

VANESSA JÚNIA MACHADO

RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO AOS FERTILIZANTES FOSFATADOS E
NITROGENADOS REVESTIDOS COM POLÍMEROS

Dissertação apresentada a Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração
em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Regina Maria Quintão Lana

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

VANESSA JÚNIA MACHADO

RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO AOS FERTILIZANTES FOSFATADOS E
NITROGENADOS REVESTIDOS COM POLÍMEROS

Dissertação apresentada a Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração
em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 06 de Janeiro de 2012.

Prof^a. Dr^a. Adriane de Andrade Silva

FAPEMIG/UFU

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

UFU

Prof. Dr. Marcelo Fagioli

UnB

Prof^a. Dr^a Regina Maria Quintão Lana
ICIAG-UFU
(Orientadora)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

M149r Machado, Vanessa Júnia, 1976-
2012 Resposta da cultura do milho aos fertilizantes fosfatados e nitrogenados revestidos com polímeros / Vanessa Júnia Machado. -- 2012.
60 f. : il.

Orientadora: Regina Maria Quintão Lana.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Milho - Adubos e fertilizantes - Teses. 3. Milho - Adubação - Teses. I. Lana, Regina Maria Quintão. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

**Aos meus pais, Valter e Maria José, e ao meu marido, Carlos Henrique,
dedico.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela saúde, pela família maravilhosa que me deu, pelas pessoas e oportunidades que tem colocado em meu caminho;

Aos meus pais, Valter e Maria José, por todo o amor, o incentivo, a confiança, a educação, a paciência e as oportunidades que me deram.

Ao meu marido, Carlos Henrique, por todo o amor, o incentivo, os ensinamentos, o companheirismo e os sonhos partilhados.

À minha orientadora, Prof^ª. Regina, pela oportunidade de trabalharmos juntas, pelo conhecimento transferido, pela orientação deste trabalho, pela confiança depositada em mim e pela grande amizade formada.

À minha coorientadora e amiga, Adriane de Andrade Silva, por tudo.

Aos membros da banca, Prof^ª. Dr^ª. Regina Maria Quintão Lana, Prof^ª. Dr^ª. Adriane de Andrade Silva, Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira, Prof. Dr. Marcelo Fagioli pelos inúmeros ensinamentos, conselhos e atenção em relação a este trabalho.

Aos meus bons amigos, por todos os momentos que passamos juntos.

Aos meus amigos Anderson e Soraia, pela generosidade.

Aos meus companheiros de viagem, Carlos Henrique, Lucas Mendes, Bruno Bernardes, Aquiles e Clauber.

À Professora Marli Ranal, por todos os ensinamentos de vida e acadêmicos compartilhados.

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Instituto de Ciências Ambientais e Agrárias, por permitirem a realização do mestrado, por todo o suporte e conhecimento proporcionado.

Aos funcionários do Programa de Pós-graduação em Agronomia da UFU, Aparecida e Eduardo, por toda a atenção e apoio.

Ao Centro Universitário de Patos de Minas, pelo apoio e ajuda na condução e análise dos experimentos.

Ao Prof. Carlos Henrique Eiterer de Sousa, aos alunos Vinícius Ribeiro e Cristiano Caixeta e aos demais membros da equipe do Laboratório de Fertilidade do Solo - CeFert.

À empresa Terrena Agronegócios, em especial na pessoa do Ronaldo Batista Pinheiro, pelo fornecimento da área para realização dos experimentos e pelos insumos fornecidos.

À EPAMIG, unidade de Patos de Minas, por todo o suporte e fornecimento de área para realização dos experimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

Aos mestres, pelo conhecimento e sabedoria que me foram transmitidos.

A todos os amigos e colegas da graduação e pós-graduação do ICIAG.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para este trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO | i |
| ABSTRACT | ii |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 2 |
| 2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 10 |
| CAPÍTULO 2: Desenvolvimento e produtividade de milho em função da adubação fosfatada, utilizando fertilizantes revestidos com polímeros e fertilizantes convencionais. | 12 |
| RESUMO | 13 |
| ABSTRACT | 14 |
| 2.1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 2.2 MATERIAL E MÉTODOS | 17 |
| 2.2.1 Local do experimento | 17 |
| 2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental | 17 |
| 2.2.3 Produtividade de grãos | 19 |
| 2.2.4 Massa de 1000 grãos | 19 |
| 2.2.5 Fitomassa Seca Total | 19 |
| 2.2.6 Avaliação dos teores de P nos tecidos vegetais | 20 |
| 2.2.7 Avaliação de P disponível no solo | 20 |
| 2.2.8 Avaliação econômica | 20 |
| 2.2.9 Índice de eficiência agrônômica | 21 |
| 2.2.10 Análise estatística | 21 |
| 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 22 |
| 2.4 CONCLUSÕES | 29 |
| 2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 30 |
| CAPÍTULO 3: Produtividade de milho em função de adubação nitrogenada em cobertura. | 33 |
| RESUMO | 34 |
| ABSTRACT | 35 |
| 3.1 INTRODUÇÃO | 36 |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS | 38 |

| | |
|--|----|
| 3.2.1 Locais dos experimentos | 38 |
| 3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental | 39 |
| 3.2.3 Produtividade de grãos | 40 |
| 3.2.4 Massa de 1.000 grãos | 41 |
| 3.2.5 Avaliação dos teores de N nos tecidos foliares | 41 |
| 3.2.6 Atividade da enzima nitrato redutase | 41 |
| 3.2.7 Avaliação econômica | 41 |
| 3.2.8 Índice de Eficiência Agrônômica | 42 |
| 3.3.9 Análise estatística | 42 |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 43 |
| 3.4 CONCLUSÕES | 57 |
| 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 58 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| 2.1. Precipitação pluvial média (mm). Fonte: http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario?uf=MG . Estação meteorológica: Patos de Minas (INMET). | 19 |
| 2.2. Produtividade de milho em função das doses de Superfosfato Triplo convencional (SFT) e revestido com polímeros (SFT POL). | 23 |
| 2.3. Fitomassa Seca Total (FST) de plantas de milho em função das doses de Superfosfato Triplo, média de convencional e revestido com polímeros. | 24 |
| 2.4. Teor de P disponível no solo, 180 dias após aplicação de Superfosfato Triplo, média de convencional e revestido com polímeros. | 25 |
| 3.1. Precipitação pluvial média (mm). Fonte: http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario?uf=MG . Estação meteorológica: Patos de Minas (INMET). | 40 |
| 3.2. Produtividade de milho de primeira safra em função das doses de Ureia, média de convencional e revestida com polímeros. | 44 |
| 3.3. Produtividade de milho de segunda safra em função das doses de Ureia, média de convencional e revestida com polímeros. | 45 |
| 3.4. Massa de 1.000 grãos de milhos de primeira safra, em g, em função das doses de Ureia, média de convencional e revestida com polímeros. | 47 |
| 3.5. Massa de 1.000 grãos de milhos plantados em segunda safra, em g, em função das doses de Ureia convencional e revestida com polímeros. | 48 |
| 3.6. Teor de N-NH ₄ (g kg ⁻¹) em folhas de milhos de segunda safra, em função das doses de Ureia convencional e revestida com polímeros. | 49 |
| 3.7. Atividade da enzima nitrato redutase, em µg g ⁻¹ h ⁻¹ , em função da aplicação de 60, 90, 120 e 150 kg ha ⁻¹ N em milho de segunda safra, parcelados em uma ou duas coberturas, de Ureia convencional e revestida com polímeros. | 50 |

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|---|--------|
| 2.1. Caracterização química e matéria orgânica do solo, na profundidade de 0 a 10 cm. | 17 |
| 2.2. Produtividade (kg ha^{-1}), massa de 1000 grãos (g), fitomassa seca total (g), teores de fósforo foliar (g kg^{-1}) e teor de P disponível no solo, observados em milho cultivado em função da aplicação de doses de P_2O_5 utilizando Superfosfato Triplo revestido com polímero (POL) e sem revestimento de polímero (SFT), em sistema plantio direto. | 22 |
| 2.3. Avaliação econômica da produção de milho em função de doses de Superfosfato Triplo convencional e revestido com polímeros, segundo modelo proposto por Raij (2011). | 26 |
| 2.4. Índice de eficiência agrônômica (%) das fontes de fósforo em função das doses aplicadas sobre a produtividade de milho, em relação à dose de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 , de Superfosfato Triplo convencional, considerado padrão (100%). | 27 |
| 3.1. Valores médios para as variáveis químicas e matéria orgânica do solo, na profundidade de 0 a 10 cm. | 38 |
| 3.2. Produtividade (kg ha^{-1}), massa de 1000 grãos (g) observados em milho de primeira safra, cultivado em função da aplicação de doses de N utilizando Ureia revestida com polímeros (POL) e sem revestimento de polímero (ureia), em uma ou duas aplicações em cobertura, em sistema plantio direto. | 43 |
| 3.3. Produtividade (kg ha^{-1}), massa de 1000 grãos (g) e teor de N foliar (g kg^{-1}) observados em milho de segunda safra, cultivado em função da aplicação de doses de N utilizando Ureia revestida com polímeros (POL) e sem revestimento de polímero (ureia), em uma ou duas aplicações em cobertura, em sistema plantio direto. | 45 |
| 3.4. Atividade da enzima nitrato redutase, em percentual em relação ao tratamento controle (sem aplicação de N em cobertura), em milho de segunda safra, em função das doses de Ureia, parcelados em uma ou duas coberturas de Ureia convencional e revestida com polímeros. | 51 |
| 3.5. Avaliação econômica da produção de milho de primeira safra em função de doses de Ureia, parcelados em uma ou duas coberturas, de Ureia convencional e revestida com polímeros, segundo modelo proposto por Raij (2011). | 53 |
| 3.6. Avaliação econômica da produção de milho de primeira safra em função de doses de Ureia, parcelados em uma ou duas coberturas, de Ureia convencional e revestida com polímeros, segundo modelo proposto por Raij (2011). | 54 |
| 3.7. Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) (%) das fontes de nitrogênio em função das doses aplicadas e a época de aplicação sobre a produtividade de milho de primeira safra, em relação a dose de 120 kg ha^{-1} de N, de Ureia convencional, considerado padrão (100%). | 55 |

3.8. Índice de Eficiência Agronômica (IEA) (%) das fontes de nitrogênio em função das doses aplicadas e a época de aplicação sobre a produtividade de milho de segunda safra, em relação a dose de 120 kg ha^{-1} de N, de Ureia convencional, considerado padrão (100%).

RESUMO

MACHADO, VANESSA JÚNIA. **Resposta da cultura do milho aos fertilizantes fosfatados e nitrogenados revestidos com polímeros.** 2012. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

O uso eficiente de fertilizantes, além de proporcionar maior produtividade, pode reduzir os custos de produção, refletindo em margem positiva no final da safra. Para o milho, em sistemas mais tecnificados, os gastos com correção do solo e adubação representam, em média, 40% a 45% do custo de produção. O fósforo é considerado um nutriente de baixo aproveitamento pelas plantas, devido às reações de fixação que sofre no solo, pois o ânion H_2PO_4^- apresenta forte afinidade pela superfície dos colóides dos óxidos de ferro e alumínio. O N no solo está predominantemente na forma orgânica. As frações inorgânicas são formadas por NH_4^+ e principalmente NO_3^- em solos bem oxigenados. Para minimizar as perdas e aumentar a produtividade de forma rentável e sustentável, utilizando fontes de P e N, foram desenvolvidas fórmulas com liberação gradativa de nutrientes que permitem reduzir as perdas que normalmente ocorrem com a utilização de Ureia e Superfosfato triplo, possibilitando uso mais eficiente de fertilizantes sem influenciar a produtividade das lavouras. Os fertilizantes polimerizados podem ser de liberação lenta, os quais fornecem os nutrientes gradualmente às plantas. Assim, requerem menor frequência de aplicação, diminuindo os gastos com mão de obra para o parcelamento, evitam injúrias às sementes e raízes, decorrentes de aplicações excessivas, e são pouco suscetíveis a perdas, minimizando os riscos de poluição ambiental. O presente trabalho visa avaliar a eficiência agrônômica e econômica de fontes de fertilizantes fosfatado e nitrogenado convencionais e revestidos com polímeros na cultura do milho, sob sistema plantio direto em Patos de Minas, região do Alto Paranaíba em Minas Gerais. Observou-se que houve incremento de produtividade no experimento utilizando Superfosfato triplo revestido com polímeros, em relação ao sem revestimento. Até a dose de 90 kg ha^{-1} do fertilizante revestido acarretou retorno financeiro. Nos experimentos com Ureia com e sem revestimento, observou-se que o fertilizante sem revestimento apresentou melhores resultados.

Palavras-chave: Fertilizantes polimerizados; tecnologia de fertilizantes; adubação; *Zea mays* L.

¹Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Regina Maria Quintão Lana

ABSTRACT

MACHADO, VANESSA JÚNIA. **Response of maize to polymer-covered phosphate and nitrogen fertilizers.** 2012. 60 f. Dissertation (Master's degree in Agronomy/Soils) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia².

The effective use of fertilizers, besides resulting in greater yield, can reduce production costs, with positive results in the end of the cropping season. Soil correction and fertilization in intensive maize production systems represent, on average, 40% to 45% of the production cost. Phosphorus is considered as a nutrient with low absorption by plants due to fixation reaction with the soil, since the anion H_2PO_4^- presents great affinity for the surface of iron and aluminum colloid oxides. Nitrogen in soil is predominantly in the organic form. Inorganic fractions are formed by NH_4^+ and, mostly, NO_3^- in well drained soils. In order to reduce losses and increase yield economically and sustainably, using P and N sources, slow release formulations were developed, allowing to reduce losses that usually occur with the use of urea and triple Superphosphate, thus allowing a more effective use of fertilizers without affecting crop yield. Polymerized fertilizers can be of slow release, gradually supplying nutrients to the plants. Therefore, lower application frequency would be required; reducing labor costs with splitting fertilization, avoid damage to seeds and roots due to excessive fertilization, and are less susceptible to losses, reducing the risk of environmental pollution. This study evaluated agricultural and economic efficacy of conventional and polymer-covered phosphate and nitrogen fertilizer sources in no-till maize, in Patos de Minas, region of Alto Paranaíba in Minas Gerais. Increased yield was observed in the experiment with polymer-covered superphosphate triple in relation to the conventional one. Economic return was observed until the dose of 90 kg ha^{-1} with the polymer-covered fertilizer. In contrast, best results were observed with conventional urea application.

Keywords: polymerized fertilizers; Fertilizer technology; fertilization; *Zea mays* L.

²Supervisor: Prof Dr Regina Maria Quintão Lana

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Dentre os fatores que mais têm contribuído para o incremento da produção brasileira de grãos nos últimos anos, destaca-se a adoção de inovações tecnológicas e de práticas adequadas por parte dos produtores rurais, como o incremento do uso de fertilizantes no processo de produção, o uso adequado de agroquímicos e, de sementes com melhoramento genético adaptado a diferentes zoneamentos climáticos, o manejo adequado do solo. De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), o consumo de fertilizantes “NPK” no Brasil aumentou na ordem de 150% no período de 2000 a 2010. Nesse mesmo período, a produção nacional de grãos foi aumentada em 160% (ANDA, 2011).

A prática da adubação é definida como a adição de nutrientes de que a planta precisa para completar seu ciclo vital, possibilitando a obtenção de colheitas compensadoras de produtos de boa qualidade nutricional ou industrial. Espera-se que a utilização de fertilizantes minerais, ou orgânicos, deva subsidiar o incremento da produção, provocando-se o mínimo de perturbação no ambiente, e isso só poderá ser obtido se a aplicação for realizada de forma consciente e equilibrada (RAIJ, 1991). Para isso, devem-se realizar novos estudos da utilização de fertilizantes para que sejam minimizados os problemas gerados pela aplicação excessiva de nutrientes, o que pode gerar contaminação, principalmente de mananciais.

Nesse sentido, Sousa e Lobato (2004) preconizaram que a qualidade dos fertilizantes, o tipo de solo, a época de aplicação do adubo, a forma de aplicação ou a localização do adubo e a uniformidade de aplicação do adubo são fatores que, associados à umidade do solo, à espécie vegetal cultivada e ao manejo da lavoura, interferem na eficiência da adubação, podendo ocasionar perdas de nutrientes e consequente desperdício de recursos financeiros.

Em geral, os fertilizantes são aplicados localizadamente, como nas linhas de semeadura, ou a lanço. O melhor modo de aplicação depende da cultura que está sendo adubada, das características físicas e químicas do solo e do fertilizante utilizado. Para os adubos fosfatados, devido a sua reação de sorção e precipitação no solo, em particular em solos argilosos, a maneira mais adequada de localizarem-se os nutrientes em profundidade é a aplicação desse fertilizante concentrado na linha de semeadura, posicionando o adubo abaixo e ao lado da linha de distribuição das sementes

(CERETTA et al., 2007).

Tendo conhecimento de como as características do solo influenciam na disponibilidade de fósforo (P), fica implícita a sua importância para a determinação da forma e dose aplicadas do fertilizante fosfatado, além da cultura, do clima e do sistema de cultivo adotado.

As plantas também apresentam relevância: devem-se entender os processos de absorção. A absorção do P ocorre contra um elevado gradiente de concentração através da membrana plasmática, e, aliado à carga negativa dentro da célula, exige que seja gerado um forte gradiente eletroquímico para que seja possível o transporte do P para dentro da célula. As taxas de absorção de P são maiores entre pH 4,5 e 6,0 na solução do solo, em que predomina a forma H_2PO_4^- . O P_i move-se do córtex ao cilindro central das raízes pelo simplasto, por difusão. Contudo, é provável que o fluxo transpiratório também contribua com esse movimento (ARAÚJO; MACHADO, 2006).

A produtividade da cultura depende, dentre outros fatores, do adequado suprimento de nutrientes, sendo o fornecimento de P via adubação uma prática essencial nos solos brasileiros. (STAUFFER; SULEWSKI, 2003).

Os gastos com a adubação fosfatada representam parte considerável do custo das lavouras na região do Cerrado e variam, dependendo da fonte de P utilizada e do prazo considerado para o retorno do investimento (SOUSA et al., 2002). Para o milho, em sistemas mais tecnificados, os gastos com correção do solo e adubação representam, em média, 40% a 45% do custo de produção (COELHO; ALVES, 2003). O manejo da fertilidade do solo em relação ao P deve ser planejado numa perspectiva de longo prazo, uma vez que o custo da adubação e as respostas em produtividade estão sujeitos a muitas incertezas e podem variar de um ano para outro (FIXEN; HALVORSON, 1991; REETZ JUNIOR; FIXEN, 1992; SOUSA; LOBATO, 2003).

O fósforo é considerado um nutriente de baixo aproveitamento pelas plantas, devido às reações de fixação que sofre no solo: o ânion H_2PO_4^- tem forte afinidade pela superfície dos colóides dos óxidos de ferro e alumínio. Quando adubos fosfatados são aplicados ao solo e dissolvidos, praticamente todo o P é retido na fase sólida, formando compostos menos solúveis. Todavia, parte do P retido pode ser recuperada e aproveitada pela planta. A grandeza dessa recuperação é afetada pela textura do solo, pelos tipos de minerais de argila e pela acidez do solo. Além disso, dose, fonte, granulometria e formas de aplicação do fertilizante fosfatado também influem nesse processo. Em relação à textura do solo, quanto maior a quantidade de argila, maior a quantidade de P

que deverá ser aplicada ao solo para obter a mesma quantidade de P-solução em solos de mineralogia caulínica e oxidica (DEMATTE, 1986).

Sabe-se que metade da área agricultável do planeta apresenta problemas com a baixa disponibilidade de P às plantas, além de as reservas serem finitas e sem sucedâneo e haver baixo aproveitamento no sistema agrícola (5% a 30%), devido à baixa recuperação do elemento, resultado de sua rápida adsorção e precipitação no solo. Assim, quanto maior o contato do P com o solo, maior sua adsorção pelas argilas e precipitação com ferro (Fe) e alumínio (Al), e menor a recuperação pelas plantas (SOUSA; LOBATTO, 2002).

Os solos de regiões tropicais geralmente apresentam baixos teores de fósforo disponível. Sanchez e Salinas (1981) descreveram que cerca de 80% dos solos agricultáveis da região tropical são deficientes em fósforo. Segundo Raij (1991), solos brasileiros são carentes de P, em consequência do material de origem e da forte adsorção específica do elemento com o solo, apresentando apenas 0,1% do total na solução do solo (FARDEAU, 1995).

Assim como o P, o nitrogênio (N) também é um elemento empregado em grandes quantidades na agricultura, visto ser constituinte de vários compostos em plantas e extraído em grandes quantidades por elas (CANTARELLA, 2007). Do ponto de vista agrícola, o ciclo do N é o mais importante. O grande estoque de N no solo ocorre em forma orgânica, como parte da matéria orgânica do solo (MOS). A mineralização da MOS libera N inorgânico, o qual constitui a principal fonte de N para as plantas. A porção ativa do N orgânico do solo compreende cerca de 10% a 15% do N total em solos agrícolas, incluindo a biomassa microbiana, e o restante corresponde à fração passiva, que tem ciclagem mais lenta. (CANTARELLA, 2007).

As frações inorgânicas são formadas por amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), as principais fontes de N inorgânico absorvidos pelas plantas, contribuindo com cerca de 80% do total de cátions e ânions absorvido pelas plantas. A maior parte do N no solo provém do ar, por deposições atmosféricas de formas combinadas de N e da fixação biológica de N_2 . O NH_4 é incorporado em compostos orgânicos das raízes, enquanto o NO_3 é prontamente móvel no xilema e pode ser acumulado nos vacúolos das raízes, folhas e órgão de reserva. Para ser incorporado a estruturas orgânicas e cumprir suas funções de essencialidade como nutriente, o NO_3 deve ser reduzido a NH_4 , reação mediada por duas enzimas, a nitrato redutase e a nitrito redutase (MARSCHNER, 1995).

O uso cada vez maior de fertilizantes nitrogenados nas culturas pode ocasionar perdas do N aplicado, contribuindo para poluição ambiental e baixa eficiência do sistema. As perdas de N para o ambiente, com o conseqüente menor aproveitamento do N pelas culturas, estão associadas à concentração de formas solúveis de N no solo (CANTARELLA, 2007).

O ânion nitrato tem baixa interação química com os minerais do solo. Além disso, a predominância de cargas negativas e a baixa interação química do nitrato com os minerais fazem com que esse mesmo nitrato esteja sujeito à lixiviação para as camadas mais profundas, podendo atingir águas superficiais ou o lençol freático. Essa lixiviação está em estreita dependência com a quantidade de água que percola no perfil do solo (CANTARELLA, 2007).

Os fertilizantes nitrogenados são produzidos principalmente a partir de combustíveis fósseis não renováveis e, quando usados em grandes quantidades ou em condições inadequadas, o N pode ser perdido por volatilização da amônia ou lixiviação do nitrato. Quando esse nutriente é perdido para outros ecossistemas, ele pode se tornar um poluente de águas significativo (CANTARELLA, 2007).

As emissões de N (volatilização) na forma de NH_3 são estimadas em cerca de 54 Tg ano⁻¹. As perdas por volatilização de amônia em solos dependem do pH. Em condições de pH ácido, a espécie química predominante é o NH_4^+ . Em solos alcalinos, qualquer fertilizante nitrogenado que contenha N amoniacal está sujeito a perdas de NH_3 por volatilização, embora seja muito baixa a ocorrência de solos com essas características no Brasil. No entanto, a ureia, quando aplicada ao solo, passa por hidrólise enzimática, liberando N amoniacal. A mistura de ureia com outros fertilizantes nitrogenados pode reduzir as perdas de NH_3 por volatilização, ou o revestimento desta com substâncias inibidoras de uréase ou que retardam a sua liberação (CANTARELLA, 2007).

Ainda segundo Cantarella (2007), as perdas de N para o ambiente estão associadas à concentração de formas solúveis de N ou das formas mais suscetíveis a perdas. Um modo de aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados é o uso de fertilizantes de liberação lenta ou controlada.

Para minimizar as perdas e aumentar a produtividade de forma rentável e sustentável utilizando fontes de N, foram desenvolvidas fórmulas com liberação gradativa de nutrientes, que permitem reduzir as perdas que normalmente ocorrem com a utilização de ureia (NYBORG et al., 1995). A adubação é realizada para garantir o

aumento da produção e do lucro. Quando se avaliam os fatores econômicos da produção agrícola, o fertilizante é considerado um custo. Entretanto, quando se avalia a adubação, passa-se a fator de maior interesse, tendo em vista os retornos extras (RAIJ, 2011). Assim, a escolha do fertilizante a ser aplicado deve levar em consideração sua eficiência agrônômica e seu retorno financeiro, e isso pode ser alcançado com a redução do volume utilizado, com o cálculo do custo de aquisição por ponto de nutriente ou com os ganhos em produtividade.

Entre esses fertilizantes de liberação lenta, ou gradual, espera-se que a utilização de fontes que apresentem uma liberação mais lenta ou controlada dos nutrientes possa reduzir gastos com mão de obra e energia. Os nutrientes encapsulados por resinas especiais, polímeros, os quais são liberados através de estruturas porosas, atingem o sistema radicular das plantas mais lentamente. Essa característica pode garantir a manutenção de um sincronismo entre a liberação de nutrientes ao longo do tempo e as necessidades nutricionais, favorecendo o crescimento e desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA; SCIVITTARO, 2002).

Um polímero é uma macromolécula formada pela repetição de pequenas e simples unidades químicas (monômeros), ligadas covalentemente. Se somente uma espécie de monômero está presente na estrutura do polímero, este é chamado de homopolímero. Se espécies diferentes de monômeros são empregadas, o polímero recebe a denominação de copolímero. Os polímeros são produzidos sinteticamente através da reação de polimerização de seus monômeros (QMCWEB, 2010).

De acordo com Trenkel (2010), a Associação Americana dos Funcionários para Controle de Alimentos e Plantas publicou as seguintes definições gerais para os fertilizantes polimerizados:

- Liberação controlada ou lenta de fertilizantes: Um fertilizante contendo um nutriente de plantas, de forma em que haja atrasos na sua disponibilidade para absorção pelas plantas e uso após a aplicação, ou em que se estenda a sua disponibilidade para a planta significativamente mais do que uma referência, “adubo com nutrientes rapidamente disponíveis”, tais como o nitrato de amônio ou ureia, fosfato de amônio ou cloreto de potássio. Atraso de disponibilidade inicial ou tempo prolongado de disponibilidade contínua pode ocorrer por uma variedade de mecanismos. Incluem solubilidade controlada do material em água por revestimentos semipermeáveis, por oclusão, por materiais de proteína (ou outras formas químicas), por hidrólise lenta de compostos solúveis em água.

- Fertilizante nitrogenado estabilizado: Um fertilizante em que um estabilizador de nitrogênio foi acrescentado. Um estabilizador de nitrogênio é uma substância adicionada a um fertilizante que se estende pelo tempo em que o fertilizante nitrogenado permanece no solo na forma N-ureia ou N-amoniacal.
- Inibidor da nitrificação: Uma substância que inibe a oxidação biológica do N-amoniacal para N-nitrato.
- Inibidor de uréase: Uma substância que inibe a ação hidrolítica na ureia pela enzima uréase.

Os fertilizantes polimerizados podem ser de liberação lenta, fornecendo os nutrientes gradualmente às plantas. Assim, requerem menor frequência de aplicação, diminuindo os gastos com mão de obra para o parcelamento, evitam injúrias às sementes e raízes, decorrentes de aplicações excessivas, e são pouco suscetíveis a perdas, minimizando os riscos de poluição ambiental (KHALAF; KOO, 1983; SHAVIV, 2001).

Nos adubos de liberação lenta, os nutrientes são encapsulados por resinas especiais e são liberados mais lentamente, propiciando uma disponibilidade contínua desses elementos para as plantas. Ao absorver os nutrientes, as raízes causam uma depleção na concentração dos nutrientes, nas proximidades da zona radicular, induzindo um sistema de liberação de nutrientes por osmose (TOMASZEWSKA et al., 2002). Outra forma de encapsulamento dos fertilizantes é feita por hidrogéis como veículos carreadores para liberação controlada (SHAVIV, 2001). Estes liberam água e nutrientes paulatinamente, retardando sua presença no solo. Essas características podem ser válidas em solos com propriedades físicas adversas, como baixa capacidade de retenção de água e excessiva permeabilidade, uma vez que a presença de hidrogel pode modificar tais propriedades (AOUADA et al., 2008).

Revestimentos de polímero podem ser tanto as membranas semipermeáveis ou impermeáveis com minúsculos poros. Os principais problemas na produção de polímero revestindo fertilizantes são as escolhas do material de revestimento e o processo utilizado para aplicar esse revestimento ao grânulo do fertilizante. A liberação do nutriente através de uma membrana de polímero não é significativamente afetada pelas propriedades do solo, tais como pH, salinidade, textura, atividade microbiana, redox potencial, força iônica da solução do solo, mas sim pela temperatura e umidade e permeabilidade do revestimento de polímero. Assim, é possível prever a liberação de nutrientes a partir do revestimento de polímero dos fertilizantes para um determinado

período de tempo (TRENKEL, 2010).

Entre os fertilizantes nitrogenados, há dois grupos classificados como de liberação lenta ou controlada, os por compostos de condensação de ureia e ureia-formaldeídos e os produtos encapsulados ou recobertos. Dentre os produtos de condensação de ureia estão a ureia-formaldeído, a ureia-isobutilaldeído e a ureia-crotonaldeído. A solubilidade desses fertilizantes depende do tamanho da cadeia e da natureza do composto. No solo, esses compostos sofrem degradação química e biológica, liberando N gradualmente às plantas (CANTARELLA, 2007).

Há fertilizantes nitrogenados cuja liberação é retardada por recobrimento ou encapsulamento com diversos materiais. Os fertilizantes mais comuns dessa classe são os formados por grânulos recobertos por polímeros orgânicos termoplásticos ou resinas ou com materiais inorgânicos, como o enxofre (S) elementar (SHAVIV, 2005).

De acordo com Hauck (1985), o fertilizante denominado Osmocote[®] é revestido por resina alquídica em que a água entra pelos poros microscópicos do revestimento. Isso aumenta a pressão osmótica dentro do poro, que é ampliado, e os nutrientes são liberados através do microporo. O revestimento de resina tipo alquídica torna possível controlar satisfatoriamente a taxa de liberação e o tempo. O poliuretano como revestimento também fornece uma boa taxa de controle sobre a duração da liberação dos nutrientes. Entende-se assim que a taxa de liberação de nutrientes a partir de um produto revestido por polímero pode, de forma confiável, ser controlada pela variação do tipo e da urease (TRENKEL, 2010).

O revestimento de fósforo (MAP, Superfosfato Triplo, Superfosfato Simples) pode ser realizado com três camadas de aditivos especiais (tecnologia Kimcoat[®]), que envolvem os grânulos dos fertilizantes. Na última camada, é adicionado um corante para diferenciá-lo do convencional. Os aditivos que revestem a Ureia são diferentes dos aditivos que revestem os fertilizantes fosfatados, pois as perdas são diferentes. Nesse sentido, esse revestimento possibilitará uma liberação gradativa ou controlada dos nutrientes contidos no grânulo, reduzindo, assim, as perdas por fixação (FERREIRA, 2010).

Quando aplicado, o fertilizante fosfatado Kimcoat[®] é hidratado pela água presente no solo, que penetra no grânulo pelos poros. Em seguida, o soluto (MAP, Superfosfato Triplo) se desloca do meio mais para o meio menos concentrado até saturar a solução do solo. Após a saturação, cessa a liberação de soluto até que haja absorção desses nutrientes pelas plantas e um novo equilíbrio químico na solução do

solo. Dessa forma, o sistema radicular se desenvolve e ainda encontra P disponível na solução, aumentando assim sua eficiência de aproveitamento pelas plantas (FERREIRA, 2010).

O fertilizante nitrogenado Kimcoat[®] é constituído por um grânulo de Ureia revestida com três camadas de aditivos especiais, em que cada camada possui sua função. A última camada, dotada de corante (para diferenciá-la do convencional) é constituída por um aditivo de baixa solubilidade que necessita de um volume maior de água para desfazer-se. Essa lâmina de água fica em torno de 10 a 20 mm, fornecida pela chuva ou irrigação, quantidade suficiente para a incorporação do Kimcoat N[®], desfazendo assim a última camada. Nesse caso, havendo água suficiente para incorporá-la, haverá disponibilidade imediata de N (FERREIRA, 2010).

Com isso, podem-se reduzir as perdas de N do Kimcoat N[®] por volatilização. Depois de incorporado, o N na forma de amônia (NH₃) será transformado em íon amônio (NH₄⁺) e estará disponível em sua maior parte na forma amoniacal (NH₄⁺), reduzindo assim as transformações nas formas nítricas (NO₃⁻). Os outros dois polímeros estarão em solução junto ao amônio (NH₄⁺), dificultando assim o seu reconhecimento pelas bactérias nitrificadoras. Com isso, reduz-se a perda por lixiviação, além de reduzir o gasto energético pelas plantas para metabolizar o N na forma amoniacal (NH₄⁺). No caso do nitrato (NO₃⁻), a planta tem um elevado gasto energético para reduzir o N na forma oxidada nitrato (NO₃⁻), para a forma reduzida amônio (NH₄⁺), até chegar à forma de grupamento amina ou amino e ser incorporado nos esqueletos de carbono, sintetizando aminoácidos, proteínas, enzimas e hormônios (FERREIRA, 2010).

2 REFERÊNCIAS

- ANDA: **Anuário estatístico setor de fertilizantes**. São Paulo; 2011. Disponível em <http://www.anda.org.br/estatisticas.aspx>. Acesso em 12 dez. 2011.
- AOUADA, F. A.; et al. Síntese de hidrogéis e cinética de liberação de amônio e potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1643-1649, 2008.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 462p.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F., et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; PAVINATO, A. Manejo da adubação. In: NOVAIS, R.F., et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- COELHO, A.M.; ALVES, V.M.C. Adubação fosfatada na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba: 2003. **Anais...** Piracicaba, Potafos/Anda, 2003. 31p. (CD-ROM).
- DEMATTE, J. L. I. Solos arenosos de baixa fertilidade: Estratégia de manejo. In: SEMINÁRIO AGRO INDUSTRIAL, 5., e SEMANA “LUIZ DE QUEIROZ”, 29., **Anais...** Piracicaba, 1986. (Mimeografado).
- FARDEAU, J.C. Dynamics of phosphate in soils: an isotopic outlook. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v.45, n.2, p.91-100, 1995.
- FERREIRA, E. V. **Vamos economizar fertilizantes mantendo a nutrição das plantas?** 2010. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Newsletter.asp?data=27/05/2010&id=21626&secao=Colunas%20Assinadas>>. Acesso em: 29 ago. 2011.
- FIXEN, P.E.; HALVORSON, A.D. Optimum phosphorus management for small grain production. **Better Crops With Plant Food**, Norcross, GA, v. 75, p. 26-29, 1991.
- HAUCK, R.D. Slow release and bio-inhibitor-amended nitrogen fertilisers. In: **Fertiliser Technology and Use**. (O.P. Engelstad, Ed.), SSSA Madison, p. 293-322, 1985.
- KHALAF, H.A.; KOO, R.C.J. The use of controlled release nitrogen on container grown citrus seedlings. **Citrus e Vegetable Magazine**, Tampa, v.46, n.9, p.10, 1983.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- NYBORG, et al. **Fertilizer N, crop residue, and tillage alter soil C and N content in a decade**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995.
- OLIVEIRA, R.P.; SCIVITTARO, W.B. **Comparação de custos de sistemas de**

adubação para mudas de citros: fontes liberação lenta x solúveis. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico, 74).

QMCWEB. **Revista Eletrônica do Departamento de Química da UFSC**, 2010. Disponível em: < <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/polimeros.html>, 2010>. Acesso em: 29 ago. 2011.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420p.

REETZ JUNIOR, H.F.; FIXEN, P.E. Economics of long-term vs short-term soil fertility management. **Better Crops with Plant Food**, Norcross, GA, v. 76, p. 8-11, 1992.

SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. Low-input technology for managing LA and PVA in tropical America. **Adv. Agron.**, New York, v. 34, p. 279-406, 1981.

SHAVIV, A. Advances in controlled release fertilizers. **Advances in Agronomy**, New York, v. 71, p. 1-49, 2001.

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, Frankfurt, 2005. **Proceedings**. Paris, International Fertilizer Industry Association, 2005. 13 p. (CD-ROM).

SOUSA, D. M. G., LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa, 2004. 416p.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Piracicaba: Potafos, 2003. 16p. (Informações Agronômicas, 102).

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p. 283-315.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G. e LOBATO, E., **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p. 147-168

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. **Fósforo: nutriente essencial para a vida**. Piracicaba: Informações Agronômicas, n.102, p.1-2, 2003.

TOMASZEWSKA, M.; JAROSIEWICZ, A.; KARAKULSKI, K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. **Desalination**, Hopkinton, v.146, p.319-323, 2002.

TRENKEL, M.E. **Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture**. 2ed, Paris: IFA, 2010.

CAPÍTULO 2: Desenvolvimento e produtividade de milho em função da adubação fosfatada utilizando fertilizantes revestidos com polímeros e fertilizantes convencionais.

RESUMO

MACHADO, VANESSA JÚNIA. **Desenvolvimento e produtividade de milho em função da adubação fosfatada, utilizando fertilizantes revestidos com polímeros e fertilizantes convencionais.** 2012. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia³.

Os nutrientes encapsulados por resinas especiais, polímeros, os quais são liberados através de estruturas porosas, atingem o sistema radicular das plantas mais lentamente. A utilização de fontes que apresentam uma liberação mais lenta ou controlada dos nutrientes pode reduzir gastos com mão de obra e energia. O presente trabalho visa avaliar a eficiência agrônômica e econômica de superfosfato triplo convencional e revestidos com polímeros na cultura do milho, sob sistema plantio direto. O experimento de campo foi realizado na área experimental pertencente à empresa Terrena Agronegócios LTDA, localizado em Patos de Minas-MG, em 2011. Os tratamentos foram: controle (sem aplicação de fósforo – P) e doses de 60; 90; 120 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅; sem e com revestimento polimerizado do fertilizante. Foram avaliados a produtividade de grãos, massa de 1000 grãos, fitomassa seca total, os teores de P nos tecidos vegetais, P disponível no solo e avaliação econômica. Os tratamentos que receberam o Superfosfato triplo (SFT) com revestimento polimerizado apresentou produtividade superior aos tratamentos que receberam o SFT convencional. A produtividade de milho obtida com 60 kg ha⁻¹ P₂O₅ de SFT revestido com polímero foi semelhante à obtida com a aplicação de 90 kg ha⁻¹ P₂O₅ de SFT. A massa de 1.000 grãos de milho não apresentou diferença significativa em função da fonte e da dose aplicada. O teor de P disponível no solo foi alterado apenas em função da dose de P aplicada, sendo maior quanto maior a dose. O teor de P nos tecidos foliares não apresentou diferença significativa, tanto para fonte quanto para a dose de fertilizante aplicada. Economicamente, é viável a aplicação de SFT revestido com polímeros até a dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Acima dessa dose, é economicamente viável o uso do SFT convencional.

Palavras-chave: Tecnologia de fertilizantes; fertilizantes polimerizados; viabilidade econômica; *Zea mays* L.

³Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Regina Maria Quintão Lana

ABSTRACT

MACHADO, VANESSA JÚNIA. **Maize development and yield as a function of phosphate fertilization, using polymer-covered or conventional fertilizers.** 2012. 60 f. Dissertation (Master's degree in Agronomy/Soils) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia⁴.

Nutrients encapsulated by special resins, polymers, which are released through pore structures, reach the plant root system slowly. The use of sources presenting slow or controlled nutrient release can reduce expenses with labor and energy. This study evaluated the agricultural and economical efficacy of superphosphate triple conventional or polymer covered in no till maize. The field experiment was done at the experiment area of Terrena Agronegócios Ltd., located in Patos de Minas-MG, in 2011. Treatments were: control (no phosphorus fertilization – P) and P₂O₅ doses of 60, 90, 120 or 150 kg ha⁻¹; with or without fertilizer polymer covering. Grain yield, mass of 1000 grains, total dry matter, P contents in vegetable tissues, available P in soil, and economic evaluation were done. Treatments receiving Superphosphate triple (SFT) with polymer covering presented greater yield than treatments receiving conventional SFT. Maize yield obtained with 60 kg ha⁻¹ P₂O₅ in polymer covered SFT was similar to that obtained with 90 kg ha⁻¹ P₂O₅ in conventional SFT. No significant differences were observed in mass of 1,000 grains as a function of source and dose applied. The content of soil available P was altered only as a function of applied dose, and increased as the dose also increased. No significant differences were observed for P contents in leaf tissue for both source and dose of applied fertilizer. Economically, it is viable to used polymer covered SFT up to the dose of 90 kg ha⁻¹ of P₂O₅. Above this dose, conventional SFT should be used.

Keywords: Fertilizer technology; polymerized fertilizers; economic viability; *Zea mays* L.

⁴Supervisor: Prof Dr. Regina Maria Quintão Lana

2.1 INTRODUÇÃO

No contexto da agricultura brasileira, o cultivo do milho (*Zea mays* L.) representa importante papel socioeconômico, principalmente na alimentação das populações de baixa renda, com consumo estimado na ordem de 18 kg *per capita* ano (CONAB, 2011). O milho é um dos três cereais de maior consumo no mundo: o Brasil destaca-se como o quarto maior produtor mundial, com mais de 55 milhões de toneladas colhidas na safra 2010/11 (CONAB, 2011).

Na região do Cerrado, têm-se alcançado elevadas médias de produtividade, apesar de o solo apresentar na maioria das vezes, em sua solução, baixos teores de fósforo e cátions, e elevados teores de Al^{3+} e acidez. Assim, a alta produtividade do milho se deve principalmente à tecnologia empregada em maquinários, insumos e sementes. Cultivado em praticamente todo o território, 90% da produção concentraram-se nas regiões Sul (43% da produção), Sudeste (25% da produção) e Centro-Oeste (22% da produção). Entretanto, a participação dessas regiões em área plantada e produção vêm se alterando ao longo dos anos. A baixa produtividade média de milho no Brasil (4.500 kg ha^{-1}) não reflete o bom nível tecnológico alcançado por boa parte dos produtores voltados para lavouras comerciais, uma vez que as médias são obtidas nas mais diferentes regiões, em lavouras com diferentes sistemas de cultivos e finalidades (CONAB, 2011).

Nos últimos anos, a cultura do milho no Brasil vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos da produtividade e produção. Entre essas tecnologias, destacam-se as associadas à melhoria na qualidade dos solos, visando a uma produção sustentada. Essa melhoria está geralmente relacionada ao adequado manejo, o qual inclui, entre outras práticas, a rotação de culturas, o plantio direto e o manejo da fertilidade, através da calagem e gessagem, nutrição e adubação do milho (adubação equilibrada com macro e micronutrientes, utilizando fertilizantes minerais) (EMBRAPA, 2008).

Para o milho, em sistemas mais tecnificados, os gastos com correção do solo e adubação representam, em média, de 40% a 45% do custo de produção (COELHO; ALVES, 2003). Os gastos com a adubação fosfatada representam parte considerável do custo das lavouras na região do Cerrado e variam, dependendo da fonte de P utilizada e do prazo considerado para o retorno do investimento (SOUSA et al., 2002).

Os solos de regiões tropicais geralmente apresentam baixos teores de P disponível. Sanchez e Salinas (1981) descreveram que cerca de 80% dos solos agricultáveis da região tropical são deficientes em P. Segundo Raij (1991), solos brasileiros são carentes de P em consequência do material de origem e da forte adsorção específica do elemento com o solo, apresentando apenas 0,1% do total na solução (FARDEAU, 1995).

A produtividade da cultura vai depender, assim, dentre outros fatores, do adequado suprimento de nutrientes, sendo o fornecimento de P via adubação uma prática essencial nos solos brasileiros (STAUFFER e SULEWSKI, 2003).

O manejo da fertilidade do solo em relação ao P deve ser planejado numa perspectiva de longo prazo, uma vez que o custo da adubação e as respostas em produtividade estão sujeitos a muitas incertezas e podem variar de um ano para outro (FIXEN; HALVORSON, 1991; REETZ JUNIOR; FIXEN, 1992; SOUSA; LOBATO, 2003).

Para minimizar as perdas e aumentar a produtividade de forma rentável e sustentável, utilizando fontes de P, foram desenvolvidas fórmulas com liberação gradativa de nutrientes que permitem reduzir as perdas que normalmente ocorrem com a utilização de superfosfatos e MAP. Essa liberação gradativa de nutrientes é propiciada por revestimentos dos fertilizantes fosfatados com polímeros, o que aumenta a produtividade das culturas e a eficiência dos fertilizantes (NYBORG et al., 1995).

Além da eficiência agronômica, o fertilizante deve ser economicamente viável. A adubação é realizada com o aumento da produção e do lucro. Quando se avaliam os fatores econômicos da produção agrícola, o fertilizante é considerado um custo. No entanto, quando se avalia a adubação, esta passa a ser fator de maior interesse, visto que pode gerar retornos extras (RAIJ, 2011). Assim, a escolha do fertilizante a ser aplicado deve levar em consideração sua eficiência agronômica e seu retorno financeiro, seja na redução do volume utilizado, seja no custo de aquisição por ponto de nutriente, seja no ganho em produtividade.

Dessa forma, o presente trabalho visa avaliar a eficiência agronômica e econômica do Superfosfato triplo convencional e o revestido com polímeros na cultura do milho, sob sistema plantio direto em Patos de Minas, região do Alto Paranaíba em Minas Gerais.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Local do experimento

O experimento de campo foi realizado na área experimental da empresa Terrena Agronegócios Ltda, localizada em Patos de Minas-MG (18°38'S, 46°27'W), em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso (EMBRAPA, 2006), em sistema plantio direto, de 23 dezembro de 2010 a 20 abril de 2011. A região apresenta um clima tropical com estação seca (Classificação climática de Köppen-Geiger: Aw), cujos dados meteorológicos no período de condução do experimento apresentam-se na FIGURA 2.1. As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), no município de Patos de Minas – MG, e no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Uberlândia.

Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras do solo, na profundidade de 0 a 10 cm, para análise de caracterização química e física, determinando os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Al^{3+} trocáveis; acidez potencial por acetato de cálcio; matéria orgânica total (MOS) por titulometria; P-assimilável por Mehlich-1e pH em água; P-remanescente, seguindo metodologia de EMBRAPA (2009); e determinação da textura do solo através da determinação das quantidades de areia, silte e argila, pelo método da pipeta, seguindo metodologia descrita por Ferreira e colaboradores (2003), conforme TABELA 2.1.

TABELA 2.1. Caracterização química e matéria orgânica do solo, na profundidade de 0 a 10 cm.

| pH | M.O. ¹ | P-rem ² | P | K | Ca | Mg | Al | H + Al | SB ⁴ | CTC (T) ³ | V ⁵ | m ⁶ |
|------|----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|------|------|------|--------|-----------------|----------------------|----------------|----------------|
| Água | dag kg ⁻¹ | mgdm ⁻³ | mgdm ⁻³ | cmolcdm ⁻³ | | | | | | | % | |
| 5,94 | 2,97 | 9,49 | 4,42 | 67,33 | 1,62 | 0,76 | 0,05 | 2,78 | 2,55 | 5,33 | 48,04 | 2,08 |

¹Matéria orgânica; ² P-meh-1; ³Capacidade de troca de cátions a pH = 7,0 (Solução tampão SMP a pH 7,5); ⁴Soma de bases; ⁵Saturação do complexo de troca por bases; ⁶Saturação do complexo de troca por alumínio.

2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4x2+1, constituídos de tratamentos com quatro doses de fósforo, ausência e presença de revestimento do fertilizante, e controle, em quatro blocos, em um total de 36 parcelas.

Os tratamentos foram: controle (sem aplicação de P) e doses de 60; 90; 120 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅; com e sem revestimento polimerizado.

As fontes de fósforo utilizadas foram o Superfosfato triplo com 45% de P₂O₅ (37% de P₂O₅ solúvel em H₂O, 41% solúvel em ácido cítrico ou citrato neutro), e Superfosfato Triplo revestido com 43% de P₂O₅, com revestimento formado por três camadas de polímeros (tecnologia Kimcoat[®]).

As parcelas experimentais foram constituídas por uma área de 25 m², sendo 10 m de comprimento por 2,5 m de largura, em que as duas linhas laterais e 0,5 m em cada extremidade foram considerados como bordadura, resultando em uma área útil de 9 m². A semeadura foi realizada manualmente em 23 de dezembro de 2010, com espaçamento de 0,5 m entre linhas e densidade de quatro plantas m⁻¹ linear, totalizando uma população final de aproximadamente 75.000 plantas ha⁻¹, utilizando o híbrido precoce Agrocere[®] AG 8061 YG. A colheita foi realizada em 25 de abril de 2011.

A adubação nitrogenada foi de 160 kg ha⁻¹, utilizando ureia, sendo metade da dose na semeadura e o restante em cobertura 30 dias após o plantio. Como dose de potássio, foram fornecidos 90 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando KCl (60% K₂O) na semeadura, conforme recomendação de Miranda e colaboradores (2007). Como fonte de micronutrientes, foram utilizados 4 kg do fertilizante FH Micro Total[®], com 0,5 Zn + 0,1 B + 0,2 Mn. Foi utilizado o herbicida Soberan[®], na dose de 0,250 L ha⁻¹, 20 dias após o plantio. Não foram utilizadas aplicações de fungicidas e inseticidas.

Durante o período experimental, a temperatura média, máxima e mínima, e a precipitação média estão descritas na FIGURA 2.1, obtidas na estação meteorológica de Patos de Minas (INMET, 2011). Houve incidência de chuva nos 35 dias após a semeadura, permanecendo nublado em sua maioria, o que diminuiu a incidência luminosa na área. Após esse período, houve um veranico de 30 dias, coincidindo com a época de enchimento dos grãos (FIGURA 2.1).

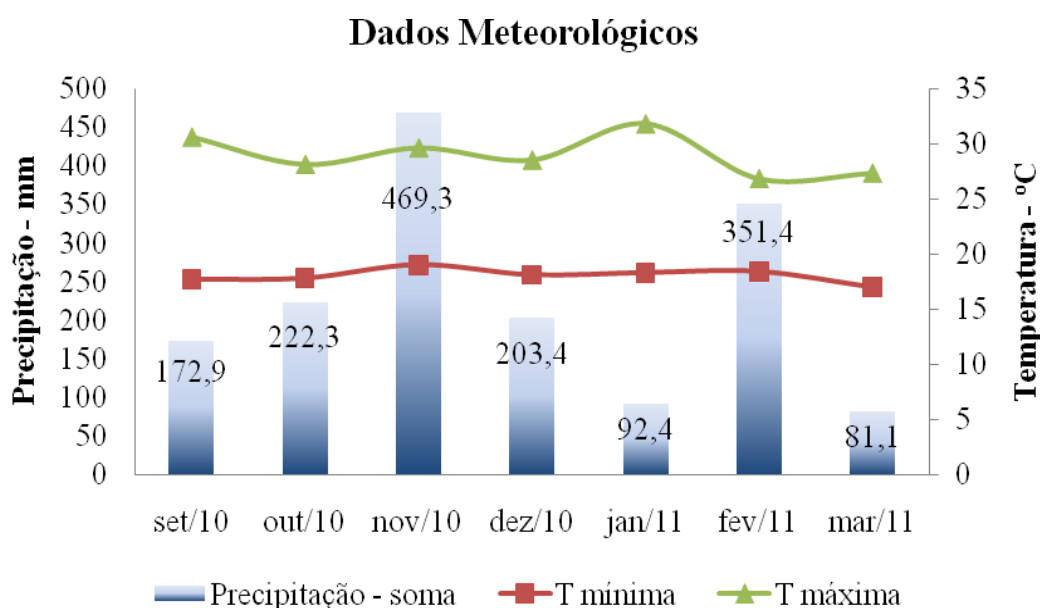


FIGURA 2.1. Precipitação pluvial média (mm). Fonte: <http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario?uf=MG>. Estação meteorológica: Patos de Minas (INMET).

2.2.3 Produtividade de grãos

Avaliou-se a produtividade obtida aos 120 dias após o plantio, na época considerada ideal para a colheita, quando o milho estava com umidade próxima a 15%. Foi colhida toda a área útil da parcela, sendo esta as três fileiras centrais, eliminando-se 0,5 m das bordas iniciais e finais de cada parcela. Após a coleta, realizou-se o debulhamento das espigas e a pesagem da produção, com uso de balança eletrônica com precisão de 0,05 casas decimais.

2.2.4 Massa de 1000 grãos

Após a colheita, as espigas foram debulhadas e mediu-se a umidade dos grãos (15% de umidade). Os grãos foram secos à umidade padrão de 13% e pesados à massa de 1000 grãos, de acordo com as Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

2.2.5 Fitomassa Seca Total

Para a determinação de fitomassa seca de folha, caule e órgãos reprodutivos (pendão), foram coletadas duas plantas por parcela, quando estavam no estágio de V_R , com início da emissão do pendão. Cada órgão da planta foi acondicionado, separadamente, em sacos de papel, e a secagem foi realizada utilizando-se o método

padrão, em estufa com circulação de ar forçada e com temperatura de 65°C, até peso constante. Após essa etapa, cada planta foi pesada em balança eletrônica, obtendo a fitomassa seca total, de acordo com o descrito em EMBRAPA (2009).

2.2.6 Avaliação dos teores de P nos tecidos vegetais

Foram coletadas duas folhas, opostas e abaixo da espiga, por parcela, quando do aparecimento da inflorescência feminina da planta, conforme Malavolta e colaboradores (1997). As folhas foram lavadas em água destilada e corrente, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C por 72 horas, até que o peso ficasse constante. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho do tipo Willy com peneira de 0,5 mesh. Para determinação dos teores de P, foi realizada a extração com solução digestora nitroperclórica, e o extrato foi avaliado para determinação dos teores de P em espectrofotômetro de absorção molecular, com comprimento de onda de 660 nm, por meio de reação com ácido ascórbico, segundo EMBRAPA (2009).

2.2.7 Avaliação de P disponível no solo

Em junho de 2011, 180 dias após a aplicação dos fertilizantes fosfatados, fez-se a amostragem de sete pontos do solo na linha central de semeadura, deixando um metro de bordadura de cada lado das parcelas, e essas amostras foram levadas ao laboratório para determinação do teor de P disponível, por Mehlich-1. As amostras foram retiradas no local de aplicação do fertilizante para avaliação do residual deixado por ele, seguindo metodologia proposta por EMBRAPA (2009).

2.2.8 Avaliação econômica

A avaliação da eficiência econômica foi feita após determinada a estimativa de produtividade de cada tratamento, em que se fez um comparativo do valor gasto com a compra do fertilizante e o valor obtido com a produção de grãos, considerando os demais custos constantes.

Para cada tratamento, em função das doses e fontes de fertilizantes, foi calculado o faturamento bruto de acordo com a produção de milho obtida. A partir dos valores dos custos dos fertilizantes, foi determinada a dose de melhor retorno econômico. Como base de valores, utilizou-se: saca de 60 kg de milho – R\$ 27,00, kg de P do SFT – R\$

2,65, e o kg de P do SFT revestido – R\$ 3,58. O levantamento de preços foi realizado em 12 de agosto de 2011, no município de Patos de Minas, Minas Gerais.

2.2.9 Índice de eficiência agronômica

As combinações de fontes e doses de P foram comparadas em relação a sua eficiência agronômica na produtividade de grãos de milho (Prod.) (NOVAIS; SMYTH, 1999). Considerou-se, em cada fonte e dose dos fertilizantes, o Superfosfato Triplo convencional na dose de 90 kg ha⁻¹ como referência para aplicação da fórmula:

$$IEA = \frac{\text{Prod}_{\text{fonte}} - \text{Prod}_{\text{controle}}}{\text{Prod}_{\text{padrão}} - \text{Prod}_{\text{controle}}} \times 100$$

IEA = Índice de Eficiência Agronômica

2.2.10 Análise estatística

Os dados referentes à produtividade, massa de 1000 grãos, fitomassa seca total, teor de P nos tecidos foliares e teor de P disponível no solo em função da fonte e dose do fertilizante fosfatado foram submetidos à análise de variância, ajustando modelos de regressão dos parâmetros avaliados em relação aos tratamentos, utilizando o software Sisvar[®] (FERREIRA, 2000). As médias, ainda, foram comparadas ao tratamento adicional pelo teste Dunnett[®] a 0,05 de significância, com o auxílio do programa ASSISTAT[®] versão 7.5 beta (SILVA, 2007).

A partir dos modelos ajustados foram estimados o custo do uso dos fertilizantes de forma diferenciada, de acordo com sua concentração de P₂O₅, e o valor praticado no mercado de Patos de Minas, Minas Gerais.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre os fatores fonte e dose de P. Os tratamentos que receberam o Superfosfato Triplo (SFT) com revestimento polimerizado apresentaram produtividade superior aos tratamentos que receberam o SFT convencional (TABELA 2.2, FIGURA 2.2).

TABELA 2.2. Produtividade (kg ha^{-1}), massa de 1000 grãos (g), fitomassa seca total (g), teores de fósforo foliar (g kg^{-1}) e teor de P disponível no solo, observados em milho cultivado em função da aplicação de doses de P_2O_5 utilizando Superfosfato Triplo revestido com polímero (POL) e sem revestimento de polímero (SFT), em sistema plantio direto.

| Características avaliadas | Fontes | Doses de P_2O_5 , kg ha^{-1} | | | | | Média |
|---------------------------------|--------|---|----------|----------|---------------------------------|----------|-----------------------|
| | | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | |
| ----- kg kg^{-1} ----- | | | | | | | |
| Produtividade | SFT | 2748,85 | 2746,44b | 3423,19a | 3509,69a | 3659,07b | 3241,35b ¹ |
| | POL | | 3325,80a | 3446,89a | 3605,48a | 4165,09a | 3434,52a |
| ----- g ----- | | | | | | | |
| Massa 1000 grãos | SFT | 295,42 | 280,22 | 277,25 | 274,01 | 287,17 | 286,97a |
| | POL | | 302,81 | 285,38 | 317,51 | 307,93 | 297,66a |
| ----- g ----- | | | | | | | |
| FST | SFT | 112,15 | 139,27 | 159,22 | 153,37 | 141,97 | 141,20a |
| | POL | | 160,00 | 166,55 | 178,02 | 166,60 | 156,66a |
| ----- g kg^{-1} ----- | | | | | | | |
| PFoliar | SFT | 3,00 | 4,25 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,05a |
| | POL | | 4,75 | 4,75 | 4,50 | 4,50 | 4,10a |
| ----- mg dm^{-3} ----- | | | | | | | |
| P disp solo | SFT | 9,54 | 24,60 | 30,36 | 50,05 | 92,44 | 42,68a |
| | POL | | 28,15 | 37,30 | 52,94 | 94,06 | 43,11a |
| CV% _{Produt} = 5,67 | | DMS _{TukeyProdut} = | 122,86 | | DMS _{DunnettProdut} = | 392,29 | |
| CV% _{M1000} =14,07 | | DMS _{Tukey M1000} = | 26,68 | | DMS _{Dunnett M1000} = | 88,10 | |
| CV% _{FST} =22,99 | | DMS _{Tukey FST} = | 22,21 | | DMS _{Dunnett FST} = | 72,10 | |
| CV% _{PFoliar} = 25,44 | | DMS _{TukeyPFoliar} = | 0,67 | | DMS _{DunnettPFoliar} = | 1,78 | |
| CV% _{PSolo} = 53,94 | | DMS _{TukeyPSolo} = | 15,02 | | DMS _{DunnettPSolo} = | 49,63 | |

¹médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância.

Para a dose de $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, o tratamento com o fertilizante revestido resultou em uma produtividade 21% maior que o fertilizante convencional. Na dose de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o incremento foi de 13% para as plantas que receberam o SFT revestido. Nas demais doses, o incremento de produtividade foi menor que 5%, não havendo

diferença significativa entre as fontes utilizadas quando aplicado 90 e 120 kg ha⁻¹. Na média, o SFT revestido com polímeros apresentou produtividade superior ao SFT convencional (TABELA 2.2).

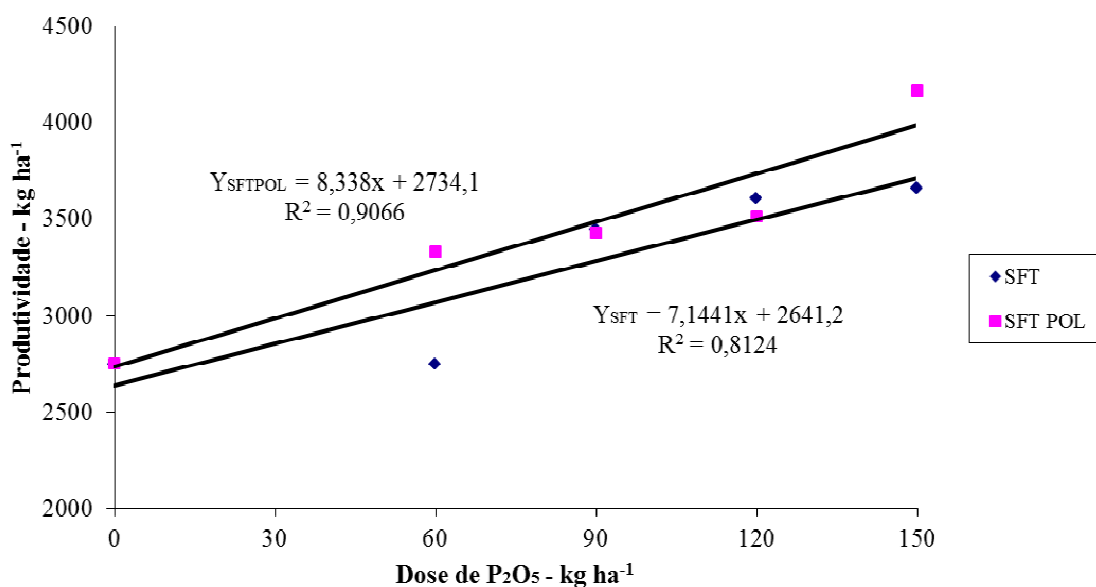


FIGURA 2.2. Produtividade de milho em função das doses de Superfosfato Triplo convencional (SFT) e revestido com polímeros (SFT POL).

Entretanto, Valderrama e colaboradores (2011) não encontraram diferença de produtividade em milho irrigado, sob plantio direto, em função da fonte ou dose de P aplicados, utilizando os mesmos fertilizantes deste trabalho.

As doses de P em adubação de milho, utilizando o Superfosfato Triplo convencional, em geral influenciam significativamente a produção de grãos de milho (SOUZA et al. 1998). Lucena e colaboradores (2000) verificaram incremento na produtividade de grãos de milho até a doses de 197 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicada no sulco de semeadura. Por sua vez, Prado e colaboradores (2001) observaram aumento linear na produtividade de milho, com o aumento das doses de P de 0 a 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicadas em sulco de semeadura.

Os resultados obtidos na massa de 1.000 grãos de milho não apresentaram diferença significativa em função da fonte e, tampouco, da dose aplicada (TABELA 2.2), indicando que o aumento de produtividade encontrado neste trabalho não se deu em função do aumento do peso dos grãos.

Valderrama e colaboradores (2011) também não encontraram diferença

significativa na massa de 1.000 grãos em trabalho realizado, utilizando três doses de SFT com e sem revestimento polimerizado, dados que corroboram os encontrados neste trabalho.

A fitomassa seca total das plantas de milho não sofreu alteração significativa em função da fonte de P utilizada, sendo não significativo ao uso do SFT convencional ou com revestimento de polímeros. Houve interação apenas em função da dose aplicada, sendo a dose de 120 kg ha⁻¹ a que produziu maior massa seca total das plantas (FIGURA 2.3).

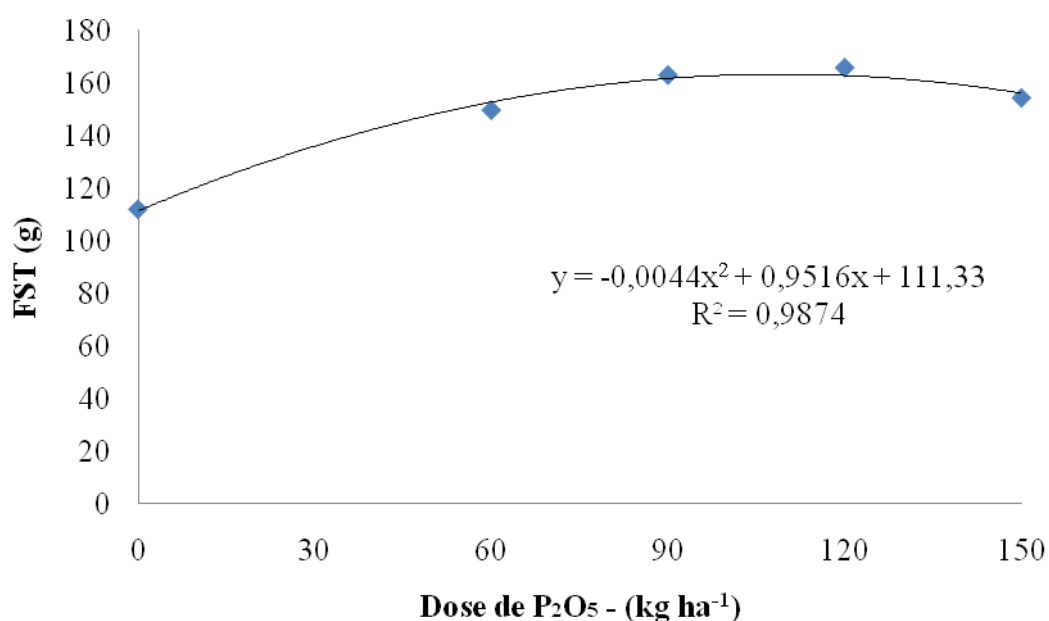


FIGURA2.3. Fitomassa Seca Total (FST) de plantas de milho em função das doses de Superfosfato Triplo, média de convencional e revestido com polímeros.

Da mesma forma, Melo (2005) observou interação positiva para a produção de fitomassa seca da parte aérea de capim-Marandu após aplicação de doses crescentes de P utilizando como fonte de P₂O₅ o Superfosfato Triplo sem revestimento.

Corrêa e colaboradores (2004) observaram que a massa de matéria seca da parte aérea da soja aumentou em função das doses de fósforo, sendo a dose de 150 kg ha⁻¹ a mais eficiente e a que mais favoreceu o crescimento da soja.

O aumento das doses de P₂O₅ aplicados nos tratamentos não gerou diferença significativa nos teores de P nos tecidos foliares. É o que se observou para a fonte, sendo indiferente o uso do SFT com e sem revestimento (TABELA 2.2).

Entretanto, Miola et al. (1999) constataram aumento linear no teor do P na parte

aérea do milho e indicaram que essa tendência de aumento pouco se relaciona com outros fatores do solo, tais como textura e tipos de argila, e sim com a disponibilidade do nutriente, ou seja, o aumento de sua concentração na solução do solo.

Valderrama e colaboradores (2011), em trabalho com dose de 0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com SFT com e sem revestimento, também encontraram resposta significativa no teor de P foliar em função das doses de P aplicadas, encontrando o ponto de máxima com a dose de 127 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Esses autores também não encontraram diferença quanto à fonte aplicada. Prado e colaboradores (2001), trabalhando com doses de 0, 45, 67,5, 90, 112,5 e 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e modos de aplicação de P no milho, observaram efeito positivo para os teores de P foliar, indicando que a dose de P aplicada influi no teor de P foliar.

O teor de P disponível no solo não apresentou diferença significativa em função da fonte aplicada, indicando que, independente da fonte aplicada, o teor de P disponível no solo foi alterado apenas em função da dose aplicada, sendo maior quanto maior a dose (TABELA 2.2, FIGURA2.4). Ao final dos 180 dias, observa-se que onde se aplicou a maior dose de P₂O₅ há maior teor desse nutriente no solo, independentemente da fonte utilizada.

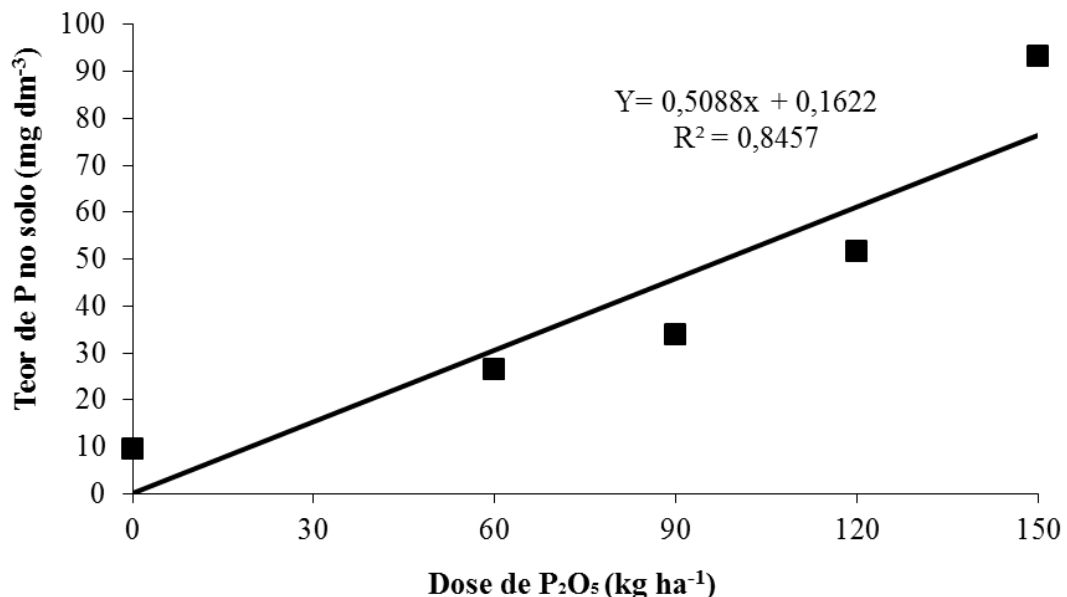


FIGURA2.4. Teor de P disponível no solo, 180 dias após aplicação de Superfosfato Triplo, média de convencional e revestido com polímeros.

Quando comparada à análise de solo, antes da aplicação dos fertilizantes

(TABELA 2.1), a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ – independente da fonte do Superfosfato Triplo utilizada – acresceu em 21,15 mg dm⁻³ o teor de P disponível, atingindo o valor de 30,69 mg dm⁻³, o que corresponde a um incremento de 300%. Na dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o valor obtido foi de 45,95 mg dm⁻³, incremento de 480%. Para a dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o valor observado foi de 61,21 mg dm⁻³, valor 640% maior que o inicial. Para a dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, obteve-se 76,48 mg dm⁻³, incrementando em oito vezes o teor de P no solo. Esses valores expressivos se dão em função da coleta do solo na linha de semeadura, onde houve aplicação do fertilizante.

Lana e outros (2004), em trabalho avaliando diferentes fontes de P em cultivo de alface, também observaram um incremento no teor de P disponível no solo após o cultivo, com uso do Superfosfato Triplo convencional, corroborando os dados obtidos no presente trabalho.

Mesmo sendo maior a produtividade obtida com o uso das fontes revestidas (FIGURA 2.2), atualmente o custo do kg de P no fertilizante revestido é 35% maior que no fertilizante convencional. Dessa forma, o custo de produção do milho em função da fonte de P utilizada foi maior nos tratamentos em que se aplicou o fertilizante revestido, independente da dose utilizada (TABELA 2.3).

TABELA 2.3. Avaliação econômica da produção de milho em função de doses de Superfosfato Triplo convencional e revestido com polímeros, segundo modelo proposto por Raij (2011).

| Dose kg ha ⁻¹ | Produtividade (kg ha ⁻¹) | | | Custo do fertilizante (R\$) | | | Custo por kg produzido (R\$) | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|------------------|------------------|-----------------------------|--------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| | SFT ¹ | POL ² | DIF ³ | Custo SFT | Custo POL | DIF ³ Custo | PV ⁴ SFT | PV ⁴ POL | DIF ³ PV ⁴ |
| 60 | 3.069,85 | 3.234,38 | 164,53 | 159,00 | 214,80 | (55,80) | 19,31 | 15,06 | (4,25) |
| 90 | 3.284,17 | 3.484,52 | 200,35 | 238,50 | 322,20 | (83,70) | 13,77 | 10,81 | (2,96) |
| 120 | 3.498,49 | 3.734,66 | 236,17 | 318,00 | 429,60 | (111,60) | 11,00 | 8,69 | (2,31) |
| 150 | 3.712,82 | 3.984,80 | 271,99 | 397,50 | 537,00 | (139,50) | 9,34 | 7,42 | (1,92) |

| Dose kg ha ⁻¹ | Lucro Bruto (R\$) | | | Lucro bruto – Fertilizante (R\$) | | |
|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|--|--|------------------|
| | LB ⁵ SFT ¹ | LB ⁵ POL ² | DIF ³ | LB ⁵ – CSFT ⁶ | LB ⁵ – CPOL ⁷ | DIF ³ |
| 60 | 1.381,43 | 1.455,47 | 74,04 | 1.222,43 | 1.240,67 | 18,24 |
| 90 | 1.477,88 | 1.568,03 | 90,16 | 1.239,38 | 1.245,83 | 6,46 |
| 120 | 1.574,32 | 1.680,60 | 106,28 | 1.256,32 | 1.251,00 | (5,32) |
| 150 | 1.670,77 | 1.793,16 | 122,39 | 1.273,27 | 1.256,16 | (17,11) |

¹Superfosfato Triplo; ²Superfosfato Triplo revestido com polímeros; ³Diferença de custo entre Superfosfato Triplo revestido menos Superfosfato Triplo; ⁴Retorno em produção por R\$ 1,00 investido, em função do custo do fertilizante; ⁵Lucro Bruto; ⁶Lucro bruto menos o custo do Superfosfato Triplo; ⁷Lucro bruto menos o custo do Superfosfato Triplo com revestimento de polímeros.

No entanto, como a produtividade estimada obtida com a aplicação do SFT revestido foi maior em todas as doses em relação ao SFT convencional, faz-se necessária a avaliação da relação custo benefício, a fim de se obter a dose de fertilizante de maior eficiência econômica.

Deve-se considerar, pois, o maior custo do fertilizante revestido, visando obter a melhor relação de ganho com o seu uso. Para tanto, quando deduzido o custo com fertilizantes do lucro bruto obtido, observa-se que até a dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, quando utilizado o SFT revestido com polímeros, a maior produtividade garantiu maior retorno econômico. Acima dessa dose, observou-se que o custo com fertilizante não garante aumento do lucro obtido, sendo o retorno negativo maior quanto maior a dose aplicada, 120 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente (TABELA 2.3).

Economicamente tornou-se mais viável a aplicação de doses acima de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com o uso do SFT convencional. Apesar de proporcionar menor produtividade em relação ao SFT polimerizado, apresentou menor investimento, gerando ao final um ganho financeiro maior (TABELA 2.3).

Os índices de eficiência agrônômicos (IEA) das doses em função da fonte do fertilizante fosfatado podem ser observados na TABELA 2.4. Pode-se observar que as doses de 120 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de SFT convencional são mais eficientes que a dose de 90 kg ha⁻¹ desse mesmo fertilizante. Quando comparado ao SFT revestido por polímeros, observou-se que a dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ é 14,15% menor que a mesma dose do SFT convencional. As doses de 120 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fornecidos pelo SFT revestido se mostraram mais eficientes que a dose considerada padrão. A dose de 120 kg ha⁻¹ foi mais eficiente em 7,45% quando comparada à mesma dose do fertilizante sem revestimento. Na dose de 150 kg ha⁻¹, o índice de eficiência foi semelhante para as duas fontes.

Scivittaro e colaboradores (1997), comparando doses crescentes de fontes sólidas e líquidas de fertilizantes fosfatados (0, 70, 140 e 210 mg kg⁻¹ de P₂O₅ usando as fontes ácido fosfórico, suspensão coloidal 10-30-00, fosfato monoamônio – MAP e Superfosfato Triplo), observaram que os índices de eficiência agrônômica (IEA) e equivalente em superfosfato triplo, usando os parâmetros produção de matéria seca e P absorvido pelas plantas, foram crescentes em função do aumento das doses aplicadas, promovendo aumentos lineares na produção de fitomassa seca e na quantidade de fósforo absorvido pelas plantas de milho.

TABELA 2.4. Índice de eficiência agrônômica (%) das fontes de fósforo em função das doses aplicadas sobre a produtividade de milho, em relação a dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, de Superfosfato Triplo convencional, considerado padrão (100%).

| Dose kg ha ⁻¹ | Fonte | |
|-----------------------------|------------------|----------------------|
| | SFT ¹ | SFT POL ² |
| 60 | 41,86 | 44,34 |
| 90 | 100,00 | 85,85 |
| 120 | 117,86 | 127,35 |
| 150 | 169,52 | 168,85 |

¹Superfosfato Triplo; ²Superfosfato Triplo revestido com polímeros.

2.4. CONCLUSÕES

Os tratamentos que receberam o SFT com revestimento polimerizado apresentaram produtividade superior aos tratamentos que receberam o SFT convencional. A produtividade de milho obtida com 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de SFT revestido foi semelhante à obtida com a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de SFT convencional.

A massa de 1.000 grãos de milho e o teor de P nos tecidos foliares não apresentaram diferença significativa em função da fonte e da dose aplicada.

O teor de P disponível no solo foi incrementado apenas em função da dose de P aplicada.

Economicamente, é viável a aplicação de SFT revestido com polímeros até a dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Acima dessa dose, é economicamente viável o uso do SFT convencional.

Para os índices de eficiência agrônômica, as doses de 120 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de SFT convencional e do revestido por polímeros são mais eficientes que a dose de 90 kg ha⁻¹ do SFT convencional, porém, não apresenta a melhor relação custo benefício.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: LANARV, SNDA, 1992. 365p.

COELHO, A.M. e ALVES, V.M.C. Adubação fosfatada na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 2003. **Anais...** Piracicaba: Potafos/Anda, 2003. 31p. (CD-ROM).

CONAB. **Levantamento de safra de milho 2010/2011**: décimo primeiro levantamento. BRASIL. Ministério. CONAB. 2011. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em 22 ago. 2011.

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, dez. 2004.

EMBRAPA. **Embrapa Milho e Sorgo**: EMBRAPA, 2008. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br>>. Acesso em 05 mar. 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2009. 627p.

FARDEAU, J.C. Dynamics of phosphate in soils: an isotopic outlook. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v.45, n.2, p.91-100, 1995.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258.

FERREIRA, M. M.; et al. **Física do Solo**. Lavras: Editora UFLA, 2003. 79p. (Texto Acadêmico, 29)

FIXEN, P.E.; HALVORSON, A.D. **Optimum phosphorus management for small grain production**. Better Crops With Plant Food, v. 75, p. 26-29, 1991.

LANA, R.M.Q.; et al. Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.3, p. 525-528, jul-set 2004.

LUCENA, L. F. C.; et al. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 334-337, 2000.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MELO, S. P. **Silício e fósforo para estabelecimento de capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2005. 110f. (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba.

MIOLA, G.R.; et al. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.5, p.813-819, 1999.

MIRANDA, G.V.; et al. **101 Culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800 p.

NOVAIS, R.F., SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa. 1999. 399p.

NYBORG, et al. **Fertilizer N, crop residue, and tillage alter soil C and N content in a decade: Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995.**

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 83- 90, 2001.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420p.

REETZ JUNIOR, H.F. e FIXEN, P.E. Economics of long-term vs short-term soil fertility management. **Better Crops With Plant Food**, Norcross, GA, v. 76, p.8-11, 1992.

SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. Low-input technology for managing LA and PVA in tropical America. **Adv. Agron.**, New York, 34:279-406, 1981.

SCIVITTARO, W.B; BOARETTO A.E.; MURAOKA, T. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados fluidos e sólidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p.505-511, 1997.

SILVA, F.A.S. **ASSISTAT Versão 7.9 beta**. 2007. Disponível em: <<http://assistat.sites.uol.com.br/>>. Acesso em: 20 out. 2011.

SOUSA, D.M.G; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Piracicaba, Potafos, 2003. 16p. (Informações Agrônômicas, 102).

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E., (Eds.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2002. p.147-168

SOUZA, E. C. A.; et al. Respostas do milho a adubação com fósforo e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 7, p. 1031-1036, 1998.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. **Fósforo: nutriente essencial para a vida**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.102, p.1-2, 2003.

VALDERRAMA, M.; et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, abr./jun. 2011.

CAPÍTULO 3: Produtividade de milho em função de adubação nitrogenada em cobertura.

RESUMO

MACHADO, VANESSA JÚNIA. **Produtividade de milho em função de adubação nitrogenada em cobertura.** 2012. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia⁵.

A utilização de fontes que apresentam uma liberação mais lenta ou controlada dos nutrientes pode reduzir gastos com mão de obra e energia. Nos adubos de liberação lenta, os nutrientes são encapsulados por resinas especiais e liberados mais lentamente, propiciando uma disponibilidade contínua desses elementos para as plantas. O presente trabalho visa avaliar a eficiência agrônômica e econômica de fontes de fertilizantes nitrogenados convencionais e revestidos com polímeros na cultura do milho, sob sistema plantio direto. Os experimentos de campo foram realizados na área experimental da empresa Terrena Agronegócios LTDA, e na Fazenda Experimental Sertãozinho, pertencente à EPAMIG, ambas localizadas em Patos de Minas-MG. Os tratamentos foram: adicional controle (sem aplicação de nitrogênio (N) em cobertura), doses de 60; 90; 120; e 150 kg ha⁻¹ de N; com e sem revestimento polimerizado, com uma aplicação em cobertura no estágio V₄ ou duas aplicações em cobertura nos estádios V₄ e V₈. Foram analisados a produtividade de grãos, massa de 1.000 grãos, os teores de N nos tecidos foliares e avaliação econômica. Não houve diferença entre as fontes Ureia convencional e com revestimento de polímero e as doses de N aplicadas em cobertura, nas lavouras de milho avaliadas, tanto para produtividade quanto para a massa de 1.000 grãos. Não houve diferença na produtividade e massa de mil grãos entre o parcelamento das doses de N e a aplicação em uma única dose do fertilizante nitrogenado em cobertura. A aplicação de ureia convencional proporcionou melhor retorno econômico nos dois experimentos realizados.

Palavras-chave: Ureia; fertilizante polimerizado; nitrogênio; parcelamento de N; *Zea mays* L.

⁵Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Regina Maria Quintão Lana

ABSTRACT

MACHADO, VANESSA JÚNIA. **Maize yield as a function of nitrogen side dressing fertilization.** 2012. 60 f. Dissertation (Master's degree in Agronomy/Soils) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia⁶.

The use of sources presenting slow or controlled release of nutrients can reduce expenses with labor and energy. Nutrients in slow release fertilizers are encapsulated by special resins and released slowly, resulting in a continuous availability of such nutrients to plants. This study evaluated the agricultural and economic efficacy of sources of conventional or polymer covered nitrogen fertilizers in no-till maize. The experiments were done in experiment area of Terrena Agronegócios Ltd., and at the Fazenda Experimental Sertãozinho, of EPAMIG, both of them located in Patos de Minas-MG. Treatments were: additional control (no side dressing with nitrogen (N)), doses of 60, 90, 120, or 150 kg ha⁻¹ N; with or without polymer covering, with one side dressing at stage V₄ or two side dressings at stages V₄ and V₈. Grain yield, mass of 1,000 grains, N contents in leaf tissue were analyzed, and an economic evaluation was done. No differences were observed between conventional or polymer covered urea sources, and the N doses applied as side dressing in maize, both for yield and for mass of 1,000 grains. The same result was found for splitting N doses or applying the side dressing once. Conventional urea application resulted in greater economic return in both experiments.

Keywords: Urea; polymerized fertilizer; nitrogen; nitrogen splitting; *Zea mays* L.

⁶Supervisor: Prof Dr. Regina Maria Quintão Lana

3.1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um elemento empregado em grandes quantidades na agricultura, visto ser constituinte de vários compostos em plantas e extraído em grandes quantidades por estas (CANTARELLA, 2007). Nos últimos anos, a cultura do milho, no Brasil, vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos da produtividade e da produção.

Nitrato (NO_3) e amônio (NH_4) são as maiores fontes de N inorgânico absorvidos pelas plantas, contribuindo com cerca de 80% do total de cátions e ânions absorvido pelas plantas. O NH_4 é incorporado em compostos orgânicos das raízes, enquanto o NO_3 é prontamente móvel no xilema e pode ser acumulado nos vacúolos das raízes, folhas e órgãos de reserva. Para ser incorporado a estruturas orgânicas e cumprir suas funções de essencialidade como nutriente, o NO_3 deve ser reduzido a NH_4 , reação mediada por duas enzimas, a nitrato redutase e a nitrito redutase (MARSCHNER, 1995).

Os fertilizantes nitrogenados são produzidos principalmente a partir de combustíveis fósseis não renováveis e, quando usados em grandes quantidades ou em condições inadequadas, o N pode ser perdido por volatilização da amônia ou lixiviação do nitrato. Uma forma de aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados é o uso de fertilizantes de liberação lenta ou controlada (CANTARELLA, 2007).

Para minimizar as perdas e aumentar a produtividade de forma rentável e sustentável utilizando fontes de N, foram desenvolvidas fórmulas com liberação gradativa de nutrientes, que permitem reduzir as perdas que normalmente ocorrem com a utilização de ureia. Essa liberação gradativa de nutrientes é obtida pelo revestimento do fertilizante nitrogenado com polímeros, aumentando a produtividade das culturas e a eficiência dos fertilizantes (NYBORG et al., 1995).

Além da eficiência agrônômica, o fertilizante deve ser economicamente viável. A adubação é realizada para o aumento da produção e do lucro. Quando se avaliam os fatores econômicos da produção agrícola, o fertilizante é considerado um custo, mas quando se avalia a adubação, esta passa a ser fator de maior interesse, visto poder gerar retornos extras (RAIJ, 2011). Assim, a escolha do fertilizante a ser aplicado deve levar em consideração sua eficiência agrônômica e seu retorno financeiro, seja na redução do volume utilizado, seja no custo de aquisição por ponto de nutriente, seja no ganho em produtividade.

Dessa forma, o presente trabalho visa avaliar a eficiência agrônômica e

econômica de fontes de fertilizantes nitrogenados convencionais e revestidos com polímeros na cultura do milho, primeira e segunda safras, sob sistema plantio direto, em Patos de Minas, região do Alto Paranaíba em Minas Gerais.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Locais dos experimentos

Os experimentos de campo foram realizados em áreas experimentais da empresa Terrena Agronegócios LTDA, e na Fazenda Experimental Sertãozinho, da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG, Unidade Triângulo e Alto Paranaíba, ambas localizadas em Patos de Minas-MG, em sistema plantio direto. A região apresenta um clima tropical com estação seca (Classificação climática de Köppen-Geiger: Aw), cujos dados meteorológicos no período de condução do experimento apresentam-se na FIGURA 3.1. As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo e de Fisiologia Vegetal do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), no município de Patos de Minas – MG, e no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Uberlândia.

O experimento com milho de primeira safra foi instalado na unidade experimental da empresa Terrena Agronegócios LTDA, em área de Latossolo Vermelho distrófico argiloso (EMBRAPA, 2006) em uma lavoura de milho (*Zea mays*, L.) sob sistema plantio direto, de dezembro de 2010 a abril de 2011.

O experimento com milho irrigado de segunda safra foi instalado na unidade experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais em área de Latossolo Vermelho distrófico argiloso (EMBRAPA, 2006), em uma lavoura de milho (*Zea mays*, L.) sob sistema plantio direto, de fevereiro de 2011 a julho de 2011.

Antes da instalação dos experimentos, foram coletadas amostras do solo, na profundidade de 0 a 10 cm, para análise da caracterização química e física, determinando os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Al^{3+} trocáveis; acidez potencial por acetato de cálcio; matéria orgânica total (MOS) por titulometria; P-assimilável por Mehlich-1, P-remanescente e pH em água; e teores de areia, silte e argila, seguindo metodologia de EMBRAPA (1997), conforme TABELA 3.1.

TABELA 3.1. Valores médios para as variáveis químicas e matéria orgânica do solo, na profundidade de 0 a 10 cm.

| Área | pH Água | M.O. ¹ | P-rem | P ² | K | Ca | Mg | Al | H + Al |
|----------------------|---------|----------------------|--------------------|---------------------|--------|------|------|------|--------|
| | | dag kg ⁻¹ | mg L ⁻¹ | mg dm ⁻³ | | | | | |
| Terrena Agronegócios | 5,94 | 2,97 | 9,49 | 4,42 | 67,33 | 1,62 | 0,76 | 0,05 | 2,78 |
| EPAMIG | 5,97 | 3,85 | 7,82 | 36,27 | 142,86 | 1,74 | 0,15 | 0,02 | 5,50 |

¹Matéria orgânica: método colorimétrico; ² P-meh-1;

3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Para os experimentos, o delineamento utilizado foi em blocos casualizados em fatorial $4 \times 2 \times 2 + 1$, constituídos de tratamentos com doses de N (0; 90; 120; e 150 kg ha⁻¹ de N), utilizando ureia com dois tipos de revestimento (com e sem revestimento de polímero), épocas de aplicação (uma cobertura no estádio V₄, aplicando toda a dose acima referida, e duas aplicações em cobertura nos estádios V₄ e V₈, metade da dose em cada estádio), e controle (sem N) respectivamente em 4 blocos, em um total de 68 parcelas. Todas as parcelas receberam 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura.

As fontes de nitrogênio utilizadas foram a Ureia com 45% de N, e Ureia revestida com 36% de N. O revestimento é formado por três camadas de polímeros (tecnologia Kimcoat[®]).

As parcelas experimentais foram constituídas por uma área de 25 m², sendo 10 m de comprimento por 2,5 m de largura.

Para o experimento de milho de primeira safra, a semeadura foi realizada manualmente em 23 de dezembro de 2010, espaçamento de 0,5 m entre linhas e densidade de quatro plantas m⁻¹, totalizando uma população final de aproximadamente 70.000 plantas ha⁻¹, utilizando o híbrido precoce Agroceres[®] AG 8061 YG. A colheita foi realizada em 25 de abril de 2011.

A adubação fosfatada foi de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados no sulco de plantio, utilizando fosfato monoamônio, conforme recomendação de Sousa e colaboradores (2002), valores calculados com base no P-rem. Como dose de potássio (K), foram fornecidos 100 kg ha⁻¹ de K₂O utilizando como fonte o KCl, aplicados metade no plantio e o restante em cobertura no estádio V₄, conforme recomendação de Miranda e colaboradores (2007). Como fonte de micronutrientes, foram utilizados 4 kg ha⁻¹ do fertilizante FH Micro Total[®], com 0,5 Zn + 0,1B + 0,2 Mn. Foi utilizado o herbicida Soberan[®], na dose de 0,250 L ha⁻¹, 20 dias após o plantio.

O plantio do experimento de milho de segunda safra foi realizado em 24 de fevereiro de 2011, espaçamento de 0,5 m entre linhas e densidade de quatro plantas m⁻¹, totalizando uma população final de aproximadamente 75.000 plantas ha⁻¹, utilizando o híbrido triplo Biogene[®] BG 7049Y. A colheita foi realizada em 20 de junho de 2011.

A adubação fosfatada foi de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados no sulco de plantio, utilizando fosfato monoamônio, conforme recomendação de Sousa e colaboradores (2002), valores calculados com base no P-rem. Como dose de K, foram fornecidos 60

kg ha⁻¹ de K₂O utilizando como fonte o KCl, aplicados no plantio, conforme recomendação de Miranda e colaboradores (2007). Como fonte de micronutrientes, foram utilizados 4 kg ha⁻¹ do fertilizante FH Micro Total[®], com 0,5 Zn + 0,1 B + 0,2 Mn. Foi utilizado o herbicida Soberan, na dose de 0,250 L ha⁻¹, 20 dias após o plantio. Não foram utilizadas aplicações de fungicidas e inseticidas.

No experimento com milho de primeira safra, houve incidência de chuva nos 35 dias após a semeadura, permanecendo nublado em sua maioria, o que diminuiu a incidência luminosa na área. Após esse período, houve um veranico de 40 dias, coincidindo com a época de enchimento dos grãos. No experimento com milho de segunda safra, houve distribuição normal de chuvas para o período e utilização de irrigação nos períodos de seca. (FIGURA 2.1).

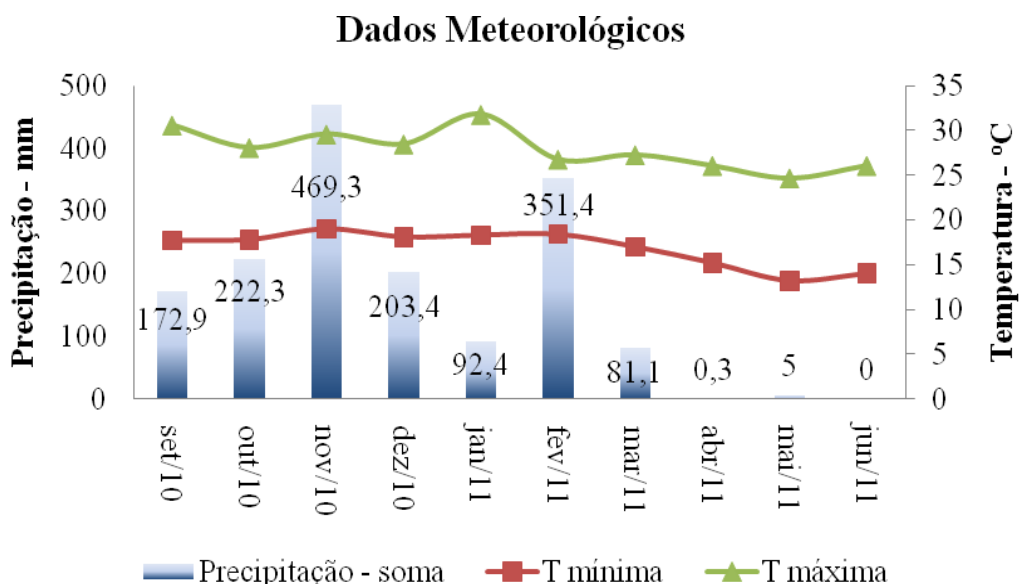


FIGURA 3.1. Precipitação pluvial média (mm). Fonte: <http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario?uf=MG>. Estação meteorológica: Patos de Minas (INMET).

3.2.3 Produtividade de grãos

Na época da colheita, foi colhida toda a área útil da parcela, sendo esta as três fileiras centrais, eliminando-se 0,5 m das bordas iniciais e finais de cada parcela. As espigas foram debulhadas e pesados os grãos. A partir disso, fez-se a estimativa da produtividade para um hectare de produção. A produtividade foi estimada para ambos os experimentos.

3.2.4 Massa de 1.000 grãos

Após a colheita, as espigas foram debulhadas e mediu-se a umidade dos grãos (18% de umidade). Os grãos foram secos à umidade padrão de 13% e pesados à massa de 1000 grãos, de acordo com as Regras de Análise de Sementes. Para determinar a umidade dos grãos produzidos, foi utilizado o Método da Estufa, a $105^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, de acordo com as Regras de Análise de Sementes (Brasil, 1992). A massa de 1.000 grãos foi avaliada para ambos os experimentos.

3.2.5 Avaliação dos teores de N nos tecidos foliares

Foram coletadas duas folhas por parcela, opostas e abaixo da espiga, quando do aparecimento da inflorescência feminina da planta, conforme Malavolta e colaboradores (1997). As folhas foram lavadas em água destilada (corrente), acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65°C a 72°C até que o peso ficasse constante para determinação dos teores de N em destilação – titulação (Kjeldahl), segundo Embrapa (2009). Essa avaliação foi feita para o experimento com milho de segunda safra.

3.2.6 Atividade da enzima nitrato redutase

Para as plantas de milho de segunda safra, sete dias após a aplicação da primeira adubação nitrogenada em cobertura foi feita a análise de atividade da enzima nitrato redutase. Coletou-se a primeira folha completamente desenvolvida a partir do ápice da planta, de quatro plantas localizadas nas duas fileiras centrais, excluindo 0,5 m das extremidades. A metodologia utilizada para determinação da atividade da enzima nitrato redutase foi a proposta por Cataldo (1975). A atividade enzimática foi diretamente relacionada com a quantidade de NO_2 determinada, e os resultados foram expressos em $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ de NO_2 na matéria fresca.

3.2.7 Avaliação econômica

A eficiência econômica foi avaliada após ser determinada a estimativa de produtividade de cada tratamento, em que se fez um comparativo do valor gasto com a compra do fertilizante e o valor obtido com a produção de grãos, tanto da primeira quanto da segunda safra.

Para cada tratamento, em função das doses e fontes dos fertilizantes

nitrogenados, foi calculado o faturamento bruto de acordo com a produção de milho obtida. Com os valores dos custos dos fertilizantes, foi determinada a dose de melhor retorno econômico. Como base de valores utilizou-se saca de 60 kg de milho a R\$ 27,00; kg de N da Ureia convencional a R\$ 2,41; e o kg de N da Ureia revestida a R\$ 3,41. O levantamento de preços foi realizado em 12 de agosto de 2011, no município de Patos de Minas, Minas Gerais.

3.2.8 Índice de Eficiência Agronômica

As combinações de fontes, doses e época de aplicação de N foram comparadas à sua eficiência agronômica na produtividade de grãos de milho (Prod.) da primeira e da segunda safra (NOVAIS; SMYTH, 1999). Considerou-se, em cada fonte e dose dos fertilizantes, a Ureia convencional, na dose de 120 kg ha⁻¹, como referência para aplicação da fórmula:

$$IEA = \frac{\text{Prod}_{\text{fonte}} - \text{Prod}_{\text{controle}}}{\text{Prod}_{\text{padrão}} - \text{Prod}_{\text{controle}}} \times 100$$

IEA = Índice de Eficiência Agronômica

3.2.9 Análise estatística

Os dados referentes à produtividade e massa de 1000 grãos do experimento da primeira safra, a produtividade, massa de 1000 grãos e teor de N nos tecidos foliares do experimento da segunda safra, ambos em função da fonte, dose e época de aplicação do fertilizante nitrogenado, foram submetidos à análise de variância ajustando modelos de regressão dos parâmetros avaliados em relação aos tratamentos, utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2000). As médias, ainda, foram comparadas ao tratamento adicional pelo teste Dunnett a 0,05 de significância, com o auxílio do programa ASSISTAT versão 7.5 beta (SILVA, 2007).

Com os modelos ajustados, foram estimados o custo do uso dos fertilizantes de forma diferenciada de acordo com sua concentração de N e o valor praticado no mercado de Patos de Minas, Minas Gerais.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre os fatores fonte e dose de N. Os tratamentos que receberam a Ureia com e sem revestimento polimerizado em cobertura apresentaram produtividade semelhante em todos os tratamentos, para o milho primeira safra (TABELA 3.2, FIGURA 3.2).

TABELA 3.2. Produtividade (kg ha^{-1}), massa de 1000 grãos (g) observados em milho de primeira safra, cultivado em função da aplicação de doses de N utilizando Ureia revestida com polímeros (POL) e sem revestimento de polímero (ureia), em uma ou duas aplicações em cobertura, em sistema plantio direto.

| Características avaliadas | Fontes | Doses de N, kg ha^{-1} | | | | | | | | Média | |
|---------------------------------|--------|---------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------------------|
| | | Parcelamento ² | 60 | | 90 | | 120 | | 150 | | |
| | | | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | | 1 |
| ----- kg kg^{-1} ----- | | | | | | | | | | | |
| Produtividade | Uréia | 1950 | 3315 | 3301 | 2347 | 3357 | 2979 | 4036 | 3472 | 3410 | 3129a ¹ |
| | POL | | 3308 | 3834 | 3347 | 3406 | 3920 | 3872 | 3813 | 3833 | 3475a |
| ----- g ----- | | | | | | | | | | | |
| Massa 1000 grãos | Uréia | 251,25 | 282,00 | 293,75 | 271,50 | 275,25 | 277,00 | 281,50 | 259,25 | 292,00 | 275,94a |
| | POL | | 306,75 | 246,00 | 268,50 | 296,75 | 273,50 | 285,50 | 271,00 | 289,25 | 276,50a |
| CV% Produç= 25,61 | | | DMS _{Tukey} Produç= 363,33 | | | | DMS _{Dunnett} Produç= 1798,21 | | | | |
| CV% M1000= 6,61 | | | DMS _{Tukey} M1000= 11,78 | | | | DMS _{Dunnett} M1000= 55,87 | | | | |

¹médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância. ²aplicações de N em cobertura, com aplicação de toda a dose de N em uma aplicação ou aplicação da dose de N divididos em duas aplicações.

Observou-se que o acréscimo de produtividade com o aumento da dose de N, independente da fonte, não foi significativo. Houve um ligeiro decréscimo de produtividade nos tratamentos que receberam mais de 90 kg ha^{-1} de N, indicando que, no presente estudo, a aplicação de doses superiores a 90 kg ha^{-1} de ureia com e sem revestimento, em cobertura, não causaram aumento de produção de grãos de milho da primeira safra (FIGURA 3.2).

O parcelamento das doses de N também não mostrou efeito significativo para nenhuma das variáveis fonte e dose do fertilizante, quando aplicadas no milho de primeira safra. Isso indica que a cobertura pode ser feita em uma única parcela sem prejuízo no desenvolvimento da planta e produtividade de grãos, além de reduzir custos com a aplicação do fertilizante (TABELA 3.2).

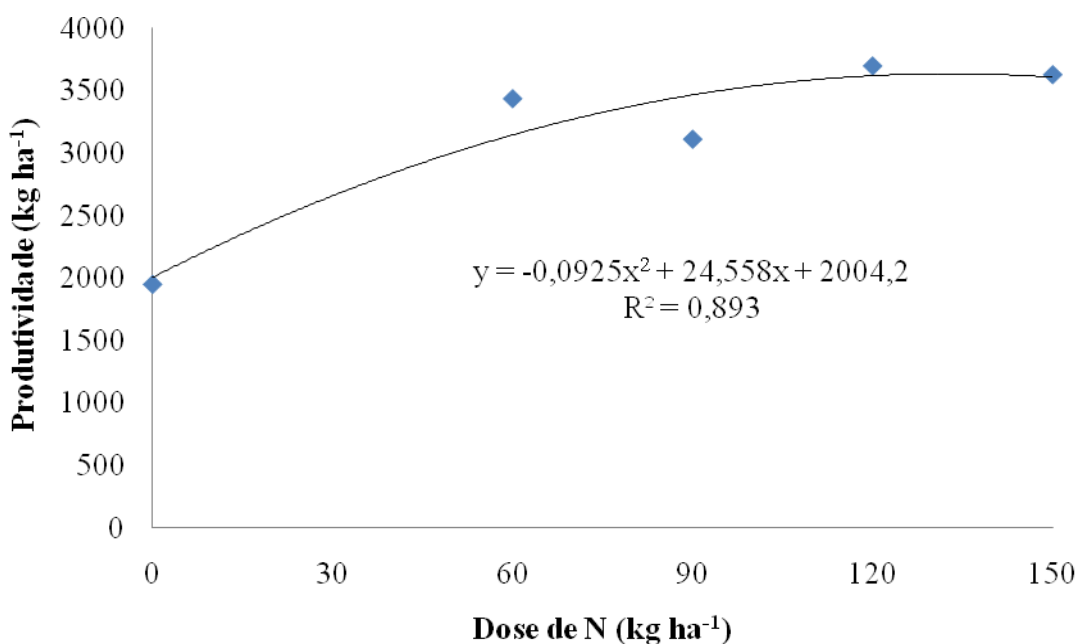


FIGURA 3.2. Produtividade de milho de primeira safra em função das doses de Ureia, média de convencional e revestida com polímeros.

De acordo com Miranda e colaboradores (2007), a planta de milho não tolera a luz difusa típica de tempo nublado ou chuvoso. Nessa situação, ocorre redução do sincronismo entre a emissão do pendão e da espiga, assim como do tamanho de espigas e do peso de grãos. Conforme observado na FIGURA 3.1, a ocorrência de dias chuvosos seguidos de um período de estiagem afetou o potencial produtivo da planta e, conseqüentemente, a produtividade obtida nesse experimento.

Quando analisados os dados referentes ao experimento com milho de segunda safra, observou-se também que não houve interação significativa entre os fatores fonte e dose de N. Os tratamentos que receberam a Ureia com e sem revestimento polimerizado em cobertura apresentaram produtividade semelhante em todos os tratamentos (TABELA 3.3, FIGURA 3.3).

Entretanto, Valderrama e colaboradores (2011), em experimento com aplicação de 0, 40, 80 e 120 Kg ha⁻¹ de N em cobertura, utilizando como fontes a Ureia convencional e a Ureia revestida por polímeros, observaram aumento significativo de produtividade de grãos com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, o que representou aumento de 78,25% em relação ao tratamento controle sem N. Produtividades próximas às obtidas por Valderrama e colaboradores (2011) também foram obtidas por Araújo e colaboradores (2004), que, estudando o efeito de doses de N na cultura do milho, verificaram que a aplicação de 240 kg ha⁻¹ de N proporcionou maior produtividade.

TABELA 3.3 Produtividade (kg ha^{-1}), massa de 1000 grãos (g) e teor de N foliar (g kg^{-1}) observados em milho de segunda safra, cultivado em função da aplicação de doses de N utilizando Ureia revestida com polímeros (POL) e sem revestimento de polímero (ureia), em uma ou duas aplicações em cobertura, em sistema plantio direto.

| Características avaliadas | Fontes | Doses de N, kg ha^{-1} | | | | | | | | Média | |
|---------------------------|--------|------------------------------------|--------|--------|--------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------------|
| | | Parcelamento ² | 60 | | 90 | | 120 | | 150 | | |
| | | | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | | 1 |
| kg kg^{-1} | | | | | | | | | | | |
| Produtividade | Uréia | 9602 | 8246 | 8648 | 9442 | 9079 | 9868 | 8938 | 8467 | 8883 | 9019 ^{a1} |
| | POL | | 9133 | 8890 | 8216 | 8342 | 9017 | 8941 | 8427 | 8570 | 8793 ^a |
| g | | | | | | | | | | | |
| Massa 1000 grãos | Uréia | 262,27 | 258,22 | 256,16 | 260,61 | 271,72 | 275,11 | 267,33 | 239,93 | 263,47 | 261,65 ^a |
| | POL | | 264,67 | 261,01 | 257,88 | 244,98 | 253,10 | 262,60 | 261,01 | 262,67 | 258,91 ^a |
| g kg^{-1} | | | | | | | | | | | |
| N Foliar | Uréia | 24,75 | 28,25 | 28,25 | 30,00 | 31,00 | 31,00 | 30,50 | 29,50 | 29,25 | 29,17 ^a |
| | POL | | 30,25 | 29,00 | 29,25 | 29,50 | 30,75 | 25,75 | 30,25 | 30,00 | 28,83 ^a |
| CV% Produ= 12,58 | | DMS _{Tukey} Produ= 782,42 | | | | DMS _{Dunnett} Produ= 2298,66 | | | | | |
| CV% M1000= 6,05 | | DMS _{Tukey} M1000= 10,93 | | | | DMS _{Dunnett} M1000= 33,35 | | | | | |
| CV% NFoliar= 15,35 | | DMS _{Tukey} NFoliar= 3,04 | | | | DMS _{Dunnett} NFoliar= 7,85 | | | | | |

¹médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância. ² aplicações de N em cobertura, com aplicação de toda a dose de N em uma aplicação ou aplicação da dose de N divididos em duas aplicações.

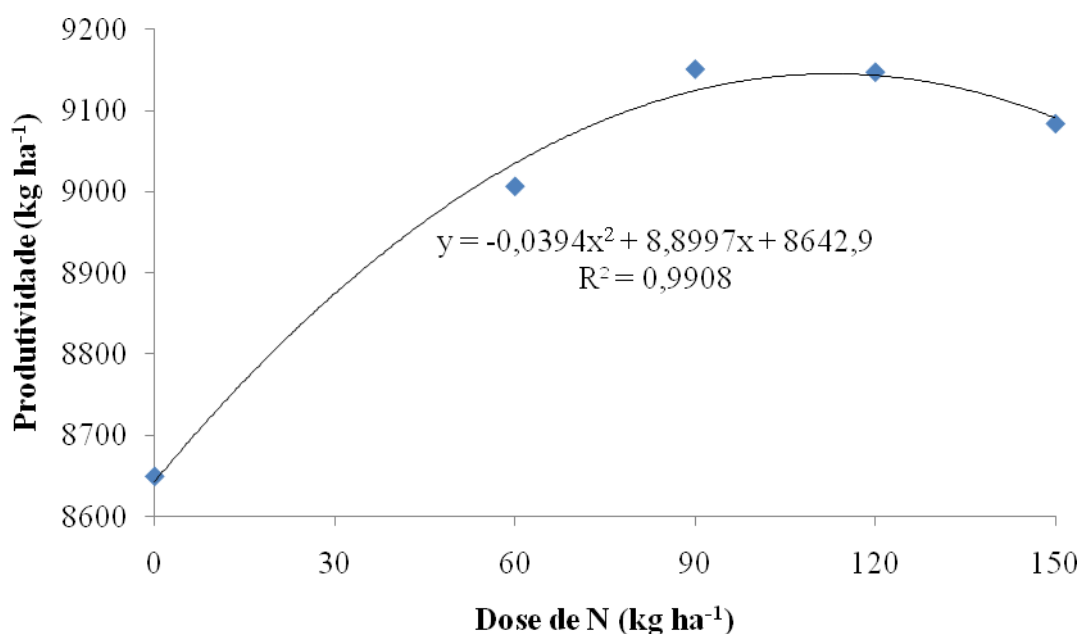


FIGURA 3.3. Produtividade de milho de segunda safra em função das doses de Ureia, média de convencional e revestida com polímeros.

Civardi e colaboradores (2011), utilizando como fontes de N a Ureia com e sem revestimento, observaram que a forma de aplicação, a dose e a fonte da ureia utilizada em cobertura no milho tiveram efeito significativo sobre o rendimento de grãos,

contrastando com os resultados obtidos por este trabalho. A maior produtividade de grãos obtida por esses autores foi a com a ureia incorporada, seguida da maior dose ($49,44 \text{ kg ha}^{-1}$) de ureia polimerizada em superfície.

Zavachi (2010), analisando produtividade de milho após aplicação de 45, 67,5 e 90 kg ha^{-1} de N com Ureia convencional e com revestimento de polímeros, observou que os tratamentos com fertilizante revestido e com a maior dose da ureia convencional diferiram significativamente do controle, além de não verificar diferença estatística em produtividade no tratamento com aplicação de ureia comum nas doses de 67,5 e 45 kg ha^{-1} de N e o tratamento controle. Esse autor relata que a fertilização com doses reduzidas da ureia convencional afetou o desempenho produtivo da planta.

Para o milho de segunda safra, o parcelamento das doses de N também não mostrou efeito significativo para nenhuma das variáveis fonte e dose do fertilizante, mesmo quando comparado à aplicação do fertilizante no plantio, indicando que a aplicação do fertilizante nitrogenado pode ser feita na semeadura, sem prejuízo no desenvolvimento da planta e produtividade de grãos, além de reduzir custos com a aplicação do fertilizante (TABELA 3.3).

A produtividade foi maior nos tratamentos em que houve parcelamento das doses de N, porém em dados absolutos e não diferindo estatisticamente entre si. A Ureia Convencional apresentou resultado mais satisfatório que a Ureia revestida, porém sem haver diferença significativa entre as fontes (FIGURA 3.3).

Também não se observou efeito significativo para fonte ou dose de N aplicados para a massa de 1.000 grãos, indicando que o aumento nas doses de N ou a fonte utilizada não afetaram a massa dos grãos (TABELAS 3.2 e 3.3, FIGURAS 3.4 e 3.5).

Observou-se também que doses de N acima de 90 kg ha^{-1} não proporcionaram incremento na massa dos grãos, fato que confirma a menor produtividade obtida nos tratamentos com aplicação de dose acima de 90 kg ha^{-1} (FIGURAS 3.4 e 3.5)

Valderrama e colaboradores (2011) também não encontraram resultados significativos para a massa de 100 grãos do milho em trabalho realizado com incremento das doses de N. Kappes e colaboradores (2009) e Souza e Soratto (2006) não verificaram diferença significativa na massa de 100 grãos, quando utilizaram Uréia e Entec[®] como fontes de N. Oliveira e Caires (2003) observaram aumento linear da massa de 100 grãos utilizando as doses de 0; 30; 60; 90; e 120 kg ha^{-1} de N.

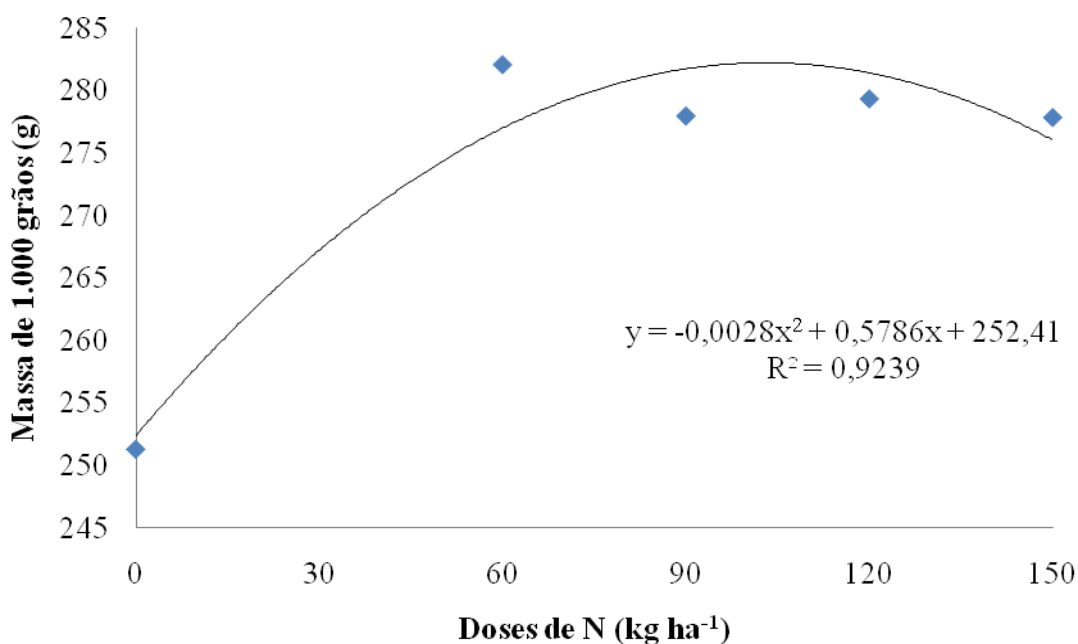


FIGURA 3.4. Massa de 1.000 grãos de milhos de primeira safra, em g, em função das doses de Ureia, média de convencional e revestida com polímeros.

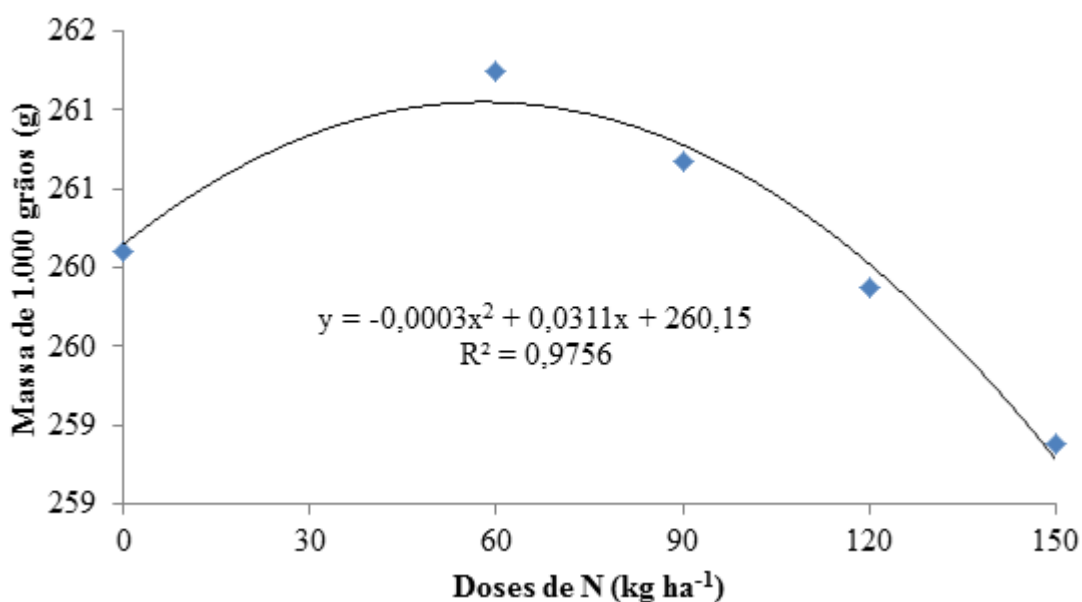


FIGURA 3.5 Massa de 1.000 grãos de milhos plantados em segunda safra, em g, em função das doses de Ureia convencional e revestida com polímeros.

Zavachi (2010), avaliando a massa de 1.000 grãos de milho após aplicação de 45, 67,5 e 90 kg ha⁻¹ de N utilizando Ureia convencional e com revestimento de polímeros, observou que a massa de 1000 grãos do tratamento controle como o

fertilizado com a menor dose de N de ureia convencional diferiu do tratamento com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N do fertilizante revestido.

O parcelamento das doses de N também não diferiu entre si quando analisado à massa de 1.000 grãos de milho, independente da dose ou fonte aplicados. Os tratamentos que tiveram a dose de N parcelada em duas coberturas obtiveram médias de massa inferiores, mesmo que não significativas, daquelas em que não houve parcelamento da dose – dados observados nos experimentos de milho de primeira e segunda safras (TABELAS 3.2 e 3.3).

O teor de N foliar para o milho de segunda safra também se mostrou não significativo para as fontes e doses do fertilizante nitrogenado utilizado (FIGURA 3.6). Quando analisado a época de aplicação, se em uma ou duas aplicações de N em cobertura, o teor de N na folha também se mostrou não significativo (TABELA 3.3). De acordo com Cantarella e colaboradores (1997), o teor adequado de N nas folhas do milho para um bom desenvolvimento e produção está situado na faixa de 27,5-32,5 g kg⁻¹ de matéria seca. Nesse caso, independente da dose de N testada, o teor do nutriente nas folhas foi adequado, não comprometendo, assim, o desenvolvimento da cultura.

Valderrama e colaboradores (2011) relataram que as doses de N influenciaram, positivamente, o teor de N foliar, quando aplicados 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, utilizando como fontes a Ureia convencional e a Ureia revestida por polímeros.

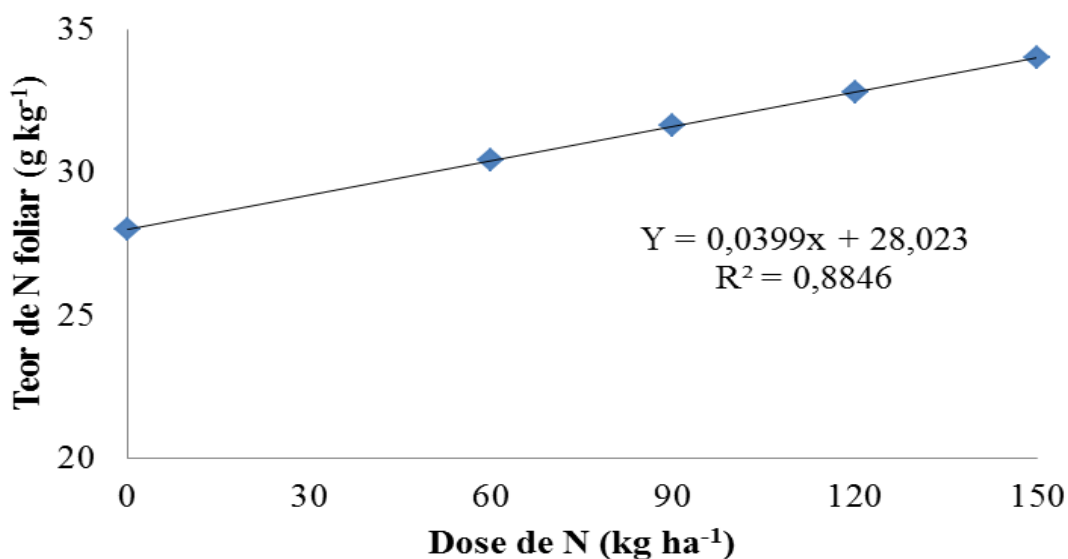


FIGURA 3.6. Teor de N-NH₄ (g kg⁻¹) em folhas de milhos de segunda safra, em função das doses de Ureia convencional e revestida com polímeros.

Benett e colaboradores (2011) relataram que houve incremento do teor de N foliar na cultura do trigo, quando aplicados 0; 12,5; 25,0; 37,5 e 50 kg ha⁻¹ de N em três épocas de aplicação: no perfilhamento, 30 dias após a emergência (DAE); no florescimento pleno, aos 60 DAE e no início da formação de grãos, aos 70 DAE; e no perfilhamento e no início da formação dos grãos, com ou sem cobertura de 40 kg ha⁻¹ de N aos 40 DAE, resultado que contrasta com o deste trabalho.

Para o experimento de milho da segunda safra, analisou-se a atividade da enzima nitrato redutase (NR), e esta se mostrou influenciada pela fonte, dose e época de aplicação do fertilizante aplicado (TABELA 3.4).

A disponibilidade de N e a forma como está presente no solo interferem na atividade da enzima nitrato redutase (NR). Sua atividade pode ser diminuída com a diminuição na absorção de nitrato, a translocação do NO₃⁻ absorvido para a parte aérea e o acúmulo de aminoácidos tanto nas folhas como nas raízes, resultante ou da inibição da síntese ou da degradação de proteínas. De acordo Araújo e Machado (2006), a absorção de nitrato é um processo ativo, dependente de energia metabólica para o transporte contra um gradiente de potencial eletroquímico, necessitando de substâncias redutoras e de ATP.

Diferentes são os fatores que interferem na atividade da enzima, como a concentração exógena de nitrato, o pH, a temperatura de incubação e o ritmo diurno de atividade da NR (LEE; TITUS, 1992). Dessa forma, o fornecimento gradual e constante de uma fonte nitrogenada pode favorecer a atividade dessa enzima, o que pode ser proporcionado pelo fertilizante de liberação lenta. A NR é uma enzima substrato-induzível, ou seja, sua atividade é estimulada pela presença de nitrato (BERGES 1997): quanto menor a absorção de N-nítrico, menor a atividade da enzima. A primeira etapa da assimilação do nitrato ocorre no citoplasma, sendo catalisada pela enzima NR, que reduz o nitrato a nitrito utilizando NAD(P)H como doador de elétrons. Posteriormente, o nitrito produzido é transportado ao cloroplasto, onde é reduzido ao íon amônio pela enzima nitrito redutase, que utiliza a ferredoxina como doadora de elétrons (LEA, 1993).

Atividade da enzima NR em função da dose, fonte e época de aplicação de N

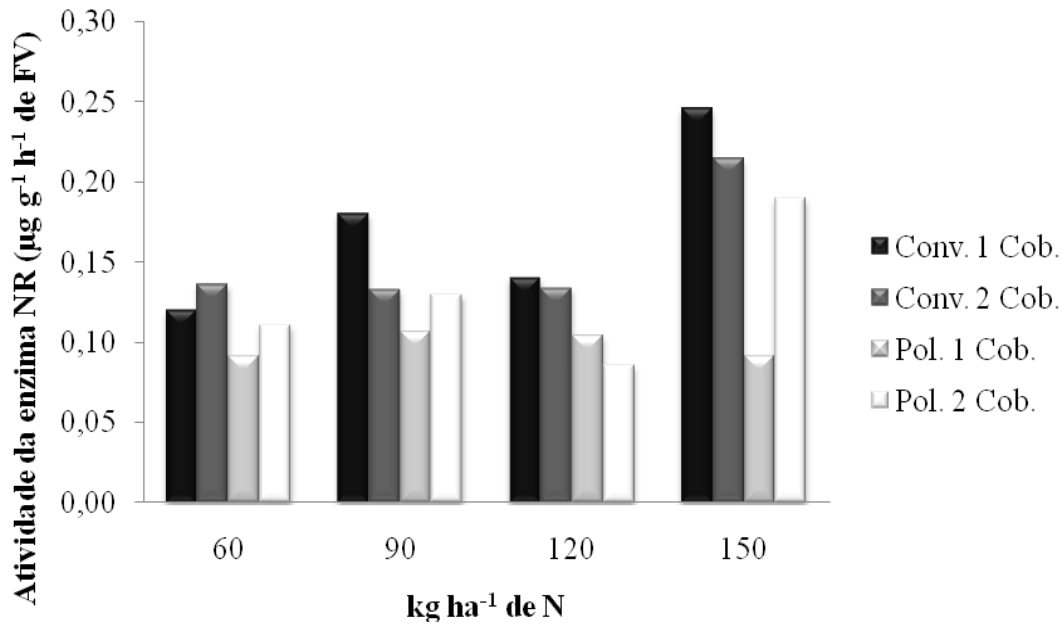


FIGURA 3.7. Atividade da enzima nitrato redutase, em $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$, em função da aplicação de 60, 90, 120 e 150 kg ha^{-1} N em milho de segunda safra, parcelados em uma ou duas coberturas, de Ureia convencional e revestida com polímeros.

A atividade da enzima NR foi menor em todos os tratamentos com aplicação do fertilizante revestido com polímeros, em comparação à Ureia convencional, independente da dose aplicada e da época de aplicação, seja em cobertura, seja em aplicação na semeadura (FIGURA 3.7).

A menor atividade da enzima NR indica um menor gasto de energia da planta em transformar o NH_4^+ em NO_3^- . A planta gasta menos energia nesse processo. Porém, uma menor atividade da enzima e, conseqüentemente, menor gasto de energia não asseguram incremento de produtividade (PURCINO et al., 1994).

Uma hipótese para essa afirmação é a de que, no fertilizante polimerizado, o nitrogênio na forma de amônia (NH_3) seja transformado em íon amônio (NH_4^+) e esteja disponível em sua maior parte na forma amoniacal (NH_4^+), reduzindo assim as transformações nas formas nítricas (NO_3^-).

TABELA 3.4 Atividade da enzima nitrato redutase, em percentual em relação ao tratamento controle (sem aplicação de N em cobertura), em milho de segunda safra, em função das doses de Ureia, parcelados em uma ou duas coberturas de Ureia convencional e revestida com polímeros.

| Dose kg ha ⁻¹ | Fonte | | | |
|-----------------------------|--------------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Ureia Convencional | | Ureia Revestida | |
| | 1 Cobertura | 2 Coberturas | 1 Cobertura | 2 Coberturas |
| 60 | 20,24 | 36,44 | -8,10 | 10,80 |
| 90 | 80,30 | 33,00 | 6,88 | 93,12 |
| 120 | 40,49 | 34,41 | 4,72 | -14,17 |
| 150 | 146,42 | 114,71 | -8,10 | 90,00 |

A atividade da enzima foi maior nos tratamentos que receberam o fertilizante convencional do que nos que receberam o fertilizante revestido, independente da época de aplicação – se no momento da semeadura ou se aplicado em cobertura –, indicando que aquelas plantas absorveram mais nitrato do que as que receberam o adubo polimerizado. Observou-se também que as plantas que receberam o fertilizante em uma aplicação, em cobertura, tiveram menor atividade dessa enzima quando comparadas àquelas que receberam o fertilizante parcelado em duas aplicações em cobertura (TABELA 3.4). Essa atividade é fortemente induzida pelo substrato, e a maior disponibilidade de nitrato no meio de crescimento aumenta os seus valores (VASCONCELLOS et al. 1978).

Observou-se que o teor de N nas folhas foi semelhante em todos os tratamentos. Porém, quando se observam os valores da enzima NR, percebe-se grande diferença. Pode-se inferir, a partir desses dados, que a planta absorveu N-NH₄ nos tratamentos em que foi aplicado o fertilizante revestido, mas ainda se fazem necessários maiores estudos sobre o assunto para melhor elucidação.

Silva e colaboradores (2011) relataram que a atividade enzimática respondeu significativamente à interação N x K, quando aplicado ao milho. A interação N=100 kg ha⁻¹ e K=40 kg ha⁻¹ proporcionou os melhores resultados da enzima nitrato redutase.

Purcino e colaboradores (1994) relataram que a atividade da enzima nitrato redutase não foi diferente entre os níveis de adubação com N, quando aplicados 20 e 60 kg ha⁻¹ de N na forma de Ureia, aplicados no milho.

A ureia convencional proporcionou, no presente estudo, maior retorno econômico, independente da época de plantio, se na primeira safra ou segunda safra. Em todas as doses, a ureia revestida apresentou custo maior de produção, e como não houve diferença na produtividade obtida, o custo maior desse fertilizante fez com que o retorno

financeiro obtido fosse menor (TABELAS 3.5 e 3.6).

Em função do maior custo da Ureia Kimcoat[®], cerca de 30% mais cara que a Ureia convencional, a receita obtida com o uso desse fertilizante foi menor. Para cada um Real (R\$ 1,00) investido em fertilizante, obteve-se, com a dose de 60 kg ha⁻¹ de N utilizando a Ureia revestida no milho de primeira safra, uma produção de 14,48 kg de milho. Para a Ureia convencional, a produção foi de 20,49 kg de milho (TABELA 3.5) para o mesmo valor investido. Em termos financeiros, a produção obtida com a ureia convencional proporcionou um ganho de R\$ 1.188,70, enquanto a ureia revestida gerou um ganho de R\$ 1.128,70. Porém, como o custo da Ureia revestida é maior, o lucro líquido alcançado com a Ureia convencional foi R\$ 60,00 maior.

O mesmo se observa para todas as demais doses, em que a Ureia obteve melhores resultados que a Ureia revestida. O uso de doses maiores também mostrou uma redução no retorno econômico, sendo menor o retorno quanto maior a dose aplicada. Observou-se que, com o fertilizante revestido, obtiveram-se resultados inferiores em todas as doses aplicadas. Na dose de 150 kg ha⁻¹, a ureia convencional obteve um lucro R\$ 150,00 maior que a ureia revestida (TABELA 3.5).

TABELA 3.5. Avaliação econômica da produção de milho de primeira safra em função de doses de Ureia, parcelados em uma ou duas coberturas, de Ureia convencional e revestida com polímeros, segundo modelo proposto por Rajj (2011).

| Dose kg ha ⁻¹ | Produtividade | Custo do fertilizante | | | Produção por R\$ 1,00 investido | | |
|-----------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|
| | | Custo N ¹ | Custo POL ² | DIF Custo ³ | PV Ureia ⁴ | PV POL ⁵ | DIF PV ³ |
| 60 | 2962,88 | 144,60 | 204,60 | 60,00 | 20,49 | 14,48 | -6,01 |
| 90 | 3482,96 | 216,90 | 306,90 | 90,00 | 16,06 | 11,35 | -4,71 |
| 120 | 3688,04 | 289,20 | 409,20 | 120,00 | 12,75 | 9,01 | -3,74 |
| 150 | 3578,12 | 361,50 | 511,50 | 150,00 | 9,90 | 7,00 | -2,90 |

| Dose kg ha ⁻¹ | Lucro Bruto | | | Lucro bruto – Fertilizante | | |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| | LB Ureia ⁶ | LB POL ⁷ | DIF ³ | LB - CUreia ⁸ | LB - C POL ⁹ | DIF ³ |
| 60 | 1333,30 | 1333,30 | 0,00 | 1188,70 | 1128,70 | -60,00 |
| 90 | 1567,33 | 1567,33 | 0,00 | 1350,43 | 1260,43 | -90,00 |
| 120 | 1659,62 | 1659,62 | 0,00 | 1370,42 | 1250,42 | -120,00 |
| 150 | 1610,15 | 1610,15 | 0,00 | 1248,65 | 1098,65 | -150,00 |

¹Custo do kg de N na Ureia; ² Custo do kg de N na Ureia revestida com polímeros; ³Diferença de custo entre Ureia revestida menos custo da Ureia; ⁴ Retorno em produção por R\$ 1,00 investido, em função do custo da Ureia; ⁵ Retorno em produção por R\$ 1,00 investido, em função do custo da Ureia revestida; ⁶Lucro bruto obtido com uso de Ureia; ⁷Lucro obtido com uso de Ureia revestida; ⁸Lucro bruto menos o custo da Ureia; ⁹Lucro bruto menos o custo da Ureia revestida com polímeros.

Na segunda safra plantada, observou-se que os resultados econômicos obtidos foram semelhantes aos obtidos com a primeira safra, ou seja, o lucro líquido alcançado com o uso da Ureia convencional foi maior que o alcançado com a Ureia revestida, independente da dose de N utilizada (TABELA 3.6).

Em termos financeiros, a produção por hectare, utilizando 60 kg ha⁻¹ de N com a ureia convencional, proporcionou um ganho de R\$ 3.908,23, enquanto a produção nessa mesma unidade de área com a ureia revestida gerou um ganho de R\$ 3.848,23, sendo R\$ 60,00 maior o lucro líquido alcançado com a Ureia convencional.

Civardi e colaboradores (2011) também observaram que, tendo em conta a relação entre o valor recebido e o valor do investimento, a ureia convencional foi superior a ambos os tratamentos com ureia revestida aplicada em superfície.

TABELA 3.6. Avaliação econômica da produção de milho de primeira safra em função de doses de Ureia, parcelados em uma ou duas coberturas, de Ureia convencional e revestida com polímeros, segundo modelo proposto por Raij (2011).

| Dose kg ha ⁻¹ | Produtividade | Custo do fertilizante | | | Produção por R\$ 1,00 investido | | |
|-----------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|
| | | Custo N ¹ | Custo POL ² | DIF Custo ³ | PV Ureia ⁴ | PV POL ⁵ | DIF PV ³ |
| 60 | 9006,29 | 144,60 | 204,60 | 60,00 | 62,28 | 44,02 | -18,27 |
| 90 | 9150,69 | 216,90 | 306,90 | 90,00 | 42,19 | 29,82 | -12,37 |
| 120 | 9147,09 | 289,20 | 409,20 | 120,00 | 31,63 | 22,35 | -9,28 |
| 150 | 9083,57 | 361,50 | 511,50 | 150,00 | 25,13 | 17,76 | -7,37 |

| Dose kg ha ⁻¹ | Lucro Bruto | | | Lucro bruto – Fertilizante | | |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| | LB Ureia ⁶ | LB POL ⁷ | DIF ³ | LB - CUreia ⁸ | LB - C POL ⁹ | DIF ³ |
| 60 | 4.052,83 | 4.052,83 | 0,00 | 3.908,23 | 3.848,23 | -60,00 |
| 90 | 4.117,81 | 4.117,81 | 0,00 | 3.900,91 | 3.810,91 | -90,00 |
| 120 | 4.116,19 | 4.116,19 | 0,00 | 3.826,99 | 3.706,99 | -120,00 |
| 150 | 4.087,61 | 4.087,61 | 0,00 | 3.726,11 | 3.576,11 | -150,00 |

¹Custo do kg de N na Ureia; ² Custo do kg de N na Ureia revestida com polímeros; ³Diferença de custo entre Ureia revestida menos custo da Ureia; ⁴ Retorno em produção por R\$ 1,00 investido, em função do custo da Ureia; ⁵ Retorno em produção por R\$ 1,00 investido, em função do custo da Ureia revestida; ⁶Lucro bruto obtido com uso de Ureia; ⁷Lucro obtido com uso de Ureia revestida; ⁸Lucro bruto menos o custo da Ureia; ⁹Lucro bruto menos o custo da Ureia revestida com polímeros.

Os índices de eficiência agrônômicos (IEA) das doses em função da fonte do fertilizante nitrogenado e a sua época de aplicação podem ser observados nas TABELAS 3.7e 3.8.

TABELA 3.7. Índice de Eficiência Agronômica (IEA) (%) das fontes de nitrogênio em função das doses aplicadas e a época de aplicação sobre a produtividade de milho de primeira safra, em relação a dose de 120 kg ha⁻¹ de N, de Ureia convencional, considerado padrão (100%).

| Dose kg ha ⁻¹ | Fonte | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|--------------|
| | Ureia Convencional | | Ureia Revestida | |
| | 1 Cobertura | 2 Coberturas | 1 Cobertura | 2 Coberturas |
| 60 | 12,48 | (926,23) ¹ | (312,58) | 164,91 |
| 90 | 210,61 | (1212,48) | (255,47) | 491,79 |
| 120 | 100,00 | (632,90) | (465,52) | 72,23 |
| 150 | (312,76) | (708,25) | 97,96 | (153,28) |

¹IEA entre parênteses indicam valores inferiores ao padrão de 120 kg há-1 de N com Ureia convencional

TABELA 3.8. Índice de Eficiência Agronômica (IEA) (%) das fontes de nitrogênio em função das doses aplicadas e a época de aplicação sobre a produtividade de milho de segunda safra, em relação a dose de 120 kg ha⁻¹ de N, de Ureia convencional, considerado padrão (100%).

| Dose kg ha ⁻¹ | Fonte | | | |
|-----------------------------|--------------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Ureia Convencional | | Ureia Revestida | |
| | 1 Cobertura | 2 Coberturas | 1 Cobertura | 2 Coberturas |
| 60 | (61,45) | 121,16 | 186,16 | (27,69) |
| 90 | 0,19 | 192,12 | 77,09 | 36,95 |
| 120 | 100,00 | 114,97 | (17,91) | 107,09 |
| 150 | 23,39 | 168,13 | (80,36) | 154,20 |

¹IEA entre parênteses indicam valores inferiores ao padrão de 120 kg há-1 de N com Ureia convencional

Para o experimento com milho de primeira safra, observou-se que os maiores resultados obtidos com a produtividade do milho foram nas doses de 90 kg ha⁻¹ de N, utilizando a Ureia convencional em uma única aplicação em cobertura, e para as doses de 60 e 90 kg ha⁻¹ de N, utilizando a Ureia revestida com polímeros quando a aplicação em cobertura foi parcelada em duas vezes. Para as demais doses, observou-se uma menor eficiência do fertilizante (TABELA 3.7).

Para o experimento com milho de segunda safra, observou-se que os maiores resultados obtidos com a produtividade do milho foram nas aplicações de N utilizando a Ureia convencional, quando aplicados em duas coberturas e para as doses de 120 e 150 kg ha⁻¹ de N, utilizando a Ureia revestida com polímeros quando a aplicação em cobertura foi parcelada em duas vezes. Para as demais doses, observou-se uma menor eficiência do fertilizante nitrogenado, independente da fonte utilizada (TABELA 3.8).

A aplicação de todo o fertilizante na ocasião do plantio, independente da fonte utilizada, se mostrou menos eficiente que quando aplicado o fertilizante parcelado em

plantio e cobertura (TABELA 3.8).

Silva e colaboradores (2011) relataram que obtiveram aumento de produtividade quando aplicaram o fertilizante nitrogenado em cobertura e que a eficiência agrônômica da adubação diminuiu em altos níveis de N aplicados, resultados obtidos em experimento com aplicação de 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de N nas fontes de Ureia comum e Ureia com NBPT em milho.

Teixeira Filho e colaboradores (2010), aplicando as doses de 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N nas fontes, Entec[®], sulfato de amônio e ureia e em duas épocas de aplicação (na semeadura, ao lado das linhas, ou em cobertura), observaram que as fontes de N tiveram efeito semelhante sobre a altura de plantas e a produtividade de grãos do trigo irrigado. A aplicação total de N na semeadura e a aplicação tradicional, em semeadura e cobertura, são igualmente viáveis. O incremento das doses de N até a dose de 121,5 kg ha⁻¹, em média, aumenta a produtividade de grãos, independente da época de aplicação e da fonte de N utilizada.

3.4 CONCLUSÕES

Não houve diferença entre as fontes Ureia convencional e com revestimento de polímero, as doses de N aplicadas em cobertura e a época de aplicação, na lavoura de milho de primeira e segunda safras, tanto para produtividade, para a massa de 1.000 grãos, quanto para o teor de N foliar.

O parcelamento das doses de N não mostrou efeito significativo para nenhuma das variáveis fonte, dose e época de aplicação do fertilizante.

A atividade da enzima nitrato redutase foi menor em todos os tratamentos onde foi utilizado o fertilizante revestido com polímeros, em comparação à Ureia convencional, independente da dose aplicada e da época de aplicação.

A ureia convencional proporcionou maior retorno econômico que a ureia polimerizada, para as duas safras analisadas.

A eficiência agrônômica dos fertilizantes nitrogenados foi maior quando houve parcelamento das doses em duas aplicações em cobertura.

3.5 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 8, p. 771-777, 2004.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. **Fósforo**. In FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432 p.
- BERGES, J.A. Algal nitrate reductases. **European Journal of Phycology**, London, v. 32, p. 3-8, 1997.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: LANARV, SNDA, 1992. 365p.
- BENETT, C.G.S.; et al. O. Aplicação foliar e em cobertura de nitrogênio na cultura do trigo no cerrado. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 829-838, jul/set. 2011.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van et al. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 45-71. (Boletim técnico, 100).
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: et al., **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- CATALDO, D.A.; et al. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v.6, p.71-80, 1975.
- CIVARDI, E. A.; et al. Ureia e liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997. 212p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2009. 627 p.
- FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000,

São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258.

KAPPES, C.; et al. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão a soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 251-259, 2009.

LEA, P.J. Nitrogen metabolism. In: LEA, P.J.; LEEGOOD, R.C. (Eds.) **Plant biochemistry and molecular biology**. John Wiley e Sons Ltd, p.155-180, 1993.

LEE, H.J.; TITUS, J.S. Factors affecting the in vivo nitrate reductase assay for MM. 106 apple trees. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 23, p. 981-991, 1992.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

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

MIRANDA, G.V.; et al. **101 Culturas**: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800 p.

NYBORG, et al. **Fertilizer N, crop residue, and tillage alter soil C and N content in a decade**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995.

NOVAIS, R.F., SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 1999. 399p.

OLIVEIRA, J. M. S.; CAIRES, E. F. Adubação nitrogenada em cobertura para o milho cultivado após aveia preta no sistema plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 351-357, 2003.

PURCINO, A. A. C.; et al. Atividade da redutase do nitrato em genótipos antigos e modernos de milho, cultivados sob dois níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.6, n.1, p. 41-46, 1994.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba:IPNI, 2011. 420p.

SILVA, F.A.S. **ASSISTAT Versão 7.9 beta**. 2007. Disponível em: <<http://assistat.sites.uol.com.br/>>. Acesso em: 20 out.2011.

SILVA, D.R.G.; et al. Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different levels of urea and NBPT-treated urea. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35 n.3, 2011.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2002. p. 147-168.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**,

Sete Lagoas, v. 5, n. 3, p. 395-405, 2006.

TEIXEIRA FILHO, et al. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.8, p.797-804, ago. 2010.

VALDERRAMA, et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, abr./jun. 2011.

VASCONCELLOS, C.A.; et al. Atividade da reductase do nitrato em milho (*Zeamays* L. var. "Piranão") em níveis crescentes de nitrogênio. **Revista Ceres**, Viçosa, v.25, p.218-227, 1978.

ZAVASCHI, E. **Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros**. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010.