estrutura cristalina (BUCHAN et al., 1970; GILKES E PALMER, 1979). Alguns estudos no Brasil mostraram aumento na solubilidade de fósforo e significativos resultados agronômicos após a calcinação (CÂMARA et al., 1984; GUARDANI, 1987).

Francisco et al., (2007) concluíram que o tratamento térmico de fosfatos aluminosos do grupo da candrallita aumenta a solubilidade das amostras, o que melhora as características agronômicas deste mineral como fonte de fósforo, pois o crescimento das plantas pode ser favorecido pela sua maior disponibilidade.

Câmara et al., (1984) testaram fosfatos aluminosos calcinados de uma reserva de Pirocaua no Maranhão e observaram que a calcinação a  $600^\circ C$  aumenta o teor de  $P_2O_5$  total de 31,3% no material original para 35,7 % e a produção de massa de matéria seca de plantas de milho submetidas ao produto calcinado apresenta incremento positivo de 42% em relação ao tratamento controle.

### **2.3 A absorção e a remobilização do P no milho**

A baixa mobilidade do fósforo no solo dificulta sua absorção pela planta, principalmente quando há deficiência deste nutriente ou quando está adsorvido a partículas do solo. As plantas desenvolveram mecanismos para diminuir estes efeitos, liberando ácidos orgânicos (GAUME et al., 2001) e/ou aumentando o contato das raízes com a fonte fosfatada (MCCULLY, 1999).

O fósforo é absorvido principalmente durante o estágio vegetativo de desenvolvimento das plantas e também é retranslocado para frutos e sementes durante os estágios reprodutivos (MARSCHNER, 1995).

Atualmente, tem-se proposto que a translocação de reservas para o grão pode ser crítico para a produtividade, quando as plantas são submetidas a estresse como, por exemplo, o hídrico durante o período de enchimento dos grãos (KUMAR et al., 2006). Este mecanismo está intimamente ligado ao processo de senescência da planta (MI et al., 2000).

A contribuição de assimilados antes da antese para o enchimento dos grãos depende da quantidade de material mobilizado entre a antese e a maturação e eficiência de conversão do material remobilizado (GEBBING et al., 1999).

A remobilização do fósforo ocorre principalmente em ambientes onde a disponibilidade de P é baixa. Zhang (2010) mostrou que a remobilização do P ocorre de forma mais ativa, quando os teores desse elemento no solo são baixos, o que aumenta a eficiência do uso pela planta. Przulj e Momcilovic (2001) sugerem que genótipos com maior eficiência de utilização e assimilação de matéria seca antes da antese podem ser mais vantajosos para o crescimento em condições de estresse.

A remobilização de P proveniente da parte vegetativa ocorre de forma efetiva durante o desenvolvimento dos grãos (PAPAKOSTA, 1994). Em um estudo com adubação com fósforo, Dordas (2009) avaliou durante dois anos que a fertilização aumentou o acúmulo de massa de matéria seca e remobilização de fósforo das partes vegetativas da planta para os grãos.

O crescimento moderado das plantas antes da antese em solos que apresentam baixa fertilidade resulta em baixa fonte de assimilados e um baixo potencial de dreno. Assim, plantas com pouca fonte de assimilados dificilmente irão suprir a demanda do enchimento total do grão (MASONI et al., 2007).

Machado et al., (2001) estudaram índices de eficiência em cultivares melhoradas e locais de milho (Campinas – São Paulo) e observaram que o índice de colheita no ensaio em solução nutritiva, não apresentou diferença entre as cultivares, mas quase todo o P absorvido foi translocado para o grãos. As plantas melhoradas apresentaram maior eficiência agrônômica (peso do grão/P aplicado).

## **2.4 O N no milho**

O nitrogênio atua diretamente no crescimento da planta, pois é responsável pela interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, no uso eficiente desta e na produção de biomassa seca (SINCLAIR e HORIE, 1989; UHART e ANDRADE, 1995). A disponibilidade de nitrogênio afeta diretamente o desenvolvimento da área foliar e a taxa de fotossíntese (ARDUINI et al., 2006; GODOY JÚNIOR e GRANER, 1964; LEMAIRE e 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 maior parte do N disponível às culturas provém da interação entre dois processos: a fertilização nitrogenada e a mineralização do N dos resíduos das culturas e do N da matéria orgânica do solo (SAMPAIO e SALCEDO, 1993). Este nutriente deve ser manejado com análise do nível correto de adubação, para que não haja prejuízos (PAVINATO, 2008).

O N também afeta o crescimento do sistema radicular, tamanho das espigas, número e massa de grãos, massa de 1000 grãos e número de espigas por planta (MELGAR et al., 1991). Parâmetros biométricos também são influenciados como: 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 (GODOY JÚNIOR e GRANER, 1964).

Além do efeito positivo sobre a produção de grãos, o nitrogênio interfere em diversas outras características do milho, relacionadas ao crescimento e ao desenvolvimento (IMOLESI et al., 2001). Amado (1997) encontrou uma relação de 0,9 a 1,2% de N nos tecidos das plantas de milho para obtenção da máxima produção de massa de matéria seca.

## **2.5 A dinâmica do N no solo (perdas por lixiviação e desnitrificação)**

O nitrogênio é um elemento muito dinâmico no solo, pois sofre diversos processos que modificam sua forma, entre os quais estão os processos microbianos de mineralização, imobilização e denitrificação, e físicos de erosão e lixiviação (RAMBO et al., 2008).

O estoque de N no solo é o resultado do balanço entre a mineralização e a imobilização, ou seja, quando a mineralização é maior do que a imobilização, ocorre um aumento líquido do N mineral no solo, do contrário ocorre uma redução.

Processos como lixiviação, volatilização, mineralização, imobilização e desnitrificação são alterados pela utilização de sistemas de cultivos menos intensivos como o plantio direto (LARA CABEZAS et al., 2000).

A liberação de N de resíduos culturais para as espécies em sucessão depende da imobilização e da mineralização. Estes processos podem ser influenciados pela qualidade do resíduo cultural (relação C/N, lignina, polifenóis), manejo de resíduos (incorporado/superfície), temperatura do solo, regime de água/aeração (AULAKH et al., 1991), pH e pelo teor de nutrientes do solo (AITA, 1997).

De acordo com Siqueira e Moreira (1997), as estimativas da quantidade de N mineralizado é elevada, sendo 2,5 vezes maior que o total de N absorvido pelas culturas. Essas perdas podem ocorrer para a atmosfera ou para o subsolo através da desnitrificação ou lixiviação os quais contribuem com 72% das perdas totais de nitrogênio. De 13 a 23% do N é perdido por desnitrificação em cultivo convencional sob condições anaeróbicas quando o solo é submetido a fortes chuvas ou irrigação (REDDY, 1993).

Nos trópicos, as perdas de nitrogênio por lixiviação são importantes em sistemas de cultivo onde a precipitação pluvial excede a evapotranspiração atual devido à intensidade do fluxo de água no solo (ROBERTSON, 1997).

Sexton et al., (1996) observaram que a lixiviação de  $\text{NO}^{-3}$  aumentou rapidamente quando a adubação excederam  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  e que o aumento foi exponencial quando as doses excederam  $250 \text{ kg ha}^{-1}$ , correspondendo ao nível máximo de rendimento para a cultura do milho.

## **2.6 A substituição do N sintético por leguminosas (adubação verde)**

Plantas de cobertura podem suprir quantidades elevadas de N, principalmente as leguminosas, chegando a acumular mais de  $100 \text{ kg}$  de N no tecido por hectare (DA ROS e AITA, 1996; CERETTA et al., 1994). Amado & Mielniczuk (2000), num estudo da estimativa da adubação nitrogenada para milho, observaram que a disponibilidade de N das culturas de cobertura é influenciada pela quantidade total de N na fitomassa e sua relação C/N, conteúdo de lignina e polifenóis. Para que o aproveitamento do N das plantas de

cobertura seja maximizado pelo milho, é fundamental que a liberação de N dos resíduos culturais ocorra em sincronia com a demanda de N do milho (STUTE e POSNER, 1995).

Além desses aspectos, quando leguminosas são utilizadas como adubos verdes, quantidades significativas de nitrogênio são adicionadas ao solo por meio do processo de fixação biológica de nitrogênio (ALCÂNTARA et al., 2000, FRANCO e CAMPELLO, 2005).

Segundo Moura (2009) o cultivo de algumas leguminosas arbóreas são imprescindíveis para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas pela adição de matéria seca e ciclagem de nutrientes.

A adubação verde é uma boa alternativa para complementar o suprimento de nitrogênio e, em algumas situações, possibilita aumento de produtividade em relação à adubação somente com nitrogênio mineral (AMADO et al., 2000; GONÇALVES et al., 2000; HEINRICHS et al., 2002). O fornecimento de nitrogênio via adubação verde, aumentou significativamente a altura e o acúmulo de proteína na planta do milho (MAYUB et al., 2002).

Moura et al., (2009) mostraram que a adição de resíduos de leguminosas arbóreas melhorou os níveis de nitrogênio no solo durante cinco anos. Aguiar et al., (2010) observaram que a utilização de leguminosas arbóreas aumentou os níveis de N, superando as parcelas sem leguminosas. Aita et al., (2001) estudaram o comportamento de diferentes leguminosas como fonte de nitrogênio e observou que aproximadamente 60% do N acumulado na parte aérea das leguminosas foi liberado pelos resíduos culturais durante os primeiros 30 dias após o manejo das espécies. A eficiência de uso do nitrogênio, nestes sistemas pode alcançar de 15 a 19% (MOURA et al., 2010).

Teixeira et al. (1994) trabalharam com diferentes sistemas de culturas com cobertura e concluíram que os sistemas que incluem plantas leguminosas determinam maiores efeitos sobre a adição de nitrogênio no solo.

A qualidade do resíduo vegetal, principalmente a sua relação C/N, influencia diretamente a taxa de decomposição e imobilização/mineralização do N (MURAOKA et al., 2002).

Aguiar et al., (2009) observaram que o sistema de cultivo em aléias com leguminosas arbóreas apresentaram quantidade de N maior do que a requerida pela cultura do milho, onde mais de 220 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N foram adicionados pelas leguminosas.

O plantio de árvores pode favorecer a melhoria do substrato sobre o qual se desenvolvem (FISHER, 1990), principalmente porque muitas espécies podem aumentar o

conteúdo de N do solo, pela fixação do N<sub>2</sub> da atmosfera por meio da associação simbiótica com bactérias diazotróficas. A fixação biológica de nitrogênio ocorre em todo ecossistema muito importante para a agricultura. Quando em simbiose, a fixação de N<sub>2</sub> é dependente da relação entre espécie hospedeira e rizóbio, no entanto, pode ser limitada por fatores como pH do solo, toxidez de alumínio, manganês, deficiência de cálcio, fósforo, molibidênio, estresse hídrico ou temperaturas elevadas (BORDELEAU e PRÉVOST, 1994; SIQUEIRA e FRANCO, 1988).

## **2.7 A absorção e remobilização do N**

O nitrogênio promove o acúmulo de massa de matéria seca da planta, principalmente quando os estoques no solo são suficientes para a nutrição da planta e quando este nutriente está em quantidades equilibradas com o fósforo (HUMBLE et al. 2007).

Para a produtividade de uma tonelada de grãos de milho, a planta necessita absorver aproximadamente 21 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (COELHO e FRANÇA, 1995), sendo que aproximadamente 75% da quantidade absorvida são exportadas com o grão. Dordas & Sioulas (2008) observaram que o conteúdo de nitrogênio nos tecidos vegetais diminuiu quando a planta passou da antese para a fase de maturação e indicou que houve remobilização de nitrogênio dos tecidos vegetais para as sementes.

A remobilização do nitrogênio é um importante mecanismo que ocorre durante o desenvolvimento da planta e pode ser aumentado em condições de estresse após o período de crescimento vegetativo. Os sintomas de deficiência nas folhas durante a formação do grão indicam a remobilização (MARSCHNER, 1995).

Como a capacidade fotossintética está associada ao teor de N nas folhas, a remobilização durante a senescência pode ser uma das causas da baixa eficiência de produção de carboidratos solúveis (SINCLAIR e DE WIT, 1975).

Segundo Yang e Zhang (2010), para que haja remobilização dos nutrientes assimilados e estocados nos tecidos para o grão, a planta deve iniciar o processo de senescência. Desta forma, uma das causas da diminuição do enchimento dos grãos de gramíneas é a senescência tardia das plantas, causada por: utilização excessiva de fertilizantes nitrogenados (PENG et

al., 2006), cultivares que tem um longo estágio vegetativo (YUAN, 1998) e introdução de espécies híbridas (YANG et al., 2002).

As condições ambientais também influenciam a remobilização de nutrientes, desta forma, plantas estressadas tendem a investir na produção de grãos, o que compromete a produção de massa de matéria seca e eficiência da fotossíntese em plantas estressadas. Bancal (2009) concluiu que o N remobilizado foi positivamente correlacionado com o teor de N na antese e negativamente correlacionado com o N absorvido após antese.



## LITERATURA CITADA

AGUIAR, A. C. F.; FREITAS, I. C.; CARVALHO, C. S.; MONROE, P. H. M.; MOURA, E. G. Efficiency of an agrosystem designed for family farming in the pre-Amazon region. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 26, p. 24-30, 2010.

AGUIAR, A. C. F.; BICUDO, S. J. ; COSTA SOBRINHO, J. R. S.; MARTINS, A. L. S.; COELHO, K. P.; MOURA, E. G. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the pre-Amazon region of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 86, p. 189-198, 2009.

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D. (Coord.) **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Pallotti, 1997. p. 76-111,

AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. C. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 157-1165, 2001.

ALCÂNTARA, F. A. et al. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 277-288, 2000.

ALVES, V. M.C.; MAGALHÃES, J. V.; VASCONCELLOS, C. A.; NOVAIS, R. F.; BAHIA FILHO, A. F. C.; FRANÇA, G. E.; OLIVEIRA, C. A.; FRANÇA, C. C. M. Acúmulo de nitrogênio e de fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo às raízes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 299-305, 1999.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 553-560, 2000.

AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. 201f. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciência) - Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 179-189, 2000.

ARDUINI, I.; MASONI, A.; ERCOLI, L.; MARIOTTI, M. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. **European Journal Agronomy**. v. 25, p. 309–318, 2006.

AULAKH, M.S., DORAN, J.W., WALTERS, D.T. et al. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 1020-1025, 1991.

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

BANCAL, P. Decorrelating source and sink determinism of nitrogen remobilization during grain filling in wheat. **Annals of Botany**. v. 103, p. 1315–1324, 2009.

BORDELEAU, L. M.; PRÉVOST, D. Nodulation and nitrogen fixation in extreme environments. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 161, p. 115-125, 1994.

BRAUN, W.A.G. Os fosfatos de alumínio do Brasil, sua tecnologia e uso agrícola. **Fertilizantes**, São Paulo, v. 5, p. 3-11, 1983.

HUMBLE, EDÍLSON CARVALHO; ALVES, VERA MARIA CARVALHO; MARRIEL, IVANILDO EVÓDIO; PITTA, GILSON VILLAÇA EXEL; DE CARVALHO, JANICE GUEDES. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de fósforo. **Ciência Agrotecnica**. v.31, p. 704-712, 2007.

BUCHAN, J.A.J.; MULLER, F.B.; ROGERS, J.; SEAGER, R.H.; YONG, T.A. Agronomic use of calcined Christmas Island iron/aluminium phosphates. II. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 13, p. 465-480, 1970.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do Milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-145.

CÂMARA, L. M. J. R.; RIBEIRO, J. F.; FERNANDES, M. S. Efeito da calcinação na eficiência de fosfatos de alumínio como fertilizante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.8, p. 345-347, 1984.

CARTELLE, J., PEDRO, A., SAVIN, R., SLAFER, G.A. Grain weight responses to postanthesis spikelet-trimming in an old and a modern wheat under Mediterranean conditions. **European Journal Agronomy**. v. 25, p. 365–371, 2006.

CASSINI, S. T. **Ciclo do Nitrogênio**. Livro-Texto. Universidade Federal do Espírito Santo, ES, 2005.

CERETTA, C. A.; AITA, C.; BRAIDA, J. A.; PAVINATO, A.; SALET, R. L. fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 215-220, 1994.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphatase rock for direct application. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 41, p. 227-234, 1995.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G.; BILLINGHAM, K. S. Phosphorus availability from phosphate rock as enhanced by water-soluble phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 1173-1177, 1996.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. **Seja o doutor do seu milho**: nutrição e adubação. Piracicaba: Informações Agronômicas, p.1-9, 1995.

COUTINHO, E. L.; NATALE, W.; VILLA NOVA, A. S.; SITTA, D. S. X. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.1393-1399, 1991.

DA ROS, C. O. & AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 135-140, 1996.

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, p. 573-580, 1967.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, p. 327-354, 2006.

DIAMOND, R. B. Views on marketing of phosphate rock for direct application. In: IFDC, ed. **Seminar on phosphate rock for direct application Special Publication SP-1**. Muscle Shoals: IFDC, p. 448-463, 1979.

DORDAS, C. A.; SIOULAS, C. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rain fed conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 27, p. 75-85, 2008.

DORDAS, C.A.; SIOULAS, C. Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization. **Field Crops Research** v. 110, p. 35-43, 2009.

DYNIA, J. F. **Efeito do pH e da capacidade de retenção de fósforo dos solos na eficiência de adubos fosfatados**. 1977. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FAGERIA N. K.; BALIGAR V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**. 88: 97-185, 2005.

FEITOSA, C.T.; RAIJ, B. van; DECHEN, A.R. et al. Determinação preliminar da deficiência relativa de fosfato, para trigo, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p. 193-195, 1978.

FERRAZ JUNIOR, A.S.L. O cultivo em aléias como alternativa para a produção de alimentos na agricultura familiar do trópico úmido. In: Moura, E. G. **Agroambientes de transição: entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. UEMA Editora, São Luís, p. 71-10, 2004.

FISHER, R. F. Amelioration of soils by trees. In: GESSEL, S. et al. ed. **Sustained productivity of forest soils**. Vancouver: Faculty of Forest, p. 290-300, 1990.

FRANCISCO, E. A. B.; PROCHNOW, L. I.; FERRARI, V. C.; JESUS, S. L. Thermal treatment of aluminous phosphates of the crandallite group and its effect on phosphorus solubility. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 269-274, 2007.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Manejo nutricional integrado na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade dos sistemas produtivos utilizando a fixação biológica de nitrogênio como fonte de nitrogênio. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Eds.) **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p. 201-220, 2005.

GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. & FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31 p. 691-699, 2007.

GAUME, A.; MÄCHLER, F.; FROSSARD, E. Aluminum resistance in two cultivars of *Zea mays* L.: root exudation of organic acids and influence of phosphorous nutrition. **Plant and Soil**, Doordrecht, v. 234, p. 73-81, 2001.

GEBBING, T., SCHNYDER, H., KUHBAUCH, W.. The utilization of pre-anthesis reserves in grain filling in wheat. Assessment by steady-state  $^{13}\text{C}_2/^{12}\text{C}_2$  labelling. **Plant Cell and Environment**. v. 22, p. 851–858, 1999.

GILKES, R.J.; PALMER, B. Calcined Christmas Island C- grade rock phosphate fertilizers: Mineralogical properties reversion and assessment by chemical extraction. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.17, p. 467 - 481, 1979.

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

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfato em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 8, p. 97-102, 1984.

GOEDERT, W. J; LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 15, p. 311-318, 1980.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 153-159, 2000.

GUARDANI, R. Transformações térmicas e solubilidade de fosfatos de alumínio dos estados do Pará e Maranhão. **Fertilizantes**, v. 9, p. 6-10, 1987.

GUARDANI R.; DRAHOG J.; GIULIETTI M.; SCHFIGERL K. Studies on calcination of aluminium phosphate rock in fluidized bed reactors. **Fertilizer Research**. v. 20, p. 181-191, 1989.

HAMMOND, L. L.; LEÓN, L. A. Relative agronomic effectiveness of some Latin America phosphate rocks in Colombian soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PHOSPHORUS COMPOUNDS, 1983. **Anais**. Brussels, p.124-125.

HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, RICARDO; ORTIZ, F. R. ; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. Semina. **Ciências Agrárias**, v. 28, p. 39-44, 2007.

HEINRICH, R.; VITTI, G. C.; MOREIRA, A.; FANCELLI, A. L. Produção e estado nutricional do milho em cultivo intercalar com adubos verdes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 225-230, 2002.

IMOLESI A. E.; VON PINHO; E. V. R.; VON PINHO, R. G.; VIEIRA, M. G. G. C.; CORRÊA, R. S. B. Influência da adubaçãonitrogenada na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, p. 1119-1126, 2001.

HUMBLE, G. D. A.; LBOUDI, E. L.; RENDIG, V. V. Effect of nitrogen on phosphorus absorption by excised barley roots. **Plant and Soil**, Doordrecht, v. 31, p. 353-364, 1969.

KUMAR, M., VERMA, R. AND RAGHAVA, G. P. S. Prediction of mitochondrial proteins using support vector machine and hidden Markov model. **Journal of Biological Chemistry**, v. 281, p. 5357-5363, 2006.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KONDORFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 363-376, 2000.

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

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

MALAVOLTA, E.; BASSO, L.C.; OLIVEIRA, G.D. 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.

MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. **Academic Press**, London, p. 379-395, 1995.

MASONI, A.; ERCOLI, L. MARIOTTI, M.; ARDUINI, I. Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type. **European Journal of Agronomy**, v. 26, p.179-186, 2007.

MAYUB, A.; TANVEER, A.; ALI, S.; NADEEM, M. Effect on different nitrogen levels and seeds rates on growth, yield and quality of sorghum (*Sorghum bicolor*) fodder. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 72, p. 648-650, 2002.

McCULLY M. E. Roots in soil: Unearthing the complexities of roots and their rhizospheres. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v. 50, p. 695–718, 1999.

MELGAR, R. J.; SMYTH, T. J.; CRAVO, M. S.; SANCHEZ, P. A. Doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado para milho em latossolo da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 289-296, 1991.

Mi, G. H.; TANG, L.; ZHANG, F. S.; ZHANG, J. H. Is nitrogen uptake after anthesis in wheat regulated by sink size? **Field Crops Research**. v. 68, p. 183–190, 2000.

MOREIRA, F. L. M.; MOTA, F. O. B.; CLEMENTE, C. A.; AZEVEDO, B. M.; BOMFIM, G. V. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, p. 7-12, 2006.

MOURA, E. G.; SERPA, S. S.; SANTOS, J. G.D.; COSTA SOBRINHO, J. R. S.; AGUIAR, A. C. F. Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 335, p. 363-371, 2010.

MOURA, E. G.; AGUIAR, A. C. F.; FERRAZ JUNIOR, A. S. L.; GEHRING, C. Incidência de ervas daninhas e atributos do solo em um agrossistema da Pré-Amazônia, sob efeito da cobertura morta de diferentes combinações de leguminosas em aléias. **Scientia Agraria**, v. 10, p. 7-14, 2009.

MOURA, E. G.; COELHO, K. P.; FREITAS, I. C.; AGUIAR, A. C. F. Chemical and physical fertility indicators of a weakly-structured Ultisol after liming and mulching. **Scientia Agrícola**, v. 66, p. 800-805, 2009.

MURAOKA, T.; AMBROSANO, E.J.; ZAPATA, F.; BORTOLETTO, N.; MARTINS, A.L.M.; TRIVELIN; P.C.O.; BOARETTO, A.E. & SCIVITTARO, W.B. Eficiencia de abonos verdes (crotalaria y mucuna) y urea, aplicadas solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. **Terra**, v. 20, p. 17-23, 2002.

OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, L. F.; SILVA, I. F.; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA, J. C.; FILHO, J. F. C. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, p. 238-244, 2009.

PALMER, B.; GILKES, R. J. The influence of application rate on the relative effectiveness of calcined Christmas Island C-grade rock phosphate and super-phosphate when applied as mixtures. **Fertilizer Research**, v. 4, p. 45-50, 1983.

PAPAKOSTA, D. K. Phosphorus accumulation and translocation in wheat as affected by cultivar and nitrogen fertilization. **Journal Agronomy and Crop Science**. v. 173, p. 260-270, 1994.

PAVAN, M. A. & CHAVES, J. C. D. Alterações nas frações de fósforo no solo associadas com a densidade populacional de cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 251-256, 1996.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Sistemas de cultivo e alterações na disponibilidade e nas formas de fósforo em solos do cerrado. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007. Gramado. **Resumos**. Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira, 2007.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTI, E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 358-364, 2008.

PEIXOTO, A.M.E. **Informativo Elemento Químico**, nº 15, 2002.

PENG, S.; BURESH, R.; HUANG, J.; YANG, J.; ZOU, J.; ZHONG, X.; WANG, G.; ZHANG, F. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigate rice systems in China. **Fields Crop Research**. v. 96, p. 37-47, 2006.

PEREIRA FILHO, I. A. **Comportamento dos cultivares de milho (Zea mays L.) ‘Piranão’ e ‘Centralmex’ em diferentes condições de ambientes, espaçamentos e níveis de nitrogênio**. 1977. 84p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Lavras.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Economic aspects of phosphorus application to the corn crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 617- 621, 2001.

PRIMAVESI, A. M. **Manejo ecológico de pastagens em regiões tropicais e subtropicais**. São Paulo: Nobel, 1985, 184p.



PROCHNOW, L. I.; QUISPE, J. F. S.; FRANCISCO, E. A. B.; BRAGA, G. Effectiveness of phosphate fertilizers of different water solubilities in relation to soil phosphorus adsorption. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, p. 333-340, 2006.

PRZULJ, N.; V. MOMCILOVIC. Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two-rowed spring barley. II. Nitrogen translocation. **European Journal of Agronomy**, v. 15, p. 255-265, 2001.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M. L.; DELATORRE, C. A.; BAYER, C.; ARGENTA, G. Adequação de doses de nitrogênio em milho com base em indicadores de solo e de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 401-409, 2008.

REDDY, G. B.; REDDY, K. R. Fate of nitrogen-15 enriched ammonium nitrate applied to corn. **Soil Science of American Journal**, Madison, v. 57, p. 111-115, 1993.

REZENDE, N. G. A. M. Insumos minerais para agricultura e áreas potenciais no estado do Pará e Amapá. Ministério de Minas e Energia, Superintendência Regional de Belém, 2001.

RIBEIRO, A. C., GUIMARÃES, P. T. G., ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação. Viçosa: CFEMG, 359p., 1999.

ROBERTSON, G.P. Nitrogen use efficiency in row crop agriculture: crop nitrogen use and soil nitrogen loss. in L. Jackson, (ed.) **Ecology in Agriculture**. NY: Academic Press, p. 347-365 1997.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, L. H. Mineralização e absorção por milheto do nitrogênio do solo, da palha de milho (15N) e da uréia (15N). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, p. 423-429, 1993.

SEXTON, B. T.; MONCRIEF, J. F.; ROSEN, C. J.; GUPTA, S. C.; CHENG, H. H. Optimizing nitrogen and irrigation inputs for corn based on nitrate leaching and yield on a coarse-textured soil. **Journal Environment Quality**, v. 25, p. 983-992, 1996.

SINCLAIR, T. R; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, Madison, v. 29, p. 90-98, 1989.

SINCLAIR, T.R. & WIT, C.T. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. **Science**, v. 189, p. 565-567, 1975.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Microbial populations and activities in highly-weathered acidic soils: highlights of the Brazilian research. In: MONIZ, A. C.; FURLANI, A. M. C.; SCHAFFERT, R. E. et al. (Eds.) **Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production**. Campinas: SBCS, p. 139-156, 1997.

SIQUEIRA, J.O., FRANCO, A. A. **Biologia do solo: Fundamentos e Perspectivas**. Brasília: MEC-ESAL – FAEPE- ABEAS. 236 p., 1988.

STEVENSON, F.J. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: STEVENSON, F.J., (ed.) **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy, p.1-42. 1982.

STUTE, J.K. & POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the Upper Midwest. **Agronomy Journal**, v. 87, p. 1063-1069, 1995.

TAHIR, I. S. A., NAKATA, N. Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 191, p. 106-115, 2005.

TEIXEIRA, L. A. J.; TESTA, V. M.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, p. 207-214, 1994.

UHART, A.S; ANDRADE, F. H. Nitrogen deficiency in maize: I - Effects on crop, growth, development, dry matter partitioning and kernel sets. **Crop Science**, Madison, v. 35. p. 1376-1383, 1995.

VANCE CP, U. S. C.; ALLAN D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, p. 423–447, 2003.

Xu, Z. Z.; Yu, Z. W.; Wang, D. Nitrogen translocation in wheat plants under soil water deficit, **Plant and Soil**, Doordrecht, v. 280, p. 291–303, 2006.

YANG, J.; ZHANG, J. Grain filling of cereals under soil drying, **New Phytologist**. v. 169, p. 223–236, 2006.

YANG, J.; ZHANG, J. Grain-filling problem in ‘super’ rice. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 1-5, 2010.

YANG, J.; PENG, S.; ZHANG, Z.; WANG, Z.; VISPERAS, R. M.; ZHU, Q. Grain and matter yields and partitioning of assimilates in japonica/indica hybrids. **Crop science**. v. 42, p. 766-772, 2002.

YUAN, L. P. Hybrid rice breeding in China. In: Virmani, S. S.; Siddiq. E. A.; Muralidharan, K., (eds.) **Advances in hybrid rice technology. Proceedings of the third international symposium on hybrid rice**. Los Baños, Philippines: Internacional Rice Research Institute, 3-6, 1996.

ZHANG, H.; HUANG, Y.; YE, X.; XU, F. Analysis of the contribution of acid phosphatase to P efficiency in Brassica napus under low phosphorus conditions. **Science China Life Sciences**. v. 53, p. 709-17, 2010.

**EFICIÊNCIA DE FONTES ALTERNATIVAS DE FÓSFORO E NITROGÊNIO PARA  
A AGRICULTURA FAMILIAR DO MARANHÃO**

---

**CAPÍTULO II**

## **EFICIÊNCIA DE FONTES ALTERNATIVAS DE FÓSFORO E NITROGÊNIO PARA A AGRICULTURA FAMILIAR DO MARANHÃO**

Paulo Henrique Marques Monroe<sup>(1)</sup>, Alana das Chagas Ferreira Aguiar<sup>(2)</sup> & Emanuel Gomes  
de Moura<sup>(3)</sup>

---

<sup>(1)</sup> Bolsista do CNPq, Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Cx. Postal 09, CEP: 65054-970, São Luís (MA). E-mail: [paulomonroes@hotmail.com.br](mailto:paulomonroes@hotmail.com.br)

<sup>(2)</sup> Professor Adjunto I, CCAA/Universidade Federal do Maranhão – UFMA, PPG-Agroecologia, UEMA. E-mail: [alanaaguiar@elo.com.br](mailto:alanaaguiar@elo.com.br)

<sup>(3)</sup> Professor adjunto III, PPG-Agroecologia, UEMA. E-mail: [egmoura@elo.com.br](mailto:egmoura@elo.com.br)

**Resumo.** No trópico úmido, fontes alternativas de nitrogênio e fósforo são mais indicadas devido à inacessibilidade dos agricultores familiares aos fertilizantes sintéticos. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de um fosfato natural calcinado do Noroeste do Maranhão no crescimento do milho e o efeito de fontes (naturais e sintéticas) de nitrogênio e fósforo no crescimento, produtividade do milho, dinâmica de uso e remobilização desses nutrientes na planta. No primeiro experimento foram utilizadas diferentes doses do Fosfato Natural de Trauíra (FNT) ( $0 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $40 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $80 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $120 \text{ mg kg}^{-1}$ ) comparadas com  $80 \text{ mg kg}^{-1}$  de superfosfato simples no acúmulo de massa de matéria seca e desenvolvimento radicular do milho, e no segundo experimento foi testada a combinação de duas fontes de nitrogênio e fósforo (fosfato de Trauíra+uréia, superfosfato simples+uréia, fosfato de Trauíra + leucena e superfosfato simples+leucena) no pendoamento e maturação do milho. A concentração de P-total do FNT variou entre 30,4 a 37,9% após a calcinação e cerca de 7% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  em extrator de ácido cítrico 2%. Houve um incremento de 39% e de 63% de massa seca no Argissolo e Plintossolo, na maior dose FNT ( $120 \text{ mg kg}^{-1}$ ). A maior produtividade de grãos foi observada no tratamento SS+L do que nos tratamentos com uréia e sem fertilização. Os maiores valores de eficiência agrônômica ocorreram nos tratamentos fertilizados com leucena, independente da fonte de fosforo aplicada. A eficiência de recuperação de nitrogênio e fósforo e acúmulo de massa de matéria seca proporcionados pelo maior fornecimento dos nutrientes da leucena, refletiu positivamente na produtividade dos grãos. Recomenda-se a utilização da combinação SS+L, pois as plantas foram favorecidas pelo aumento da absorção de nitrogênio da leucena, visto pela alta recuperação deste nutriente, com a rápida solubilização do superfosfato simples.

Palavras-chave: Fosfato aluminoso. Leucena. Eficiência de recuperação. Remobilização de nutrientes.

## **Alternative source efficiency of nitrogen and phosphorus to the smallholder farmers from Maranhão**

**Abstract.** In the humid tropics, alternative sources of nitrogen and phosphorus are more recommended for smallholder farmers than synthetic fertilizers due to the high costs of the latter. In this paper we evaluated the effect of different doses of a calcined phosphate from Northwest Maranhão in the growth of maize, and the effect of natural and synthetic sources of nitrogen and phosphorus on growth and yield of maize, efficiency of use and remobilization of nutrients in the plant. In the first experiment we used different doses of natural phosphate from Trauíra (NPT) ( $0 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $40 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $80 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $120 \text{ mg kg}^{-1}$ ) compared with  $80 \text{ mg kg}^{-1}$  of superphosphate on dry matter accumulation and root development of maize, and in the second experiment we tested the effect of the combination of two sources of nitrogen and phosphorus (phosphate from Trauíra + urea; superphosphate + urea; phosphate from Trauíra + leucena and superphosphate + leucena) on tasseling and maturity of maize. The concentration of P-total from NPT ranged from 30.4 to 37.9% after calcination and about 7%  $\text{P}_2\text{O}_5$  in acid citric 2% extractor. There was an increase of 39% and 63% of dry mass in the Argissolo and Plintossolo, in the highest dose ( $120 \text{ mg kg}^{-1}$ ). The highest yield was observed in SS + L treatment compared with the treatments with urea and without fertilizer. The highest values of agronomic efficiency occurred with leucena, independent of the source of phosphorus applied. The recovery efficiency of nitrogen and phosphorus and dry matter accumulation increased the supply of nutrients provided by leucena, increasing the grain yield. We recommend the combined use of SS + L, since the plants benefited by the increasing absorption of nitrogen from leucena, seen by the high recovery efficiency of nitrogen together with the rapid dissolution of superphosphate.

**Key-words:** Aluminous phosphate. Leucaena. Recovery efficiency. Nutrients remobilization.

## 1. INTRODUÇÃO

A dinâmica dos nutrientes no sistema solo-planta pode ser afetada por diversos fatores, tais como: temperatura (TAHIR e NAKATA, 2005), características genéticas da planta (BANCAL, 2009), condições ambientais de estresse hídrico (XU et al., 2006; YANG e ZHANG, 2006) e fertilidade do solo (FAGERIA e BALIGAR, 2005). As plantas desenvolveram características fisiológicas para melhorar o uso dos nutrientes, remobilizando carboidratos solúveis no período de enchimento dos grãos (YANG e ZHANG, 2010).

Os nutrientes que compõem o grão podem ser oriundos de duas fontes principais: nutrientes absorvidos e transportados diretamente para os grãos e de carboidratos não estruturais armazenados nos tecidos vegetais no período pré-antese. Os nutrientes são remobilizados na senescência da planta e este processo é decisivo para o sucesso do enchimento dos grãos (YANG e ZHANG, 2006).

O uso de leguminosas é uma alternativa para a substituição da adubação nitrogenada com fertilizantes sintéticos, especialmente no trópico úmido (FERRAZ JUNIOR, 2004). Moura et al., (2009) mostraram que a adição de resíduos de leguminosas arbóreas melhorou os níveis de nitrogênio no solo durante cinco anos. Aguiar et al., (2009) verificaram um aumento na produtividade do milho durante quatro anos, devido ao efeito acumulativo dos resíduos de leguminosas podados e adicionados ao solo.

A região Norte do Brasil apresenta seis grandes reservas de fosfatos (Pedra Grande, Tromaí, Trauíra, Tralhoto, Jacaré e Pirocaua) (REZENDE, 2001) e somente as jazidas fosfáticas de Trauíra e Pirocaua somam cerca de 19 milhões de toneladas de  $P_2O_5$  (BRAUN, 1983). Muitas pesquisas foram realizadas para avaliar a eficiência dos fosfatos naturais, no entanto, as respostas na produtividade do milho sempre foram inferiores quando comparados com fertilizante sintéticos (HARGER et al. 2007; RESENDE et al., 2006). Técnicas de calcinação com temperaturas entre 400 e 600°C são utilizadas para aumentar a solubilidade dos fosfatos naturais. Altas temperaturas modificam a composição química dos fosfatos naturais devido ao rearranjo de compostos ligados a água (GUARDANI et al. 1989).

O estudo da dinâmica do nitrogênio e do fósforo tem recebido muita atenção atualmente, pois a utilização de fontes que apresentam maior eficiência de uso pela planta é imprescindível para garantir uma agricultura de baixo custo. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de um fosfato natural calcinado do Noroeste do Maranhão



no crescimento do milho e o efeito de fontes naturais e sintéticas de nitrogênio e fósforo no crescimento, produtividade do milho, dinâmica de uso e remobilização desses nutrientes na planta.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Coleta do Fosfato Natural de Trauíra (FNT)**

O material mineral utilizado como fonte de fósforo nos experimentos foi coletado na Ilha de Trauíra no Noroeste do Maranhão, localizada a 01°16'36,9"S e 045°37'0,0"W, a partir do conhecimento já estabelecido por diversas expedições realizadas por pesquisadores (CÂMARA et al., 1984; COSTA e ARAÚJO, 1996; COSTA, 1991; LIMA, 1976).

A Ilha de Trauíra está localizada em uma região estuarina e é caracterizada por formações rochosas. Em partes da encosta e no topo da Ilha foram observados locais com maior ocorrência de material primário, formando campos abertos sem vegetação.

Durante a coleta das rochas fosfáticas foram identificadas diferentes colorações que variavam de amarela até branca e esta característica foi usado para possível diferenciação química. Foram identificados quatro pontos na Ilha de Trauíra: dois na encosta e dois em um túnel feito por exploradores na parte central da Ilha.

A rocha coletada foi moída manualmente, passado em peneira de 9 mesh e caracterizado quimicamente, apresentando em média: 0,37% de Ca, 0,05% de Mg, 1,41% de Fe e 0,0007% de Cu.

O material recebeu tratamento térmico em mufla a 500, 750 e 1200°C por tempos de exposição de duas e cinco horas, quanto o equipamento alcançou estas temperaturas. Posteriormente, foi realizada a quantificação de P-total e de sua solubilidade em extratores de ácido cítrico e H<sub>2</sub>O. A não relevância do efeito das temperaturas e tempo de exposição na solubilidade do FNT nos dois extratores impossibilitou a inclusão destes resultados na pesquisa.

## 2.2 Experimento I

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Estadual do Maranhão, em Abril de 2009. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com sete tratamentos e quatro repetições. Foram usadas duas classes de solo mais representativas do Estado, PLINTOSSOLO Argilúvico distrófico e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico (EMBRAPA, 2006). Os tratamentos foram: solo com fosfato natural de Trauíra (FNT) em cinco doses de  $P_2O_5$  (10, 20, 40, 80, 120  $mg\ kg^{-1}$  de solo); solo com superfosfato simples em uma dosagem de 80  $mg\ kg^{-1}$  de  $P_2O_5$  de solo; testemunha sem fosfato.

Os solos foram peneirados e colocados em vasos de 10 litros para o plantio da cultura do milho, cultivar AG 5020. Antes da aplicação no solo, o FNT foi calcinado à temperatura de 500°C por duas horas. Todos os vasos foram fertilizados semanalmente com solução de Hoagland modificada sem fósforo, constituída de 240  $g\ L^{-1}$  de  $Ca(NO_3)$ , 101,0  $KNO_3$ , 246,5  $MgSO_4$ , 2,86  $g\ L^{-1}$  de  $H_3BO_3$ ; 0,22  $g\ L^{-1}$  de  $ZnSO_4\ 7H_2O$ ; 1,81  $g\ L^{-1}$  de  $MnCl_2\ 4H_2O$ ; 0,08  $g\ L^{-1}$  de  $CuSO_4\ 5H_2O$ ; 0,02  $g\ L^{-1}$  de  $H_2MoO_4\ H_2O$  e 7,54  $g\ L^{-1}$  de EDTA férrico. A aplicação da solução foi realizada após a emergência. O pH da solução foi mantido próximo a 6,0.

Após 40 dias da semeadura foi determinado a altura e diâmetro da parte aérea, volume de raízes e produção de massa de matéria seca da raiz e parte aérea. O material foi moído e analisados os teores de N e P totais pelo método descrito em Tedesco et al. (1995).

Os dados do experimento I foram analisados pelo programa SIGMAPLOT 11.0 (Systat Software inc.) para construção dos gráficos e análise de regressão. Funções logarítmicas foram usadas para explicar a distribuição dos dados nos parâmetros: acúmulos de massa de matéria seca nas duas classes de solo (Argissolo e Plintossolo); altura de plantas no Argissolo; peso seco de raízes e volume de raízes no Plintossolo. Uma equação exponencial foi usada para avaliar o parâmetro diâmetro do colmo.

## 2.3 Experimento II

### 2.3.1 Área Experimental

O segundo experimento foi realizado em São Luís – MA na Universidade Estadual do Maranhão. Amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, antes da implantação do experimento, nas quais foram analisados: pH em CaCl<sub>2</sub>, matéria orgânica, P, K, Ca, Mg, Na e H+Al, segundo Raij (2001). O solo da área foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico (EMBRAPA, 2006), com as características físico-químicas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização físico-química da área experimental.

<b>Análise química do solo</b>											
Profundidade	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Na	SB	CTC	V
Cm	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	-----		mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----			%	
0 – 20	16	4,3	1,4	0,6	4	10	26	1,4	16	42,0	38,1

<b>Análise física do solo</b>						
Profundidade	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Silte/Argila	
Cm	-----%-----					
0 – 20	26	56	8	10	0,20	

Os índices meteorológicos (precipitação pluvial mensal acumulada e temperatura média) foram monitorados diariamente pelo Laboratório de Meteorologia da Universidade Estadual do Maranhão. A precipitação pluvial monitorada durante o período de avaliação do experimento apresentou valores muito abaixo do que as médias observadas nos anos anteriores, o que prejudicou o crescimento do milho havendo necessidade de replantio em algumas parcelas (Figura 1).

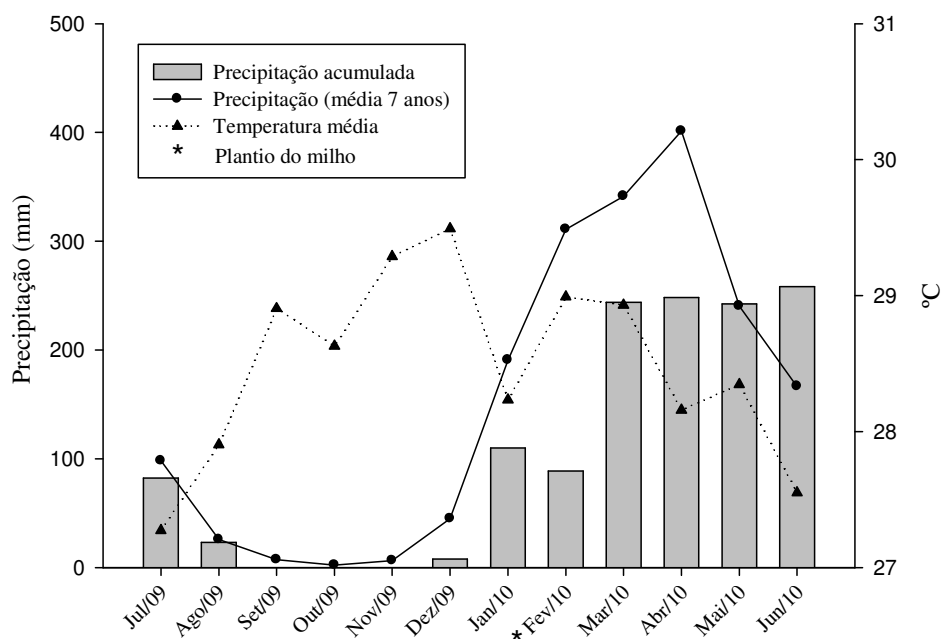


Figura 1 – Índices meteorológicos de julho de 2009 a junho de 2010.

### 2.3.2 Delineamento Experimental e Práticas Culturais

O plantio do milho, cultivar AG 5020, foi realizado em fevereiro de 2010 com espaçamento de 90 cm entre linhas e 30 cm entre plantas. A área experimental consistiu de 20 parcelas de 4m x 8m, totalizando 640 m<sup>2</sup>. O delineamento experimental foi realizado em blocos ao acaso com quatro repetições, e os seguintes tratamentos:

- 1 – FNT com 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e uréia com 120 kg ha<sup>-1</sup> de N (FNT+U);
- 2 – FNT com 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e resíduo de leguminosa arbórea com 3 Mg ha<sup>-1</sup> de massa de matéria seca (FNT+L);
- 3 – Superfosfato simples com 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e uréia com 120 kg ha<sup>-1</sup> de N (SS+U);
- 4 - Superfosfato simples com 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e resíduo de leguminosa arbórea com 3 Mg ha<sup>-1</sup> de massa de matéria seca (SS+L);
- 5 - Testemunha, sem adubação fosfatada e sem adubação nitrogenada (TEST).

Devido a grande quantidade de FNT utilizada no experimento, a calcinação foi monitorada por meio de termômetro de radiação infravermelha, à temperatura de 500°C por duas horas, em fornos artesanais comumente encontrados nas comunidades rurais do Estado.

A dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi aplicada em cada parcela e equivale a quantidade que apresentou alta acumulação de massa de matéria seca no experimento em casa de vegetação.

A leguminosa arbórea utilizada como resíduo foi a *Leucaena leucocephala* (leucena), coletada em uma área próxima ao experimento, apresentando em média 4% de N em folhas e galhos (FERRAZ JUNIOR et al., 2004).

A distribuição da leucena em cobertura foi realizada uniformemente nas parcelas na semeadura do milho e entre as linhas após 30 dias. Nas parcelas tratadas com uréia foram realizadas duas adubações nos mesmos dias da distribuição da leguminosa. Todas as parcelas receberam 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio e 4 kg ha<sup>-1</sup> de Zn na forma de sulfato de zinco.

### 2.3.3 Parâmetros Analisados

A produção de massa de matéria seca do milho foi determinada durante a antese e no período de maturação, e foram analisados os teores de N total, P, K, Ca e Mg pelo método descrito em Tedesco (1995), na parte aérea. Foram determinados os seguintes parâmetros de produtividade: espigas por plantas, peso das espigas, peso de 100 grãos e produção de grãos.

A análise de densidade de frequência foi realizada escolhendo aleatoriamente cem grãos de cada tratamento, os quais foram pesados em balança analítica (modelo AY220 com precisão de 0,0001). Os grãos foram separados em categorias de 1 a 10 de acordo com o peso individual que variou de 0,16 a 0,39g. Posteriormente foi contabilizada sua frequência.

A área de cada folha foi calculada utilizando a fórmula 0,75 x comprimento x largura (MONTGOMERY, 1911), a partir das medidas biométricas da folha maior de três plantas mais representativas da parcela. Para aumentar a eficiência da coleta dos dados, foi utilizada somente a área foliar de folha maior multiplicado por um fator (8,65), obtido pela relação entre a área da folha maior e a área foliar total da planta. O índice de área foliar foi estimado a partir do cálculo de densidade de plantas por hectare.

Para análise da densidade de comprimento e peso seco de raízes foram coletadas três amostras de solo por parcela com um trado de volume conhecido (475,17 cm<sup>3</sup>), estas posteriormente foram misturadas para formação de uma amostra composta. As amostras

compostas foram lavadas com água corrente em peneiras (2 e 1mm) sobrepostas, para que as raízes fossem retiradas do solo. As raízes do milho foram separadas manualmente das demais espécies com utilização de pinças e determinado o comprimento pelo método das intersecções descrito por Tennant (1975). Posteriormente foram levadas para estufa a 70°C para quantificação da massa de matéria seca.

### 2.3.4 Cálculos e Análise Estatística

Os índices de eficiência e remobilização foram calculados utilizando as seguintes fórmulas:

- Nitrogênio remobilizado (NR) = estoque de nitrogênio das folhas e colmo na antese – estoque de nitrogênio das folhas e colmo na maturação.
- Fósforo remobilizado (FR) = estoque de fósforo das folhas e colmo na antese – estoque de fósforo das folhas e colmo na maturação.
- Acúmulo de massa de matéria seca pós-antese (AMSPA) = massa de matéria seca das folhas, colmo e grãos na maturação – massa de matéria seca das folhas e colmo na antese.
- Eficiência do acúmulo de massa de matéria seca pós-antese (EAMSPA) = (AMSPA/ massa de matéria seca das folhas, colmo e grãos na maturação) x 100.
- Índice de colheita dos grãos (IC) = [massa seca dos grãos/ (massa seca dos grãos + massa de matéria seca das folhas e colmo)].
- Eficiência de recuperação de nitrogênio (ERN) = [(conteúdo de N nas folhas, colmo e grãos das plantas fertilizadas – conteúdo de N nas folhas e colmo da testemunha) x 100]/ quantidade de N aplicado.
- Eficiência de recuperação de fósforo (ERF) = [(conteúdo de P nas folhas, colmo e grãos das plantas fertilizadas – conteúdo de P nas folhas e colmo da testemunha) x 100]/ quantidade de P aplicado.
- Eficiência agronômica de nitrogênio (EAN) = (Produção de grãos das plantas fertilizadas – Produção de grãos da testemunha)/ quantidade de N aplicado.
- Eficiência agronômica de fósforo (EAP) = (Produção de grãos das plantas fertilizadas – Produção de grãos da testemunha)/ quantidade de P aplicado.

Fator parcial de produtividade de N aplicado (FPN) = Produção de grãos/ quantidade de N aplicado.

Fator parcial de produtividade de P aplicado (FPP) = Produção de grãos/ quantidade de P aplicado.

Os dados do experimento II foram analisados pelos programas: StatSoft inc. (1974-2009) STATISTICA 8.0 usando o método de comparação de médias Tukey a 5% de probabilidade e SIGMAPLOT 11.0 (Systat Software inc.) para construção dos gráficos.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Fosfato natural de Trauíra (FNT)

Os pontos coletados na Ilha de Trauíra mostraram teores diferentes de fósforo total (Tabela 2). O fosfato coletado na encosta da ilha apresentou menor concentração de  $P_2O_5$  e fósforo total do que os coletados no túnel. A concentração de P-total do FNT variou entre 30,4 a 37,9% após a calcinação, nos diferentes pontos de coleta. O FNT coletado no túnel, após receber o tratamento térmico apresentou cerca de 6,5% de  $P_2O_5$  em extrator de ácido cítrico 2%.

Tabela 2 – Concentração de P-total do FNT coletado em diversos locais da Ilha de Trauíra calcinado a 500°C durante 2 horas.

	% $P_2O_5$ em $H_2O$	% $P_2O_5$ em Ác. Cítrico 2%	% P total
Túnel-1	0,13	5,78	37,38
Túnel-2	0,13	6,51	37,88
Encosta-1	0,00	2,59	30,38
Encosta-2	0,09	1,99	34,00

A disponibilidade em água do FNT não foi linear com o aumento da temperatura e a maior concentração ocorreu quando o fosfato atingiu 500°C durante 2 horas de calcinação. Mesmo exposto a diferentes temperaturas (dados não apresentados), o FNT apresentou

concentração muito baixa de  $P_2O_5$ , não ultrapassando 0,13 % em todos os pontos coletados, utilizando a água como extrator.

### **3.2 FNT em duas classes de solo**

O acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea do milho apresentou uma correlação positiva com o nível de FNT aplicado nas duas classes de solo (Figura 2). Houve um incremento de 39% e de 63% de massa seca no Argissolo e Plintossolo quando o nível de adubação alcançou  $120 \text{ mg kg}^{-1}$  em comparação ao tratamento que não levou fertilização fosfatada. Uma forte discrepância entre as doses 0 e  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ , mostrou que mesmo uma baixa dosagem do FNT elevou a produção de massa seca nas duas classes de solos. O FNT apresentou acúmulo de massa de matéria seca menor do que o superfosfato simples na dose de  $80 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $P_2O_5$  nos dois solos.

A utilização de modelos matemáticos que identifiquem a dosagem em que há maior acúmulo de massa seca podem subestimar ou superestimar os valores reais. As equações logarítmicas utilizadas indicaram os valores estariam acima da dose máxima estudada ( $120 \text{ mg kg}^{-1}$ ).



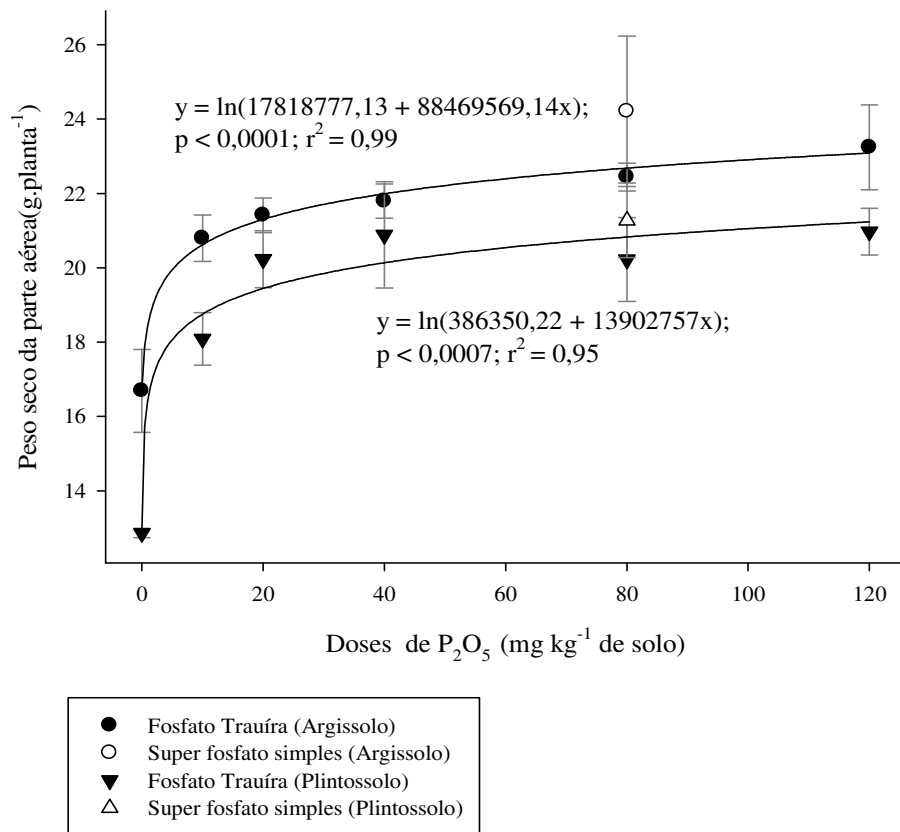


Figura. 2 – Acúmulo de massa de matéria seca aérea no milho  $\pm$  erro padrão, em relação ao aumento das doses de FNT e uma fonte de superfosfato simples.

No Argissolo, houve uma relação positiva entre a altura da planta e as doses do FNT (Tabela 3). Foi observado o aumento de 41% na dose 0 mg kg<sup>-1</sup> até a máxima dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O diâmetro do colmo, no Plintossolo, aumentou 0,9 mm por unidade de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado ao solo. O peso seco das raízes aumentou com o nível de fósforo no solo (69,08%) e foi observado um aumento de 60 cm<sup>3</sup> no volume de raiz entre o tratamento com 40 mg kg<sup>-1</sup> e o não fertilizado.

Para os parâmetros, diâmetro do colmo, peso seco de raiz e volume de raiz, no Argissolo e altura da parte aérea, no Plintossolo, não houve regressões que explicassem a distribuição dos dados.

Tabela 3 – Crescimento do milho até 40 dias em diferentes doses do FNT em dois solos do Maranhão.

Classe de solo	Tratamento (mg kg <sup>-1</sup> )	DC (cm)	AP (cm)	PR (g)	VR (cm <sup>3</sup> )
Argissolo	0	1,03 <sup>(ns)</sup>	51,25 <sup>(1)</sup>	16,32 <sup>(ns)</sup>	45,00 <sup>(ns)</sup>
	10	1,33	64,50	20,03	77,50
	20	1,23	71,75	20,33	77,50
	40	1,40	72,00	21,65	75,00
	80	1,25	71,50	27,93	65,00
	120	1,30	72,25	20,48	82,50
Plintossolo	0	0,50 <sup>(2)</sup>	36,00 <sup>(ns)</sup>	13,23 <sup>(3)</sup>	20,00 <sup>(4)</sup>
	10	1,10	62,25	17,77	50,00
	20	1,20	66,25	19,13	57,50
	40	1,25	69,50	22,37	80,00
	80	1,40	63,00	18,75	77,50
	120	1,63	63,00	19,45	70,00

DC=diâmetro do colmo; AP=altura da planta; PR=peso seco da raiz; VR=volume da raiz; (ns) não significativo; (1)  $y = 61,45 + 2,46 \ln(x+0,015)$   $r^2 = 0,94$ ; (2)  $y = 0,53 + 0,92(1-10^{0,07x})$   $r^2 = 0,90$ ; (3)  $y = \ln(556064,25 + 7714506,64x)$   $r^2 = 0,73$ ; (4)  $y = 30,60 + 9,99 \ln(x + 0,34)$   $r^2 = 0,89$ .

### 3.3 Relação do FNT com leucena e diferentes fontes sintéticas

O acúmulo de massa de matéria seca no tratamento FNT+U não diferiu da testemunha e foi inferior aos tratamentos fertilizados com superfosfato simples e com leucena, tanto no pendoamento quanto na maturação (Figura 4). A média da massa de matéria seca acumulada no tratamento SS+L foi de 2,9 Mg ha<sup>-1</sup> no pendoamento e 3,6 Mg ha<sup>-1</sup> na maturação, superiores a todos os demais tratamentos.

A acumulação de massa de matéria seca no período até a antese, para os tratamentos fertilizados com superfosfato simples, foi maior do que os fertilizados com FNT. As plantas de milho que receberam fertilização com o fosfato sintético combinado com resíduos de leucena acumularam mais massa seca do que os demais tratamentos. Do pendoamento à

maturação, um aumento na massa de matéria seca foi observado nos tratamentos com leucena (FNT+L e SS+L), diferente do que ocorreu com os tratamentos com uréia e a testemunha.

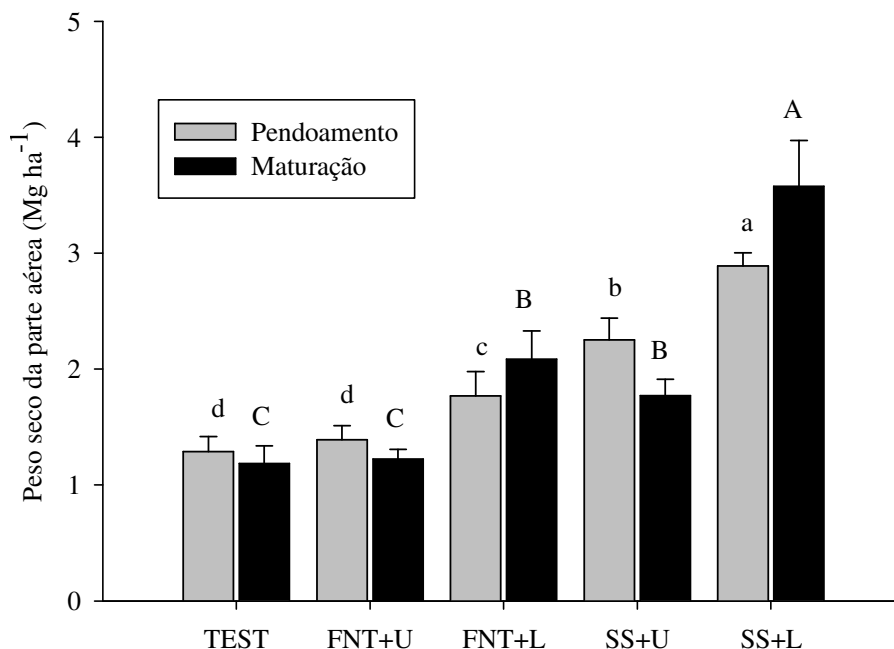


Figura 4 – Peso seco da parte aérea do milho em relação a combinações de dois fosfatos e duas fontes de nitrogênio em estádios de crescimento da planta. Médias + erro padrão, seguidas das mesmas letras, minúsculas entre o pendoamento e maiúsculas entre a maturação, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

As médias do índice de área foliar variaram entre 0,70 e 1,05 (Figura 5). Com exceção do FNT+U, os tratamentos foram superiores à testemunha. A diferença observada entre a leucena e a uréia combinadas com o FNT, não ocorreu entre os tratamentos com o superfosfato simples.

As raízes apresentaram densidade de comprimento de 0,58  $\text{cm.cm}^{-3}$  no tratamento FNT+L, 122,55% superior à testemunha, não diferenciando dos tratamentos que levaram adubação fosfatada de fonte sintética (Figura 5). Os tratamentos com fertilização da leucena foram diferentes quando combinados com as fontes fosfatadas naturais e sintéticas e apresentaram densidades de comprimento superiores à testemunha.

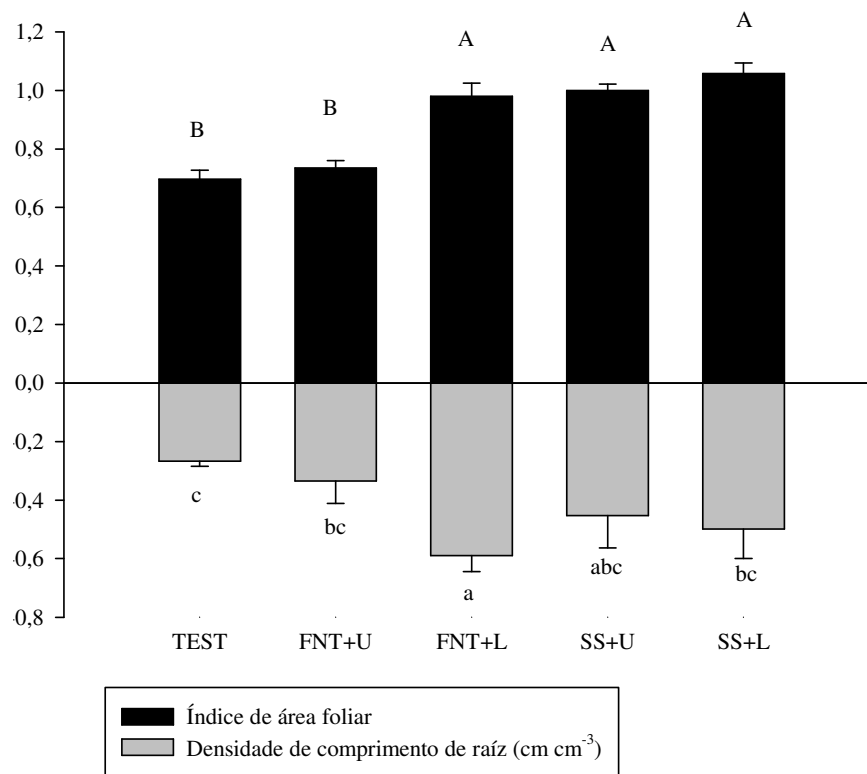


Figura 5 – Índice de área foliar do milho e densidade de comprimento de raiz em relação a combinações de duas fontes de fósforo e duas fontes de nitrogênio. Médias + erro padrão, seguidas das mesmas letras na área preta e na área cinza, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Com exceção do peso de 100 grãos, todos os parâmetros de produtividade do milho apresentaram diferença entre os tratamentos (Tabela 4). O tratamento SS+L, apresentou maiores médias em peso de espigas do que o tratamento FNT+U e a testemunha. A maior produtividade de grãos foi observada no tratamento SS+L do que na testemunha e nos tratamentos com uréia. Nos tratamentos fertilizados com FNT, não houve diferença no peso de espigas quando combinados com leucena ou uréia, no entanto, a leucena foi determinante para o aumento da produtividade, independente da fonte de fósforo aplicada.

Tabela 4 – Parâmetros de produtividade do milho em relação a diferentes tratamentos com fertilizantes sintéticos e naturais.

Tratamentos	Peso de espigas (g/espiga)	Produtividade de grãos (Kg/ha)	Peso de 100 grãos (g)
SS+L	141,62a	3260a	26,56a
FNT+L	112,10ab	2752ab	27,20a
SS+U	101,84ab	1700bc	26,21a
FNT+U	64,35b	1300c	25,72a
TEST	78,17b	713c	24,99a

FNT+U = fosfato de Trauíra + uréia; SS+U = superfosfato simples + uréia; FNT+L = fosfato de Trauíra + leucena; SS+L = superfosfato simples + leucena; TEST = tratamento sem fertilização. Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

A testemunha apresentou uma porcentagem maior de grãos com baixo peso (Figura 6). Os picos de frequência sofreram deslocamentos diferentes na testemunha e no tratamento SS+L, que teve frequência máxima nas classes de peso com média 0,30 e 0,32 gramas. No tratamento FNT+L, o pico de frequência sofreu deslocamento para as classes de peso maiores em comparação com a testemunha e o tratamento SS+L.

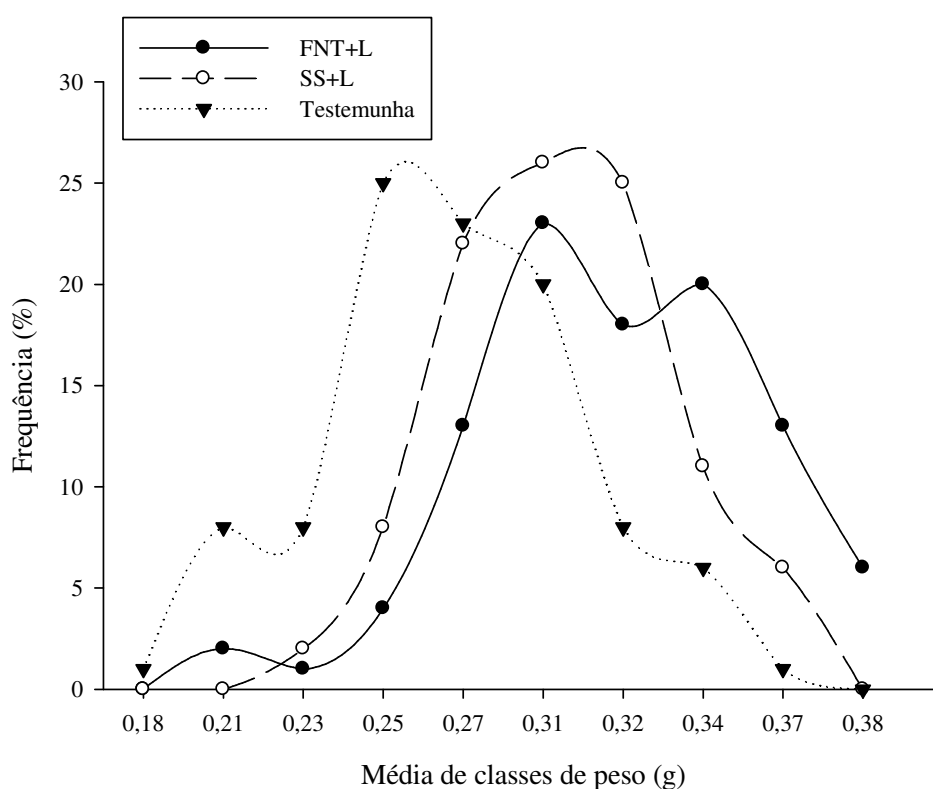


Figura 6 – Densidade de frequência em relação a diferentes classes de peso do milho em duas fontes de fósforo combinadas com leucena.

As combinações dos fertilizantes sintéticos e naturais produziram diferenças na remobilização de nitrogênio, fósforo, acumulação de massa de matéria seca pós-antese e na eficiência de acumulação de massa de matéria seca pós-antese (Tabela 5). Não houve diferenças no índice de colheita para todos os tratamentos.

Os tratamentos com leucena mostraram acúmulo de massa de matéria seca pós-antese superiores à testemunha. Efeito semelhante ocorreu na eficiência de acúmulo de massa de matéria seca pós-antese, exceto pela não diferenciação com o tratamento FNT+U. Os tratamentos SS+L e FNT+U não remobilizaram fósforo, e apresentaram valores inferiores aos tratamentos SS+U e testemunha (Tabela 5).

Tabela 5 – Índices de remobilização de massa de matéria seca, fósforo e nitrogênio e índice de colheita em diferentes fontes de nitrogênio e fósforo.

	TEST	FNT+U	SS+U	FNT+L	SS+L	
NR (kg ha <sup>-1</sup> )	19,72b	15,84b	41,45a	22,94b	23,09b	*
FR (kg ha <sup>-1</sup> )	0,79a	-0,28b	0,74a	0,24ab	-0,47b	*
AMSPA (kg ha <sup>-1</sup> )	461,13c	1178,61bc	1189,48bc	2793,53ab	4273,73a	*
EAMSPA (%)	26,01b	44,10ab	30,25b	59,26a	59,13a	*
IC (%)	0,39	0,50	0,47	0,58	0,46	ns

\* = significativo (p<0,05); ns = não significativo; NR = Nitrogênio remobilizado; FR = Fósforo remobilizado; AMSPA = Acúmulo de massa de matéria seca pós-antese; EAMSPA = Eficiência do acúmulo de massa de matéria seca pós-antese; IC = Índice de colheita. Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

A eficiência de recuperação de nitrogênio aumentou com o uso da leucena em relação aos fertilizados com uréia, e nestas não houve diferença com a fonte de P aplicada (Tabela 6). Dentre as plantas fertilizadas com leucena, as que receberam superfosfato simples apresentaram maior recuperação de N. Na eficiência de recuperação de fósforo ocorreu comportamento semelhante à recuperação de N, no entanto, não houve diferença entre os tratamentos com FNT.

A eficiência agrônômica foi afetada pela fonte de nitrogênio aplicada. Os tratamentos com leucena apresentaram maiores médias de EAN do que os tratamentos com uréia. Da mesma forma, a EAP não foi afetada pela fonte de fósforo aplicada, mas sim pela fonte nitrogenada.

O fator parcial de produtividade apresentou valores semelhantes tanto para o nitrogênio quanto para o fósforo. Em ambos os casos, os tratamentos com leucena

proporcionaram maiores médias em relação à testemunha e ao FNT+U, os quais não diferiram entre si. Já nos tratamentos fertilizados com superfosfato simples, aqueles combinados com adubação nitrogenada pela leucena foram superiores ao tratamento com uréia.

Tabela 6 – Eficiência de recuperação, eficiência agrônômica e fator parcial de produtividade de fósforo e nitrogênio em diferentes fontes nitrogenadas e fosfatadas.

	FNT+U	SS+U	FNT+L	SS+L	
ERN (%)	14,36c	26,51c	18,75b	47,86a	*
ERF (%)	0,87b	1,28b	3,69b	5,89a	*
EAN (kg kg <sup>-1</sup> )	4,88b	8,21b	16,98a	21,22a	*
EAF (kg kg <sup>-1</sup> )	3,66b	6,16b	12,73a	15,92a	*
FPN (kg kg <sup>-1</sup> )	10,83c	14,16bc	22,93ab	27,17a	*
FPF (kg kg <sup>-1</sup> )	8,12c	10,63bc	17,20ab	20,37a	*

\* = significativo ( $p < 0,05$ ); ERN = Eficiência de recuperação de nitrogênio; ERF = Eficiência de recuperação de fósforo; EAN = Eficiência agrônômica de nitrogênio; EAF = Eficiência agrônômica de fósforo; FPN = Fator parcial de produtividade de nitrogênio; FPF = Fator parcial de produtividade de fósforo. Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4 DISCUSSÃO

O FNT calcinado mostrou diferente comportamento na sua caracterização química e no uso pela planta. A solubilidade do FNT em ácido cítrico atingiu valores de 2 a 6,5%, que foram considerados baixos em relação aos teores de P-total (30 a 37%). No entanto, o acúmulo de massa seca na parte aérea do milho aumentou em funções logarítmicas, o que indica forte absorção pela planta em pequenas doses do FNT e irrelevância em doses maiores do que 20 mg kg<sup>-1</sup>.

A fertilização com leucena proporcionou aumento no índice de área foliar, maior densidade de comprimento de raiz e forte enchimento dos grãos, principalmente quando combinado com a superfosfato simples.

A baixa produtividade do milho no tratamento FNT+U, não observada na combinação FNT e leucena, demonstra um efeito negativo entre essas fontes pela lenta liberação do fósforo pelo FNT e baixa eficiência agrônômica de nitrogênio. Nesta combinação pode-se também observar valores negativos de remobilização do fósforo para o grão, entendida como reflexo da baixa absorção deste nutriente no período pré-antese. A nutrição balanceada é

importante para a eficiência de uso dos nutrientes, devido à interação com os outros, pois a deficiência de um nutriente pode impactar na eficiência de uso de outros (FIXEN, 2004).

#### **4.1 Fosfato natural de Trauíra (FNT).**

A maioria dos fosfatos naturais é caracterizada pela sua baixa solubilidade em água e mesmo utilizando a calcinação para aumento da disponibilidade pode apresentar baixas concentrações de  $P_2O_5$  (FRANCISCO et al., 2007). O tratamento térmico ou químico pode variar a disponibilidade de  $P_2O_5$  do fosfato natural (CÂMARA, 1984).

A baixa solubilidade do  $P_2O_5$  em água, observada após a calcinação do FNT, pode ser explicado pelo rearranjo dos minerais constituintes do material ou volatilização dos compostos ligados à água, após a calcinação. Guardani et al. (1989) mostraram que a solubilidade do fosfato aluminoso de Trauíra diminui, devido a intensa cristalização do material, quando a calcinação alcança temperaturas acima de 600°C.

Gilkes e Palmer (1979) estudaram o comportamento de fosfatos aluminosos calcinados (300 a 1000°C) e constataram que o aumento da temperatura modificava a estrutura dos minerais para um material amorfo, e posteriormente recristalizava-os para minerais como whitlockita e phosphocristobalita, tornando-os mais solúveis.

O fosfato natural varia sua disponibilidade em diferentes extratores. O uso da água como extrator não é recomendada para caracterização dos fosfatos naturais como fertilizante, devido a sua baixa reatividade com os compostos ligados aos íons fosfato (ARAÚJO et al., 2004). A moderada solubilização de  $P_2O_5$  do FNT utilizando como extrator o ácido cítrico 2% pode ser vista em alguns trabalhos com fosfatos naturais que apresentam de 4,3 a 17% de  $P_2O_5$  (FOLONI et al., 2008; RESENDE et al., 2006). Essa caracterização indica a labilidade do fosfato e está relacionado à forma como o fosfato é adsorvido aos constituintes do solo, dificultando ou não a absorção do nutriente pela planta.

#### **4.2 FNT em duas classes de solo**



As diferenças observadas no acúmulo de massa de matéria seca entre o Plintossolo e o Argissolo mostram que a disponibilidade do FNT para as plantas variou com as características do solo. O Plintossolo pode ter influenciado negativamente o acúmulo de massa de matéria seca, por apresentar maiores quantidades de sítios de adsorção que tornam o fósforo indisponível.

Na região tropical, a deficiência de fósforo é resultado da baixa quantidade total deste elemento no solo e forte adsorção a óxidos de ferro e outros íons metálicos (NZIGUHEBA e BÜNEMANN, 2005). No processo de formação do solo, a plintização é característica principal do Plintossolo, onde ocorre formação de pequenos aglomerados de ferro reduzido no horizonte B textural. Várias pesquisas apontam que a presença de íons metálicos dificulta a difusão do fósforo no solo, o que aumenta sua fixação (BEDIN et al., 2003; GAMA, 2002; PLACE et al., 1968).

Durante o período de apenas 40 dias, as diferenças promovidas pela fertilização com FNT entre o tratamento não fertilizado e as doses 10 e 20 mg kg<sup>-1</sup> mostra que mesmo em pequenas doses, o aumento na acumulação de massa de matéria seca excede as diferenças entre as doses maiores. Adicionalmente, a dose de 80 mg kg<sup>-1</sup> proporcionou semelhante acumulação de massa de massa de matéria seca do milho, fertilizado com superfosfato simples ou FNT. Resultados encontrados por Harger et al. (2007) mostram que a massa de matéria seca do milho aumentou independente da fonte fosfatada (Arad ou superfosfato triplo) aplicada. Estes resultados indicam que a fertilização com FNT pode ser recomendada, devido aos baixos custos de aquisição deste insumo.

Parâmetros biométricos como diâmetro do colmo, altura da parte aérea e volume de raízes são utilizados como indicadores das respostas do milho à fertilização. O FNT foi eficiente como fonte fosfatada, pois proporcionou aumento em todos os parâmetros biométricos do milho, no Plintossolo e no Argissolo. Oliveira et al. (2009) estudaram diferentes doses de nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo e verificaram que as doses de fósforo promoveram aumento dos principais indicadores biométricos do milho.

Assim como na produção de massa de matéria seca, foi verificado um aumento significativo entre a dose 10 mg kg<sup>-1</sup> e o tratamento não fertilizado, nos parâmetros relacionados ao desenvolvimento das raízes do milho. Esta característica pode indicar que a dose muito baixa do FNT estimulou o crescimento radicular na busca por fósforo. A resposta parece estar relacionada a um maior investimento dos recursos da planta para o crescimento

radicular no objetivo de melhorar a aquisição de P (GAUME et al., 2001), o que pode comprometer o crescimento da parte aérea da planta.

#### **4.3 Relação do FNT com leucena e diferentes fontes sintéticas**

A cultura do milho, por se tratar de uma planta de metabolismo C4, possui capacidade de acumular massa de matéria seca rapidamente. Para que isso ocorra, os nutrientes devem ser disponibilizados no solo em sincronismo com o período de maior necessidade da cultura, como pode ter ocorrido pelo rápido fornecimento do fósforo nos tratamentos SS+L e SS+U. Adicionalmente, o suprimento deste nutriente no solo pode ter aumentado, quando o fósforo orgânico proveniente da decomposição da leucena foi também disponibilizado, o que explica o maior acúmulo de massa seca no tratamento SS+L.

Fosfatos de alta solubilidade são mais eficientes em disponibilizar o fósforo às culturas, pois são capazes de liberar de 91 a 100% do P em sua composição (MCCLELLAN e VAN KAUWENBERGH, 2004; PROCHNOW et al., 2003). A solubilização dos fosfatos naturais ocorre de forma lenta e geralmente recomenda-se o uso com fosfatos solúveis, pois alterna a rápida liberação dos fosfatos sintéticos com o efeito residual dos fosfatos naturais (NACHTIGALL et al., 1989; ZAPATA e ZAHARAH, 2002).

No trópico úmido, o uso somente da leucena não é recomendada para a cobertura do solo devido à sua acelerada decomposição (MOURA et al., 2010). Em contraste, por se tratar de um resíduo de alta qualidade, possui papel importante na adubação verde e pode substituir entre 50 a 75% a necessidade de N do milho (SHARMA e BEHERA, 2010).

Os baixos índices pluviométricos observados durante o ciclo da cultura aliado à lenta disponibilidade de fósforo pelo FNT e a ausência de cobertura da leucena podem ter influenciado negativamente o desenvolvimento das plantas e acúmulo de massa seca no tratamento FNT+U. Na ausência de espécies vegetais de lenta decomposição, leguminosas arbóreas como a leucena podem ser utilizadas como cobertura, o que diminui o estresse causado pela perda excessiva de umidade do solo e difíceis condições de enraizabilidade (AGUIAR et al., 2010). Moura et al., (2009) verificaram que em diferentes coberturas com leguminosas arbóreas como a leucena no trópico úmido, o melhor indicador físico que explicou as diferenças na produtividade do milho foi o dia de estresse hídrico, seguido da

resistência à penetração. Mudanças nos indicadores físicos da qualidade do solo promovidas pela cobertura morta são muito importantes no cultivo do milho no trópico úmido.

Como visto no tratamento FNT+L, as plantas apresentaram maior densidade de comprimento de raízes que pode ser explicados por vários fatores, dentre eles: a necessidade nutricional não correspondida pela lenta liberação do fósforo no FNT e também por maior capacidade fotossintética da planta, o que aumenta o fornecimento de carboidratos para produção de raízes. Brasil et al., (2007), estudando diferentes linhagens e híbridos de milho, observaram aumento na relação raiz/parte aérea quando submetidos a níveis baixos de fósforo no solo.

As diferenças encontradas entre os tratamentos FNT+U e FNT+L podem ser observadas tanto no índice de área foliar quanto na densidade de comprimento de raízes. Estes resultados indicam que as plantas no tratamento FNT+L possuem maior capacidade de assimilar carbono devido ao seu potencial fotossintético, e que os carboidratos foram utilizados para o desenvolvimento de raízes. Em contraste, a falta de assimilados fotossintéticos no tratamento FNT+U e na testemunha prejudicou o desenvolvimento do sistema radicular.

O tratamento FNT+L mostrou que a combinação das fontes pode auxiliar o aumento da absorção dos nutrientes pela planta. A liberação de ácidos orgânicos da leguminosa e exsudatos radiculares do milho (GAUME et al., 2001) podem ter aumentado a solubilidade do FNT num período mais curto de tempo, assim como, a liberação dos nutrientes provenientes da leucena, pode ter sido mais eficiente devido ao fornecimento do fósforo do FNT, essencial para a ação dos microrganismos decompositores (GATIBONI et al., 2008).

Os maiores valores observados no peso de espigas e produtividade de grãos podem ter relação com a maior densidade de comprimento de raízes no tratamento FNT+L e índice área foliar no SS+L. No tratamento FNT+L, a maior quantidade de raízes por volume de solo pode ter aumentado a capacidade de absorção de nutrientes da planta, principalmente pelo aumento da superfície de contato com o FNT. Já no SS+L, as plantas tiveram menor densidade de comprimento de raízes e puderam utilizar os carboidratos assimilados para enchimento dos grãos.

O pico geral menor da frequência de grãos, na classe de peso com média 0,20 observado na testemunha, mostra que o enchimento dos grãos foi prejudicado por diversos fatores, que levaram a estresse no período de crescimento vegetativo e na maturação. A ausência de fertilização influenciou a acumulação de massa de matéria seca antes e após a

antese e também afetou a remobilização dos nutrientes, fatores que são essenciais para o enchimento do grão. Masoni et al. (2007) estudando a acumulação pré-antese de massa de matéria seca, N e P, fertilizados com ureia e superfosfato, observaram que a matéria seca contribuiu para o enchimento dos grãos de trigo de reservas provenientes do colmo, folhas e raízes.

No tratamento SS+L, as plantas foram favorecidas pelo aumento da absorção de nitrogênio da leucena, proporcionada pela alta recuperação deste elemento, combinada com a rápida solubilização do superfosfato simples. Adicionalmente, as plantas deste tratamento possuem maior índice de área foliar, característica que aumenta a capacidade fotossintética, e desta forma a síntese e acumulação de carboidratos solúveis no período pré-antese, essenciais para o enchimento dos grãos.

O baixo peso dos grãos e baixos valores do fator de produtividade parcial observados na testemunha indicam que estes fatores podem estar relacionados com o acúmulo de massa de matéria seca tanto no período até a antese (Figura 4) quanto no acúmulo pós-antese (Tabela 5). Yang e Zhang (2006) reportam que a remobilização das reservas para os grãos é crítica para a produtividade se as plantas estão sujeitas a estresse de água ou se a produtividade é baseada em forte acumulação de biomassa.

A remobilização de fósforo observada na testemunha mostra que houve baixa absorção deste nutriente no período pós-antese. Pode-se inferir que a planta utilizou o mecanismo de remobilização para suprir as necessidades deste elemento no período de enchimento dos grãos. Machado et al. (2001) mostraram que a remobilização de P dos tecidos vegetais para o grão constitui-se em um dos principais mecanismos no final do ciclo.

Os maiores valores de eficiência agrônômica ocorreram nos tratamentos fertilizados com leucena independente da fonte de fósforo aplicado. As plantas receberam nutrientes da leucena por um período maior durante o ciclo da cultura, o que proporcionou maior acúmulo de massa de matéria seca pós-antese. O fornecimento dos nutrientes pela leucena pode ser confirmado pela maior eficiência de recuperação de nitrogênio e fósforo (Tabela 6),

A massa de matéria seca acumulada no período pré-antese no tratamento SS+U funcionou como uma das principais fontes de nitrogênio para o enchimento do grão, observada pela maior remobilização de nitrogênio (Tabela 5). Isto indica que a aplicação da uréia não foi suficiente para absorção pós-antese que poderia ser outra fonte para elevar a produtividade (apenas metade da produtividade do tratamento SS+L). Perdas por lixiviação,

volatilização, desnitrificação podem ter ocorrido com maior intensidade com a utilização da uréia, como visto pela baixa eficiência de recuperação deste nutriente.

Os valores de eficiência de recuperação do N e do P foram superiores nos tratamentos com fertilização via leucena e a diferença entre eles foi influenciada pela aplicação da fonte fosfatada. Esta diferença é explicada pela lenta solubilidade do Fosfato natural de Trauíra que pode ter levado a condições de deficiência de P, o que diminui a absorção de N. A limitação de P pode diminuir a assimilação de N pela planta devido a um controle 'feedback' negativo, como resultado da acumulação de N nas raízes ou a diminuição da concentração de ATP, pois a absorção de N pelas raízes é um processo que demanda energia (RUFTY et al. 1990, 1993).

## 5 CONCLUSÕES

O FNT apresentou baixa solubilidade em água como característica dos fosfatos naturais. No entanto, A utilização de pequenas doses do fosfato natural de Trauíra proporcionou aumento no acúmulo de massa de matéria seca semelhante a doses superiores.

Alguns estudos realizados no trópico úmido reafirmam as informações apresentadas neste trabalho. O uso de leguminosas diminui os efeitos físicos negativos do solo aumentando a capacidade da planta em absorver nutrientes. O uso de fertilizantes fosfatados sintéticos ou naturais deve ser combinado com leguminosas de alta qualidade, como a leucena.

A produtividade de grãos de milho foi superior nos tratamentos fertilizados com leucena independente da fonte de fosfato utilizada. A combinação da leucena com o superfosfato simples apresentou forte enchimento de grãos, explicado pelo maior eficiência de recuperação de nitrogênio e fósforo, e acúmulo de massa de matéria seca pós-antese. A produtividade observada na combinação da leucena com o FNT foi proporcionada pelo aumento na densidade de comprimento de raízes e pela maior capacidade fotossintética. Ainda não estão totalmente esclarecidos as interações destas fontes e os mecanismos que influenciam a absorção desses nutrientes.

O uso de resíduos da leucena é uma importante alternativa para o aumento da produtividade do milho, principalmente quando combinado com uma fonte fosfatada de alta solubilidade, como o superfosfato simples. Recomenda-se o uso do FNT em locais onde a aquisição de fertilizantes sintéticos é insustentável.

## LITERATURA CITADA

AGUIAR, A. C. F.; FREITAS, I. C.; CARVALHO, C. S.; MONROE, P. H. M.; MOURA, E. G. Efficiency of an agrosystem designed for family farming in the pre-Amazon region. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 26, p. 24-30, 2010.

AGUIAR, A. C. F.; BICUDO, S. J. ; COSTA SOBRINHO, J. R. S.; MARTINS, A. L. S.; COELHO, K. P.; MOURA, E. G. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the pre-Amazon region of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 86, p. 189-198, 2009.

ARAÚJO, M. S. B.; SCHAEFER, C. E. G. R. e SAMPAIO, E. V. S. B. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p. 259-268, 2004.

BANCAL, P. Decorrelating source and sink determinism of nitrogen remobilization during grain filling in wheat. **Annals of Botany**, v. 103, p. 1315–1324, 2009.

BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A. M.; SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e produção de soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 639-646, 2003.

BRASIL, E. C.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; PITTA, G. V. E.; CARVALHO, J. G. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 704-712, 2007.

BRAUN, W. A. G. Os fosfatos de alumínio do Brasil, sua tecnologia e uso agrícola. **Fertilizantes**, São Paulo, v. 5, p. 3-11, 1983.

CÂMARA, L. M. J. R.; RIBEIRO, J. F.; FERNANDES, M. S. Efeito da calcinação na eficiência de fosfatos de alumínio como fertilizante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 8, p. 345-347, 1984.

COSTA, M. L.; ARAÚJO, E. S. Application of multi-element geochemistry in Au-phosphate-bearing lateritic crusts for identification of their parent rocks. **Journal of Geochemical Exploration**. v. 57, p. 257-272, 1996.

COSTA, M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, p. 146-160, 1991.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa. 412p., 2006.

FAGERIA N. K.; BALIGAR V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**. 88: 97-185, 2005.

FERRAZ JUNIOR, A.S.L. O cultivo em aléias como alternativa para a produção de alimentos na agricultura familiar do trópico úmido. In: Moura, E. G. **Agroambientes de transição: entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. São Luís: UEMA Editora, p. 71-10, 2004.

FIXEN, PAUL E. Sustainable nutrient use efficiency in the no-till system. In: **Proceedings of the No-till on the Plains Winter Conference**. Salinas, p. 26-27, 2004.

FOLONI, J. S. S.; TIRITAN C. S.; CALONEGO J. C.; & ALVES JUNIOR J. Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milho, braquiária, milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1147- 155, 2008.

FRANCISCO, E. A. B.; PROCHNOW, L. I.; TOLEDO, M. C. M. DE; FERRARI, V. C.; JESUS, S. L. DE. Thermal treatment of aluminous phosphates of the crandallite group and its effect on phosphorus solubility. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 64, p. 269-274, 2007.

GAMA, M. A. P. Dinâmica do fósforo em solo submetido a sistemas de preparo alternativos ao de corte e queima no nordeste paraense. 2002. 96p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J; RHEINHEIMER, D. S.; CERETTA, C. A., BASSO, C. J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 32, p. 1753-1761, 2008.

GAUME, A.; MÄCHLER, F.; FROSSARD, E. Aluminum resistance in two cultivars of *Zea mays* L.: root exudation of organic acids and influence of phosphorous nutrition. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 234, p. 73-81, 2001.

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



GILKES, R. J.; PALMER, B. Calcined Christmas Island C- grade rock phosphate fertilizers: Mineralogical properties reversion and assessment by chemical extraction. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 17, p. 467–481, 1979.

GUARDANI R.; DRAHOG J.; GIULIETTI M.; SCHFIGERL K. Studies on calcination of aluminium phosphate rock in fluidized bed reactors. **Fertilizer Research**. v. 20, p. 181-191, 1989.

HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Ciências Agrárias**, v. 28, p. 39-44, 2007.

LIMA, J.M.G. de. Perfil Analítico dos Fertilizantes Fosfatados. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Boletim**, Brasília: DNPM. 55 p, 1976.

MACHADO, C.T.T.; FURLANI, A.M.C.; MACHADO A.T. índices de variedades locais e melhoradas de milho ao fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 60, p. 225-238, 2001.

MASONI, A.; ERCOLI, L. MARIOTTI, M.; ARDUINI, I. Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type. **European Journal of Agronomy**, v. 26, p. 179-186, 2007.

MCCLELLAN, G. H.; VAN KAUWENBERGH, S. J. Characterization of phosphate rocks. In: ZAPATA, F.; ROY, R.N. **Use of phosphate rocks for sustainable agriculture**. Rome: FAO, p. 17-26, 2004.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). São Paulo, 2010. Disponível em: [www.pronaf.gov.br](http://www.pronaf.gov.br). Acesso em: 21/03/2010.

MONTGOMERY, E.G. Correlation studies of com. Annual Report. **Nebraska Agricultural Experiment Station**, v. 24, p. 108-159, 1911.

MOURA, E.G. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. In: MOURA, E.G., (Coord.). **Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**: Atributos, alternativas, uso na produção familiar. 2.ed. São Luís: UEMA Editora, p.15-51, 2006.

MOURA, E. G.; COELHO, K. P.; FREITAS, I. C.; AGUIAR, A. C. F. Chemical and physical fertility indicators of a weakly-structured Ultisol after liming and mulching. **Scientia Agrícola**, v. 66, p. 800-805, 2009.

MOURA, E. G.; SERPA, S. S.; SANTOS, J. G. D.; COSTA SOBRINHO, J. R. S.; AGUIAR, A. C. F. Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. **Plant and Soil**, Doordrecht, . 335, N. 1-2, 363-371, 2010.

NZIGUHEBA, G.; BÜNEMANN, E. K. Organic phosphorus dynamics in tropical agroecosystems. In: Turner, L. Benjamim; Frossard, E.; Baldwin, D. S. **Organic phosphorus in the environment**. CABI Publishing, p. 243-268, 2005.

OKTEM, A., OKTEM, A., & EMEKLIER, H. Effect of Nitrogen on Yield and Some Quality Parameters of Sweet Corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, p. 832-847, 2010.

OLIVEIRA, FRANCISCO A. DE; CAVALCANTE, LOURIVAL F.; SILVA, IVANDRO DE F. DA; PEREIRA, WALTER E.; OLIVEIRA, JULIANA C. DE; FILHO, JOSÉ F. DA C. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, p. 238-244, 2009.

PENG, S.; BURESH, R.; HUANG, J.; YANG, J.; ZOU, J.; ZHONG, X.; WANG, G.; ZHANG, F. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigate rice systems in China. **Fields Crop Research**, v. 96, p. 37-47, 2006.

PLACE, G. A.; PHILLIPS, R. E.; BROWN, D. A. Self-diffusion of phosphorus in clays and soils: II. The effect of pH. **Soil of Science Society**, v. 32, p. 657-660, 1968.

PROCHNOW, L. I.; QUISPE, J. F. S.; FRANCISCO, E. A. B.; BRAGA, G. Effectiveness of phosphate fertilizers of different water solubilities in relation to soil phosphorus adsorption. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 63, p. 333-340, 2006.

RAIJ, B. VAN, ANDRADE, J.C., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. (Eds). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, p. 285. 2001.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KINPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da Região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 453-466, 2006.

REZENDE, N. G. A. M. Insumos minerais para agricultura e áreas potenciais no estado do Pará e Amapá. Ministério de Minas e Energia, Superintendência Regional de Belém, 2001.

RIBEIRO, P. H. E.; SANTOS, M. X.; RAMALHO, M. A. P. Interação cultivares de milho x épocas de semeadura em diferentes ambientes do Estado de Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 46, p. 531-542, 1999.

RUFTY JUNIOR., T. W.; MACKOWN, C. T.; ISRAEL, D. W. Phosphorus stress effects on assimilation of nitrate. **Plant Physiologist**, v. 94, p. 328-33, 1990.

RUFTY Jr., T.W.; ISRAEL, D.W.; VOLK, R.J.; QIU, J. & TONGMIN, S.A. Phosphate regulation of nitrate assimilation in soybean. **Journal of Experimental Botany**, v. 44, p. 879-91, 1993.

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

Statsoft inc. (1974-2009). Estatística for windows (Software-system for data-analys). Version 8.0, Tulsa, USA.

Systat software inc. Sigmaplot for windows (development and testing procedure) Version 11.0.

TAHIR, I.S.A., NAKATA, N. Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 191, p. 106-115, 2005.

TEDESCO, M.J. **Análise de solo, plantas e outros minerais**. UFRGS: Depto. de Solos. Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 174p., 1995.

TENNANT, D.A. Test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 63, p. 995-1001, 1975.

XU, Z.Z.; YU, Z.W.; WANG D. Nitrogen translocation in wheat plants under soil water deficit, *Plant and Soil*, Doordrecht, v. 280, p. 291–303, 2006.

YANG, J.; PENG, S.; ZHANG, Z.; WANG, Z.; VISPERAS, R. M.; ZHU, Q. Grain and matter yields and partitioning of assimilates in japonica/indica hybrids. **Crop science**. v. 42, p. 766-772, 2002.

YANG, J.; ZHANG, J. Grain-filling problem in 'super' rice. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 1-5, 2010.

YANG, J.; ZHANG, J. Grain filling of cereals under soil drying, **New Phytologist**, v. 169, p. 223–236, 2006.

YUAN, L. P. Hybrid rice breeding in China. In Virmani, S.S., Siddiq, E.A. & Muralidharan, K. (eds.) **Advances in hybrid rice technology. Proceedings of the Third International Symposium on Hybrid Rice Hyderabad**. India: IRRI. p. 35-49, 1996.

ZAPATA, F.; ZAHARAH, A.R. Phosphorus availability from phosphate rock and sewage sludge as influenced by the addition of water soluble phosphate fertilizer. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 63, p. 43-48, 2002.