



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA NA
CULTURA DA SOJA**

TATIANA CASTRO DE ASSIS

BELÉM

2004



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA NA
CULTURA DA SOJA**

TATIANA CASTRO DE ASSIS

Engenheira Agrônoma

Orientador: Dr. **CARLOS ALBERTO COSTA VELOSO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

BELEM

2004

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA NA CULTURA DA SOJA

TATIANA CASTRO DE ASSIS

Engenheira Agrônoma

ORIENTADOR(A) DE DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM AGRONOMIA)

Assis, Tatiana Castro de

Eficiência da adubação fosfatada e potássica na cultura da soja /
Tatiana Castro de Assis – Belém, 2005.

45p. : il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2005.

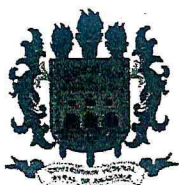
1. *Glycine max.* 2. Concentração. 3. Nutrição mineral.
4. Nutrientes. 5. Fósforo. 6. Potássio.

I. Título.

173.138

CDD 633.2

4005



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA NA
CULTURA DA SOJA

TATIANA CASTRO DE ASSIS

Aprovada em: 02.07.2004

Banca Examinadora:

Dr. Carlos Alberto Costa Veloso (Embrapa/UFRA)

Orientador

Prof. Dr. Tarcísio Ewerton Rodrigues (Embrapa/UFRA)

Dr. Heráclito Eugênio Oliveira da Conceição (Embrapa)

Dr. Eduardo Jorge Makluf Carvalho (Embrapa)

Dedicatória

À DEUS

Agradeço profundamente.

Aos meus Avós, Astrolábio Castro (in memorian), Edu Assis (in memorian), Francisca Assis e especialmente a minha eterna Mãe-Avó Helena Castro (in memorian).

Aos meus queridos Pais e Irmão, Célio Assis, Fátima Assis e Célio Júnior.

A minha grande e fiel incentivadora, Andréa Pena.

Ao meu mestre e amigo, Prof. Antônio Carlos Dias (in memorian).

Que além de dispensarem momentos de convívio, foram alicerces para realização deste antigo sonho, hoje realidade.

DEDICO

EPÍGRAFE

“ Se não houver frutos, valeu a beleza das flores,
Se não houver flores, valeu a sombra das folhas,
Se não houver folhas, valeu a intenção da semente.

A semente foi lançada, mesmo que não venha a existir a sombra das folhas, a beleza das flores e a colheita dos frutos, ainda assim valeu a experiência de tornar-se um semeador ”.

(Henfil)

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida.

À Universidade Federal Rural da Amazônia, e a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela realização do curso.

Ao Dr. Carlos Alberto Costa Veloso, pela orientação, compreensão, confiança e apoio em todas etapas deste trabalho.

À todos os professores das disciplinas cursadas, pelos conhecimentos transmitidos, em especial ao coordenador do curso Dr. George Rodrigues da Silva, pela paciência e confiança.

A minha grande professora-amiga Dr^a Maria Marly Silva, por todo apoio e colaboração dispensadas.

À Embrapa Amazônia Oriental pela utilização de sua infra-estrutura para realização deste trabalho.

Ao pesquisador Moisés Mourão Júnior, pela valiosa e imensa colaboração, durante a análise estatística dos dados.

Ao Dr. Antônio Brito Silva, pela ajuda e esclarecimentos estatísticos.

A amiga Heloisa Helena Figueiredo e toda sua equipe, pelo apoio e compreensão.

Aos amigos do curso de Pós-graduação, especialmente ao Rubens Meireles, pela amizade e companheirismo.

Ao amigo Antônio Andrey Matos, por todo auxílio e colaboração dispensadas.

Ao amigo Alexandre Albuquerque por todo apoio e auxílio dispensados.

E a todos que direta ou indiretamente tornaram possível a concretização deste trabalho.

SUMÁRIO

	p.
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
RESUMO	10
ABSTRACT	12
1 - INTRODUÇÃO	14
2 - REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 ACÚMULO DE NUTRIENTES NA MATÉRIA SECA	16
2.2 ABSORÇÃO E FUNÇÃO DOS NUTRIENTE NA SOJA	19
2.3 EFEITOS DOS MACRONUTRIENTES	22
2.3.1 NITROGÊNIO	22
2.3.2 FÓSFORO	23
2.3.3 POTÁSSIO	24
2.3.4 CÁLCIO	25
2.3.5 MAGNÉSIO	25
2.3.6 ENXOFRE	26
2.4 DIAGNOSE FOLIAR	26

2.5 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DA SOJA.....	27
2.6 ADUBAÇÃO DA CULTURA DA SOJA	28
2.6.1 ADUBAÇÃO FOSFATADA	29
2.6.2 ADUBAÇÃO POTÁSSICA	30
3 - MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	33
3.2 CLIMA DAS ÁREAS DE ESTUDO	34
3.3 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS	35
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	36
3.5 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	36
3.6 ANÁLISES QUÍMICAS DAS PLANTAS	37
3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICA	37
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA SOJA	39
4.2 DIAGNOSE FOLIAR	48
5 - CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

LISTA DE FIGURAS

	p.
Figura 1 - Valores mensais das precipitações pluviométricas ocorridas nos municípios de Paragominas e Belterra, média de 21 anos relativa ao período de 1983 a 2003	34
Figura 2 - Efeito das doses de fósforo sobre a produção de soja (a) e efeito das doses de potássio sobre a produção de soja (b) no município de Paragominas,PA	43
Figura 3 - Efeito das doses de fósforo sobre a produção de soja (a) e efeito das doses de potássio sobre a produção de soja (b) no município de Belterra,PA	43
Figura 4 - Relação entre os níveis de fósforo e altura das plantas de soja, em função dos locais de experimentação, ajustados segundo o modelo de regressão quadrática	46
Figura 5 - Relação entre os níveis de fósforo e o peso de 100 sementes de soja, em função dos locais de experimentação, ajustados segundo o modelo de regressão quadrática	47
Figura 6 - Relação entre produtividade de soja e os níveis de fósforo e potássio, em função dos locais de experimentação, ajustados segundo o modelo de superfície de resposta quadrática.....	48
Figura 7 - Valores médios e intervalo de confiança de 95% para as concentrações de (a) P e (b) K, em função dos ambientes	52
Figura 8 - Valores médios e intervalo de confiança de 95% para as concentrações de (a) Ca e (b) Mg, em função dos ambientes	53
Figura 9 - Relação entre os níveis de K e a absorção foliar de N e a razão Ca:Mg de soja, em função dos ambientes, ajustados segundo os modelos de regressão linear e quadrático	54
Figura10 - Relação entre os níveis de fósforo e potássio e o grau de absorção de N em soja, em função dos locais de experimentação, ajustados segundo o modelo de superfície de resposta quadrática	55

LISTA DE TABELAS

	P.
Tabela 1 - Características químicas e físicas da área experimental antes da instalação do experimento, na camada de 0-20cm de profundidade.....	35
Tabela 2 - Valores médios de altura das plantas e de inserção da primeira vagem, peso de 100 sementes e produtividade de soja no município de Paragominas,PA	40
Tabela 3 - Valores de médios de altura das plantas e de inserção da 1ª vagem, peso de 100 sementes e produtividade de soja, no município de Belterra-PA	41
Tabela 4 - Valores de quadrados médios do modelo de análise da variância, para os indicadores de crescimento e produtividade da soja	42
Tabela 5 - Produtividade de grãos de soja cultivar Sambaíba, em função de doses de P_2O_5 e K_2O em Latossolo Amarelo distrófico de Paragominas-PA	44
Tabela 6 - Produtividade de grãos de soja cultivar Sambaíba, em função de doses de P_2O_5 e K_2O em Latossolo Amarelo distrófico de Belterra-PA	45
Tabela 7 - Influência das doses de fósforo e potássio sobre os teores foliares de N, K, Ca e Mg na cultura da soja no município de Belterra-PA	49
Tabela 8 - Influência das doses de fósforo e potássio sobre os teores foliares de N, P, K, Ca e Mg na cultura da soja no município de Paragominas-PA	50
Tabela 9 - Valores de quadrados médios do modelo de análise de variância, para os indicadores de diagnose foliar para a soja	51

EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA NA CULTURA DA SOJA

RESUMO

A expansão da cultura da soja nas regiões de baixa latitude do Brasil estimulam estudos para estabelecer tecnologias e manejo adequado para seu cultivo. As recomendações de adubação devem ser relacionadas com a resposta da variedade utilizada à adubação, visando à meta do máximo retorno por área, de tal maneira a atingir o máximo retorno econômico. No Estado do Pará, a área plantada com a cultura vem crescendo, principalmente nas regiões sul, sudeste, nordeste e oeste paraense. As pesquisas com fertilidade do solo e nutrição mineral da soja são incipientes e as recomendações técnicas são adaptadas de informações obtidas em outras regiões. Desse modo o presente trabalho teve como objetivo estabelecer curvas de respostas do fósforo e potássio para a cultura da soja. Os experimentos foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Amazônia Oriental, nos municípios de Paragominas e Belterra, PA. Foi usada a cultivar Sambaíba como planta indicadora com espaçamento de 50 cm entre fileiras, com a densidade de 20 sementes/metro linear, num delineamento de blocos ao acaso com os tratamentos dispostos num esquema fatorial 4 x 4, com quatro repetições, correspondendo a doses de fósforo (0, 80, 160, 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na forma de superfosfato simples e quatro doses de potássio (0, 60, 120, 180 kg ha⁻¹ de K₂O), na forma de cloreto de potássio. A necessidade de calagem foi baseada na elevação da saturação por bases. A calagem foi realizada para elevação da saturação por bases a 60%, sendo realizada 60 dias de antecedência do plantio. A adubação fosfatada foi realizada de uma única vez no sulco de plantio. A adubação potássica foi parcelada em duas vezes, 1/3 no plantio, 2/3 em cobertura na época do florescimento, de acordo com os tratamentos. Foram avaliadas a produtividade, altura das plantas, peso de 100 sementes, inserção da 1ª vagem, grau de acamamento, número

de dias de florescimento, umidade de grãos na época da colheita e anotações de aparecimento de pragas e doenças, além das análises química de solo e planta. A aplicação anual de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O foi suficiente para atender à demanda da cultura da soja e manter os teores de fósforo e potássio no solo próximo do nível crítico. O aumento dos teores de potássio no solo resultam em queda na concentração de cálcio e magnésio na matéria seca da soja. O conteúdo de fósforo e potássio nas folhas de soja cultivada em Belterra foi maior do que em Paragominas. Os nutrientes absorvidos em maiores quantidades pela soja foram o N e o K, seguindo-se, pela ordem decrescente: Ca, Mg, P e S. Em Latossolo Amarelo textura argilosa, com baixo teor de fósforo e potássio a soja cv. Sambaíba produziu 3.600 kg ha⁻¹ de grãos, acima da média nacional, com aplicações de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O.

Termos para indexação: *Glycine max*, concentração, nutrição mineral, nutrientes, fósforo, potássio.

EFFICIENCY OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM FERTILIZATION IN THE SOYBEAN CULTURE

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max*) crops had spread in 70 's due to increasing international demands and credit availability by the Brazilian government. Major soybean crops had established in Southern and Southeastern Brazil which, besides of having appropriate soil and climate conditions for soybean cultivation were closer to export shipping ports. In the past ten years, soybean crops have been expanding to low latitude regions of Brazil, reaching Amazon region. Those new extent areas have led to the need of generating appropriate technologies and management for soybean cultivation in that new agricultural frontier. However application of fertilizer should be made based on the response of soybean varieties to fertilizers, in local conditions in order to maximize economical return per area unit. In the state of Para soybean cropping area have been increasing, especially in the Southern and Western Para. Researches on fertilization and mineral nutrition are incipient that in by fertilizer application has been recommended based on the results obtained in other cropping areas in Brazil. The present research was carried out in order to establish response curves of soybean to phosphorus and potassium. The experiment were conducted at Embrapa Amazônia Oriental experimental fields, in Paragominas and Belterra counties using soybean, Sambaiba cultivar grown in representative soil type, for each area. Soil analysis were performed prior to the experiment installation, sampling layers from 0 to 20 cm depth, for physical and chemical characterization. The experimental design was a randomized blocks with four replications, with the treatments arranged in a 4 x 4 factorial design, corresponding to four phosphorus levels (0, 80, 160 and 240 kg ha⁻¹ P₂O₅) using simple superphosphate as P source and four potassium levels (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ K₂O) as potassium chloride were tested. Phosphorus fertilizer was applied once in planting groove while potassium was split in two doses, one third applied at time of planting and two third in coverage, 30 days after germination. The fertilizer effects were

records as plant height first legume insert, bending, days to flower onset, 100 seed weight, seed moisture, at harvest, yield, pests, diseases and chemical analysis at soil and plants. Data obtained were analysis by ANOVA and regression analyses. The results obtained have shown that the annual application of $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ and $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ was enough to keep a good growth and yield at about 90% of maximum productivity and to maintain the critical level phosphorus and potassium in the soil. Increases in potassium content resulted in drops of calcium and magnesium in content dry matter. Phosphorus and potassium contents in leaves were larger in Belterra than Paragominas. Nitrogen and potassium were the nutrients taken up in higher proportion, being followed, in decreasing order, by Ca, Mg, P and S in soybean dry matter. In soil Oxisol with low content of P and K after applied of 80 kg ha^{-1} of P_2O_5 and 60 kg ha^{-1} of K_2O soybean cv. Sambaíba 3.600 kg ha^{-1} , a good performance wher compared with Brazilian average.

Index terms: *Glycine max*, concentration, mineral nutrition, nutrients, phosphorus and potassium.

1- INTRODUÇÃO

O Brasil atualmente é o segundo maior produtor mundial de soja (*Glycine max* (L) Merrill), sendo essa cultura uma das mais importantes como geradora de divisas do País. O plantio da soja iniciou-se nas regiões sul e sudeste do Brasil que, além de possuírem condições edafoclimáticas favoráveis ao desenvolvimento da cultura, estavam mais próximas dos portos de embarque do produto para fins de exportação. Porém, com a obtenção de genótipos produtivos e com capacidade de adaptação aos diferentes ambientes, o cultivo da soja no Brasil vem-se expandindo nas baixas latitudes, principalmente, nas regiões Centro Oeste, Norte e Nordeste.

No Estado do Pará, a área plantada com a cultura vem crescendo, principalmente nas regiões Sul, Sudeste, Nordeste e Oeste Paraense. As pesquisas com fertilidade do solo e nutrição mineral da soja são poucas e as recomendações técnicas são adaptadas de informações obtidas em outras regiões.

Os solos que predominam nestas regiões são: os Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelhos Amarelos, Latossolos Vermelhos, com textura variando de média, argilosa e muito argilosa, além de Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelhos Amarelos de textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa, todos profundos e distróficos, sob vegetação originalmente de floresta, na maioria, são ácidos e, como principal consequência, pode ocorrer alumínio em quantidades tóxicas para a cultura da soja. Desse modo, a aplicação de calcário é imprescindível para elevar o pH e neutralizar o alumínio do solo e fornecer cálcio e magnésio às plantas.

Os principais problemas de natureza química que ocorrem nesses solos são a deficiência de P, K, S, Ca, Mg, Zn, fixação de P, elevada toxicidade de alumínio e baixa CTC. Por outro lado, conforme Dematê e Dematê (1997) a saturação por alumínio, no complexo de troca da grande maioria dos solos, ultrapassa os 50%, considerado teor tóxico para a maioria das culturas, e a soma de bases trocáveis encontra-se abaixo dos valores

considerados críticos, o que aliado à carência dos demais nutrientes, representam os maiores entraves para o desenvolvimento adequado do sistema radicular das culturas.

Outra limitação à produção de soja nesses solos é a baixa disponibilidade de fósforo e potássio e a alta capacidade de retenção de fósforo. Por isso, a prática da adubação fosfatada e potássica é indispensável para a obtenção de alta produtividade segundo Sousa (1984).

A absorção de nutrientes pela soja é influenciada por diversos fatores, entre eles as condições climáticas, como a chuva e a temperatura, as diferenças genéticas entre as variedades, o teor de nutrientes no solo e os diversos tratamentos culturais. Contudo, é possível estimar as quantidades médias de nutrientes que estão presentes nos restos culturais e nos grãos da soja para cada tonelada de produção de grãos.

A soja *Glycine max* (L.) Merrill é considerada por Sfredo et al. (1986) uma cultura anual muito exigente em todos os macronutrientes essenciais. Para suprir adequadamente, através da calagem e da adubação, as necessidades crescentes da produtividade, é importante conhecer as quantidades absorvidas e exportadas de nutrientes pela cultura, a fim de não provocar o aparecimento de fator limitante por falta e nem por desequilíbrio nutricional, ou se a fertilidade do solo estiver a nível satisfatório, estabelecer a adubação que possibilite manter estável o rendimento ao longo dos cultivos (TANAKA et al., 1993).

Uma vez corrigidas as limitações nutricionais, esses solos podem se tornar tão produtivos quanto aqueles que apresentam características de fertilidade e acidez naturalmente favoráveis à cultura tornando possível o aproveitamento das áreas já desmatadas, com aumento da produtividade, sem promover a degradação do solo, preservando a floresta nativa.

A expansão da cultura da soja nas regiões de baixas latitudes do Brasil requer estudos para estabelecer tecnologias e manejo adequado para seu cultivo. As recomendações de adubações devem ser relacionadas com as análises de solos e a resposta da variedade utilizada no cultivo, visando à obtenção do máximo retorno por área, de tal maneira a atingir o retorno econômico máximo (SFREDO et al, 1994).

Desse modo, o trabalho tem como objetivo estabelecer curvas de respostas do fósforo e potássio para a cultura da soja nos municípios de Paragominas e Belterra, PA.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ACÚMULO DE NUTRIENTES NA MASSA SECA

Sfredo et al. (1986), após investigação de três anos, obtiveram informações sobre a absorção e distribuição de nutrientes em cultivar de soja Santa Rosa, de crescimento determinado, em Latossolo Roxo de textura média, sob vegetação de cerrado, na região nordeste do Estado de São Paulo. Os resultados mostram que o acúmulo de massa seca pela soja é um tanto lento até o início do florescimento. A partir desse período, até a fase de início de formação das vagens, a taxa de acúmulo é muito intensa.

A partir dessa fase, até cerca de noventa dias após o plantio, quando a fase vegetativa - folhas e hastes atinge o máximo de desenvolvimento, há o início da perda de peso de massa seca total. À medida que as sementes se desenvolvem há um decréscimo de peso de massa seca das hastes, vagens e, mais intensamente, das folhas. Essa perda de massa seca se deve, não só a translocação dos nutrientes para as sementes, mas também à queda das folhas.

As quantidades máximas de massa seca e nutrientes extraídas pela cultura da soja e a remoção pela semente foram obtidas por Sfredo e Panizzi, (1994). Segundo esses autores, o nitrogênio e o potássio são os elementos mais exigidos pela cultura. As sementes extraem quantidades muito pequenas de fósforo, cálcio magnésio e enxofre.

A maior proporção de nitrogênio, fósforo, enxofre e potássio, absorvida pela planta e removida para as sementes confirma a translocação desses elementos da parte vegetativa para as sementes.

Por outro lado, a maior parte de cálcio e magnésio permanece nos restos de cultura. Para os macronutrientes dados semelhantes foram obtidos por Pettersen e Jensen (1983). Não há grande variação na extração de nutrientes pelas de diferentes cultivares de soja.

Raper e Barber (1970) constaram que os cotilédones de plantas, com 06 dias, apresentam de 82 a 98 g/kg de nitrogênio, podendo alguns exibirem concentrações superiores a 104 g/kg. Aos 20 dias de idade, esses teores baixam até 30 g/kg, nos caules e 50 g/kg nas sementes. Uma concentração de nitrogênio menor que 50 g/kg nas sementes, foi encontrada em plantas com 35 dias de idade, com 15 g/kg, provenientes de sementes não inoculadas e sem nitrogênio em condições de laboratório, no período de florescimento à formação de vagens e sementes, a concentração de nitrogênio, nas folhas e hastes, diminui muito, provavelmente devido à translocação do elemento para as vagens e sementes.

Gerloff (1976), trabalhando com um solo franco arenoso, observou que a máxima concentração de nitrogênio na planta ocorreu em torno dos 110 dias após a germinação. Após esse período, o nitrogênio começa a ser translocado para as sementes.

A concentração de nitrogênio nas folhas é sempre maior, comparada com a dos demais macronutrientes em estudo. A concentração nas folhas também é, aproximadamente, três vezes aquela das hastes em todo o ciclo vegetativo (CHEVALIER e SCHRADER, 1977).

O fósforo é de particular importância para a produção de soja. Em nossos solos, geralmente pobres desse elemento, grandes quantidades de fertilizantes fosfatados são necessárias para a obtenção de elevados rendimentos. Ele é o macronutriente mais translocado (67%), seguido do nitrogênio (66%), do potássio (57%), do enxofre (39%), do magnésio (34%) e do cálcio (26%) (MALAVOLTA et al., 1989).

A ação do fósforo não se limita apenas à função específica de nutrição. Ele proporciona bom desenvolvimento do sistema radicular, influenciando, portanto, em todo o desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, no rendimento dos grãos. Favorece também o desenvolvimento das bactérias fixadoras de nitrogênio. Seu aproveitamento é máximo quando o pH do solo está situado entre 6 e 7. Dentre os adubos fosfatados, o superfosfato simples é especialmente recomendado, por conter, além do fósforo, o cálcio e o enxofre (GERLOFF, 1976).

A indicação da quantidade de nutrientes, principalmente em se tratando de adubação corretiva, é feita com base nos resultados da análise do solo.

Os teores de P extraível, podem ser obtidos pelo método Mehlich I e a correspondente interpretação, que varia em função dos teores de argila. Os níveis críticos de fósforo correspondem a 3, 8, 14 e 18 mg dm⁻³ de solo para os solos com teores de argila de 610 a 800 g kg⁻¹, 410 a 600 g kg⁻¹, 210 a 400 g kg⁻¹ de solo e menos de 200 g kg⁻¹ de solo, respectivamente. Em solos com menos de 150 g de argila kg⁻¹ de solo não se recomenda praticar agricultura intensiva. Duas proposições são apresentadas para a indicação de adubação fosfatada corretiva: a correção do solo de uma só vez, com posterior manutenção do nível de fertilidade atingido e a correção gradativa, através de aplicações anuais no sulco de semeadura (MALAVOLTA et al., 1989).

A adubação corretiva gradual pode ser utilizada quando não há a possibilidade de correção do solo de uma só vez. Essa prática consiste em aplicar, no sulco de semeadura ou a lanço, uma quantidade de P de modo a acumular, com o passar do tempo, o excedente e atingir, após alguns anos, a disponibilidade de P desejada.

Na cultura da soja, o potássio é o segundo nutriente mais absorvido e mais exportado pela colheita, superado apenas pelo nitrogênio, Borkert et al.(1994) não obtiveram respostas na produção da soja quanto à aplicação de K em solos com baixo teor desse nutriente, no Triângulo Mineiro, MG. Esse fato se deve à capacidade de as plantas explorar as reservas de potássio não-solúvel, como concluíram os autores. O potássio apresenta também concentração elevada, colocando-se em segundo lugar entre os macronutrientes. A concentração nas hastes é maior do que nas folhas durante todo o crescimento vegetativo, e ambas diminuem quando a soja atinge o final do ciclo. Essa diminuição no teor de potássio, tanto nas hastes como nas folhas, é aguda até os 40 dias (BATAGLIA e MASCARENHAS, 1982).

O potássio, de modo geral, não tem contribuído para o aumento de rendimentos, mas seus efeitos são sentidos na maior retenção na vagem, na haste, na redução da deiscência, na melhoria da qualidade das sementes e na maior resistência da planta a doenças (EMBRAPA, 2000).

A indicação para adubação corretiva com potássio, deve ser feita a lanço, em solos com teor de argila maior que 200 g de argila kg⁻¹ de solo. Em solos de textura arenosa (<200 g de argila kg⁻¹ de solo), não se deve fazer adubação corretiva de potássio, devido às acentuadas perdas por lixiviação. Como a cultura da soja retira grande quantidade de K nos

grãos (aproximadamente 20 kg de K_2O /tonelada de grãos), deve-se fazer a manutenção com 60 $kg.ha^{-1}$ de K_2O . Isso, se a expectativa de produção for de 03 $t.ha^{-1}$, independentemente da textura do solo. Nas dosagens de K_2O acima de 50 $kg.ha^{-1}$, recomenda-se utilizar a metade da dose em cobertura, principalmente em solos arenosos, 30 ou 40 dias após a germinação, respectivamente para cultivares de ciclo mais precoce e mais tardio (EMBRAPA, 2004).

2.2 ABSORÇÃO E FUNÇÃO DOS NUTRIENTES NA SOJA

Como toda planta anual, a soja também absorve nutrientes durante todo o seu ciclo vegetativo, mas, não com a mesma intensidade. Essa variação de absorção pode ser explicada por fatores como o aumento do volume de raízes, que amplia a área do solo explorado, do número e do tamanho das folhas, que contribui para maior absorção de energia. A assimilação de nutrientes vai depender, também, da eficiência das cultivares e da resposta às condições ambientais (de solo e clima, principalmente) a que estão submetidas (BORKERT et al., 1994).

O acúmulo de massa seca é lento nas primeiras semanas de crescimento da cultura, ocorrendo, no entanto, uma aceleração considerável a partir da quarta ou quinta semana até, aproximadamente, noventa ou cem dias, quando a fase vegetativa atinge o clímax (ROSOLEM, 1982).

Porém, mesmo nessa fase, a absorção não cessa totalmente e continua aumentando até a maturação dos grãos, apesar da queda das folhas que se verifica nesse estágio. A absorção de nitrogênio, fósforo, enxofre e molibdênio é mais lenta que a acumulação da massa seca e se concentra, principalmente, nos grãos, enquanto que, os demais nutrientes passam, ainda que em menores proporções, para os grãos e são absorvidos mais rapidamente, indicando um aumento de concentração no decorrer do desenvolvimento vegetativo. Boro e zinco acumulam-se similarmente à massa seca (ROSOLEM, 1982).

Como a quantidade de nutrientes encontrada no solo pode ser limitada, presume-se que, em algum tempo (que varia de acordo com a lavoura), essas reservas estarão esgotadas, o que implicará na necessidade de uma reposição.

Os nutrientes têm sua disponibilidade determinada por vários fatores, entre eles, o valor do pH do solo, medida da concentração (atividade) de íons hidrogênio na solução do solo. A disponibilidade varia como consequência do aumento da solubilidade dos diversos compostos na solução do solo (MALAVOLTA, 1980).

A compreensão do papel desempenhado pelos nutrientes e pelas interações que ocorrem entre eles pode, muitas vezes, explicar a falta de resposta esperada para determinada adubação aplicada à cultura da soja (MELHORANÇA et al., 1994).

Além da análise do solo, para indicação de adubação, há a possibilidade complementar da diagnose foliar, principalmente, para os micronutrientes, pois os níveis críticos desses no solo são ainda preliminares. Assim, a diagnose foliar é uma ferramenta complementar na interpretação dos dados de análise de solo, para fins de indicação de adubos, principalmente para a safra seguinte. Basicamente, a diagnose foliar consiste em analisar quimicamente as folhas e interpretar os resultados (MALAVOLTA, 1980).

Segundo Bataglia e Mascarenhas (1982) as sementes de soja contém, cerca de 400 g de proteína kg^{-1} de semente, ou seja 60 de nitrogênio kg^{-1} de semente. Essa necessidade em quantidade considerável, é suprida normalmente, sem muito dispêndio, pela fixação de nitrogênio atmosférico, através do sistema simbiótico entre a soja e as bactérias do gênero *Rhizobium*. A eficiência do sistema depende do pH do solo e da disponibilidade de fósforo, cálcio, magnésio, molibdênio e enxofre.

Os teores dos macronutrientes, em geral, são maiores na parte reprodutiva (vagens mais sementes), quando se compara com a parte vegetativa. Para nitrogênio, fósforo e potássio, suas concentrações são bem mais elevadas, enquanto que, para cálcio, magnésio e enxofre as diferenças são menores. Pettersen e Jensen (1983) verificaram que os teores de cálcio eram mais baixos na parte reprodutiva, e Arnon (1996) observou teores mais baixos de cálcio e magnésio, mostrando a reduzida translocação desses elementos. O fósforo é essencial na transferência de energia nas células vivas, por meio de ligações ricas em energia do trifosfato de adenosina (ATP). Essas ligações, altamente energéticas, governam o mecanismo da síntese de constituintes celulares (MALAVOLTA, 1980).

Assim, o fósforo é de importância vital na formação e translocação de carboidratos, ácidos graxos, glicídios e produtos intermediários essenciais. O fósforo entra na composição de núcleo-proteínas, componentes básicos dos núcleos das células e de

fosfatídeos que ocorrem nas sementes de soja. Em condições de deficiência de fósforo, o próprio crescimento da planta é afetado, havendo uma redução na atividade do sistema simbiótico de fixação do nitrogênio (ROSOLEM, 1982).

O potássio é o nutriente extraído em grande quantidade pelas sementes de soja, superado apenas pelo nitrogênio e apresenta grande eficiência no balanço nutricional da planta. O potássio envolve-se na absorção do cálcio e do magnésio e fisiologicamente o potássio está relacionado como ativador de um grande número de enzimas. Na sua deficiência, pode ocorrer acúmulo de carboidratos solúveis e aminoácidos livres ou amidas, e diminuição de amido e da síntese de proteína (ROSOLEM, 1982).

O cálcio e o magnésio têm papel importante na fixação simbiótica do nitrogênio. Por esse motivo, é importante a presença desses nutrientes nos solos onde se pretende cultivar soja. Por outro lado, o excesso desse nutriente poderá induzir deficiência de outros elementos como fósforo, ferro e potássio. A imobilidade do cálcio, e em menor proporção, do magnésio, exige um suprimento constante desses nutrientes para manter um ótimo desenvolvimento da planta. A deficiência de magnésio interfere no movimento do fósforo, da parte vegetativa, para as sementes (GUILHERME et al., 1988).

Os micronutrientes, de fontes solúveis ou insolúveis em água, são aplicados a lanço, desde que o produto satisfaça a dose indicada. O efeito residual dessa indicação atinge, pelo menos, um período de cinco anos. Para a reaplicação de qualquer um desses micronutrientes, é necessário consultar a análise foliar como instrumento indicador, que com o objetivo de diagnosticar possíveis deficiências ou toxicidade de micronutrientes em soja, constitui-se em argumento efetivo para correção via adubação de algum desequilíbrio nutricional. Porém, tais correções só se viabilizarão na próxima safra, considerando que, para as análises, a amostragem de folhas é indicada o período da floração, a partir do qual não é mais possível realizar correção de ordem nutricional. A aplicação de micronutrientes no sulco de semeadura tem sido bastante utilizada pelos produtores. Nesse caso, aplica-se 1/3 da indicação a lanço por um período de três anos sucessivos. No caso do Mo e do Co, indica-se a aplicação via semente com as doses de 12 a 30 g ha⁻¹ de Mo e 2 a 3 g ha⁻¹ de Co, conforme especificação no rótulo dos produtos comerciais, que devem apresentar alta solubilidade (MALAVOLTA, 1980).

No caso de deficiência de manganês, constatada através de exame visual, indica-se a aplicação de 350 g ha⁻¹ de Mn (1,5 kg de MnSO₄) diluído em 200 litros de água com 1 kg de uréia (GUILHERME et al., 1988). A adubação foliar não é indicada a outros macro ou micronutrientes para a cultura da soja.

2.3. EFEITOS DOS MACRONUTRIENTES

2.3.1. NITROGÊNIO

O nitrogênio necessário para o desenvolvimento e produção da soja é suprido em sua maior parte pelo nitrogênio oriundo da atmosfera, fixado nos nódulos, obtido através da fixação simbiótica entre a bactéria (*Rhizobium japonicum*) e a planta, o N fornecido pelo solo e do adubo nitrogenado aplicado.

A necessidade de nitrogênio em quantidades relativamente grandes, nos níveis de produtividade que se tem obtido em nossas condições, podem ser supridas pela simbiose com as bactérias do gênero *Rhizobium*. Segundo Borkert et al. (1994), para a produção de 3.000 kg ha⁻¹ de grãos, a cultura necessita de 160 a 210 kg ha⁻¹ de nitrogênio fornecidos pela fixação simbiótica, para armazenamento na folha e para translocação no período de enchimento de grãos, a planta já deve ter nas folhas mais de 45 g de nitrogênio kg⁻¹ de matéria seca no período da floração, para não haver redução no rendimento de grãos. Entretanto em maiores níveis de produção (acima de 3.000 kg ha⁻¹), considerando que grande parte do nitrogênio é absorvido depois do florescimento, numa época que a atividade da simbiose está em declínio, segundo Rosolem (1982), a soja deve absorver nitrogênio de outra fonte que não o sistema simbiótico.

Bataglia e Mascarenhas (1982) demonstraram que existe atividade dos nódulos até que os grãos da soja estejam praticamente maduros, sendo que a maior atividade ocorreu no período de formação das vagens.

Alguns autores concordam que a aplicação de nitrogênio na forma de adubo faz com que seja diminuída a fixação simbiótica do mesmo, mas tem sido utilizadas doses relativamente altas de adubos nitrogenados. Franco et al. (1978) demonstraram que a aplicação de adubos nitrogenados fez com que fosse aumentado o N total contido na planta,

mas não houve aumento de produção correspondente. Sem aplicação do adubo, 40% do nitrogênio total da planta veio da fixação simbiótica e com a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N, esse valor caiu para 16%.

O efeito prejudicial do nitrogênio do adubo sobre a fixação simbiótica pode ser explicado admitindo-se que a aplicação do nitrogênio induz a síntese de mais proteína para o crescimento, desviando para esse fim os produtos da fotossíntese que normalmente iriam alimentar as bactérias do nódulo, diminuindo assim a fixação. Além do efeito direto do adubo nitrogenado na simbiose, este pode ser mais ou menos intenso em função das condições ambientais, pois temperaturas altas e deficiência de água agravam os efeitos descritos (BORKERT et al., 1994).

O período crítico da nutrição nitrogenada da soja ocorre desde a formação do primórdio das flores até depois do florescimento. Níveis adequados de nitrogênio na planta são necessários nesta época para que haja boa retenção das flores e bom desenvolvimento da área foliar, proporcionando altas produtividades e a aplicação de nitrogênio nesta época pode proporcionar aumentos de produção (SFREDO et al., 1986).

2.3.2. FÓSFORO

O fósforo além de ser constituinte de nucleoproteínas e fosfatídeos que ocorrem nos grãos de soja, e da importância fundamental do ATP no metabolismo da planta, é essencial para a atividade simbiótica, sendo exigido pela soja em concentrações relativamente altas.

A disponibilidade de fósforo para as plantas, está grandemente ligada ao pH do solo. À medida que o pH diminui a partir de 6,5 a disponibilidade do fósforo diminui, motivada pela precipitação dos radicais fosfatos pelos íons Al⁺⁺⁺ e Fe⁺⁺⁺, que existem em grande quantidade no solo quando o pH é baixo. Por outro lado, na faixa do pH entre 7,0 a 7,5 o fósforo precipita-se na forma de fosfato de cálcio que é também muito pouco disponível. O solo com pH entre 6,0 e 7,0 dá condições de máxima solubilidade ao fósforo (RAIJ, 1991).

A resposta da soja em rendimento de grãos à adubação fosfatada depende da disponibilidade de fósforo no solo, com altos teores de fósforo no solo, em geral a resposta

da soja é pequena ou ausente, enquanto que, com baixos ou médios teores tem-se obtido respostas altamente significativas (SOUSA et al., 1993).

Bataglia e Mascarenhas (1982), relatam que além de causar um aumento no número e no peso dos nódulos, a aplicação do fósforo faz com que ocorra um aumento de até 3 vezes na atividade dos nódulos. Existem ainda indicações de que as bactérias são mais exigentes em fósforo do que a planta de soja.

2.3.3. POTÁSSIO

O potássio é o segundo nutriente mais absorvido e mais exportado pela soja sendo superado apenas pelo nitrogênio. É ainda muito importante para o metabolismo e crescimento da planta, em função do grande número de enzimas que são por ele ativadas, e tem ainda grande influência no balanço nutricional.

É muito conhecida a relação do potássio com o cálcio e magnésio, sendo que as porcentagens de Ca e Mg são frequentemente reduzidas com a aplicação do potássio. Entretanto o maior crescimento da planta em resposta à adubação com potássio pode fazer com que ela contenha maiores quantidades de Ca e Mg.

Soares (1978) estudou estes efeitos e demonstrou que doses pequenas de potássio apresentam efeito sinérgico com o Ca e Mg, promovendo maior absorção destes nutrientes e maiores produções, mas, doses mais elevadas de potássio fazem com que diminua bastante a absorção de Ca e Mg pela soja. Existe ainda um efeito negativo da aplicação em excesso de Ca e Mg na absorção de potássio.

É também conhecida a interação fósforo e potássio, sendo que, para se obter um máximo de absorção de potássio, é necessária a presença de fósforo disponível. As relações entre fósforo e potássio na produção de grãos são claramente expressas pela ocorrência de deficiência induzida de potássio. Isto pode ocorrer quando o fósforo é aplicado em solos pobres em fósforo e potássio.

O potássio promove aumentos na nodulação e fixação do nitrogênio, no número de vagens por planta, na porcentagem de vagens granadas, no tamanho da semente, no teor de óleo da semente, e diminui o dano causado por nematóides e confere certa resistência ao fungo *Diaporthe phaseolorum* (MASCARENHAS et al., 1976).

2.3.4. CÁLCIO

O cálcio no solo encontra-se na forma de carbonatos, silicatos, fosfatos, sulfatos, na matéria orgânica e em solução (MALAVOLTA, 1980). Os teores de cálcio nos solos dependem do seu material de origem e do seu grau de intemperismo e de lixiviação que os mesmos sofreram na sua formação (TANAKA et al., 1993), segundo os autores o cálcio é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade, tanto para a nodulação ser eficiente como para o crescimento do *Rhizobium*.

É muito difícil separar os efeitos do CaCO_3 como neutralizador do pH e como nutriente. Embora existam estudos demonstrando que o efeito do cálcio na fixação do nitrogênio dependa do pH, não havendo efeito favorável quando este é menor que 5,0, outros trabalhos, em solução nutritiva (MENGEL & KIRKBY, 1982) mostram que, entre pH 4 e 6, a concentração de ions H^+ teve pouca importância na fixação, mas, o efeito do cálcio foi significativo.

2.3.5. MAGNÉSIO

O magnésio encontra-se no solo na forma de minerais primários, carbonatos e sulfatos, minerais secundários, e na matéria orgânica (MALAVOLTA, 1980). O teor de magnésio trocável no solo varia entre 0,2 e 1,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo.

As plantas absorvem magnésio da solução do solo na forma de Mg^{++} (TANAKA et al., 1993). Sua taxa de absorção pode ser bastante reduzida por outros cátions como K^+ , Ca^{++} , Mn^{++} , assim como pelo H^+ .

Além de seus efeitos na planta, o magnésio é essencial para a fixação simbiótica do nitrogênio, agindo direta ou indiretamente, através do acréscimo nas taxas de fotossíntese e de crescimento (BORKERT et al., 1994).

Aumentando-se o magnésio disponível, há um decréscimo na absorção de potássio e cálcio, e parece haver influência do magnésio na distribuição do fósforo da parte vegetativa da planta para as sementes de soja (SFREDO et al., 1986).

É importante ressaltar que um excesso de calagem, ou seja, de cálcio e magnésio pode acentuar uma eventual deficiência de potássio do solo.

2.3.6. ENXOFRE

O enxofre ocorre no solo nas formas orgânicas e inorgânicas, sendo esta última a forma absorvida pelas plantas (TANAKA et al., 1993). A forma inorgânica predominante de enxofre no solo é SO_4^{2-} , com um acúmulo na forma dos compostos com cálcio, magnésio e sódio.

Segundo Mengel e Kirkby (1982), o nível ótimo de enxofre para o crescimento das plantas varia entre 0,2 e 0,5% em peso relativo à matéria seca, os mesmos autores relatam que as leguminosas são mais exigentes que as gramíneas quanto a este nutriente.

Plantas deficientes em enxofre apresentam menores teores de aminoácidos sulfurados e menor síntese de proteínas. A nutrição com enxofre deverá receber mais atenção à medida que a qualidade dos grãos se tornar mais importante, porque o teor de metionina é um fator limitante do valor nutricional da soja (MEURER et al., 1981).

A deficiência de enxofre reduz o tamanho dos nódulos e a fixação do nitrogênio, segundo Borkert et al. (1994), ocorrendo com maior frequência em solos tropicais ácidos.

2.4 DIAGNOSE FOLIAR

A diagnose foliar consiste na avaliação do estado nutricional das culturas por meio da análise do conteúdo de nutrientes contidos em determinadas folhas em períodos definidos da vida da planta. A diagnose foliar procura associar e relacionar os teores foliares e a produção das culturas. São quatro as etapas que devem ser cumpridas em um programa que utiliza a análise foliar, no diagnóstico do estado nutricional das plantas. Assim, a Diagnose Foliar é uma ferramenta complementar na interpretação dos dados de

análise de solo, para fins de indicação de adubos, principalmente para a safra seguinte (MALAVOLTA et al., 1989).

Basicamente, a Diagnose Foliar consiste em analisar, quimicamente, as folhas e interpretar os resultados da análise foliar. Os trifólios a serem coletados, sem o pecíolo, são o terceiro e/ou o quarto, a partir do ápice de, no mínimo, 40 plantas no talhão, no início da floração. Quando necessário, para evitar a contaminação com poeira de solo nas folhas, sugere-se mergulhá-las em água, simplesmente para a remoção de resíduos de poeira e em seguida colocadas para secar à sombra e após embaladas em sacos de papel (BORKERT et al., 1994).

2.5 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DA SOJA

A exigência nutricional da soja segundo Sfredo et al. (1986) obedece a seguinte ordem decrescente N, K, Ca, Mg, P, e S, sendo que o máximo acúmulo de todos os nutrientes ocorre entre 82-92 dias de idade das plantas e o período de maior taxa de absorção dos macronutrientes ocorre entre 30 a 58 dias de idade. Por outro lado entre 20 a 39 dias de idade das plantas, 50% da quantidade total dos nutrientes já estavam absorvidos.

A absorção de nutrientes pela soja é influenciada por diversos fatores, entre eles as condições climáticas, como chuva e temperatura, as diferenças genéticas entre as variedades, o teor de nutrientes no solo e os diversos tratos culturais. Entretanto, é possível estimar as quantidades médias de nutrientes que estão presentes nos restos culturais e nos grãos da soja para cada tonelada de produção, segundo Borkert et al. (1994) o nutriente mais requerido pela soja é o nitrogênio. Portanto, para uma produção de 3.000 kg/ha, há necessidade de 246 kg de nitrogênio, que são obtidos, em pequena parte, do solo (25% a 35%) e, na maior parte, pela fixação simbiótica do nitrogênio (65% a 85%). Por estes dados pode-se avaliar a importância de se fazer uma inoculação bem feita, com inoculante de boa qualidade, para ter eficiência na fixação simbiótica do nitrogênio do ar a custo zero, através das bactérias nos nódulos das raízes da soja. Por isso, deve-se evitar a adubação com nitrogênio mineral, pois, além de causar a inibição da nodulação e reduzir a eficiência da fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico não aumenta a produtividade da soja. Quando

a adubação for feita com adubo formulado, cuja fórmula possua e esta seja de menor custo que a mesma fórmula sem nitrogênio, pode-se utilizá-la na semeadura desde que não ultrapasse 20 kg ha^{-1} de N. Para que a fixação simbiótica seja eficiente, há necessidade de se corrigir a acidez do solo e fornecer os nutrientes que estejam em quantidades limitantes (ROSOLEM et al., 1982).

Os macronutrientes requeridos em maiores quantidades são o N e o K, seguidos do Ca, Mg, P e S. Entretanto cerca de 75 a 85% do Ca e 50 a 78% do Mg acumulados retornam ao solo nos restos de cultura, de modo que a quantidade de nutrientes exportados pelos grãos segue a ordem: $N > K > P > Ca > Mg = S$ (EMBRAPA, 2000).

Em relação aos micronutrientes, é importante observar as pequenas quantidades necessárias para suprir a cultura da soja, porém não se deve deixar faltar nenhum deles, pois todos são essenciais, e com a falta de apenas um deles não haverá bom desenvolvimento e rendimento de grãos (BORKERT et al., 1994).

2.6 ADUBAÇÃO DA CULTURA DA SOJA

A adubação da soja é feita normalmente na época do plantio, entretanto, em regiões onde se pratica a rotação arroz-soja, é viável a aplicação dos adubos necessários para as duas culturas antes do cultivo do arroz, o que permite que seja eliminada esta operação na semeadura da soja, tendo como consequência o ganho de tempo. Por outro lado, (SFREDO, et al., 1986) demonstraram que se pode obter excelentes resultados quando todos os adubos são colocados na semeadura do arroz, com preparo convencional do solo, e depois se cultiva a soja com plantio direto. As adubações fosfatadas e potássicas são recomendadas com base na análise de solo, de acordo com as classes de disponibilidade desses nutrientes. Os níveis críticos de fósforo e de potássio no solo, bem como as necessidades de adubação, variam com a textura do solo. Estas adubações são definidas como adubação corretiva e adubação de manutenção (SOUSA, et al., 1993).

2.6.1 ADUBAÇÃO FOSFATADA

Duas proposições são apresentadas para a recomendação de adubação fosfatada corretiva: a correção do solo de uma só vez, com manutenção do nível de fertilidade e a correção gradativa, através de aplicações anuais no sulco de plantio (SOUSA et al., 1993).

Recomenda-se aplicar a adubação corretiva total a lanço e incorporar o adubo à camada arável, para proporcionar um maior volume de solo corrigido, a fim de que as raízes das plantas se desenvolvam e absorvam água e nutrientes. Doses inferiores a 100 kg de P_2O_5 /ha, no entanto, devem ser aplicadas não sulco de plantio, à semelhança da adubação corretiva gradual.

A adubação corretiva gradual pode ser utilizada quando não se tem a possibilidade de fazer a correção do solo de uma vez. Essa prática consiste em aplicar, no sulco de plantio, uma quantidade de fósforo superior à indicada para a adubação de manutenção, acumulando-se o excedente com o passar do tempo, até atingir, após alguns anos, a disponibilidade de fósforo desejada. Ao se utilizar as doses de adubo fosfatado sugeridas por Sousa et al.(1993), espera-se que num período máximo de seis anos o solo apresente teores do elemento em torno do nível de suficiência.

A adubação de manutenção é indicada quando o nível de fósforo do solo está classificado como médio ou bom, e para a cultura da soja é de 60 kg de P_2O_5 /ha, com uma expectativa de produção de 3.000 kg/ha. Para produtividades maiores, a manutenção deve ser proporcionalmente aumentada. Caso se pretenda produzir 4.000 kg de grãos de soja/ha, por exemplo, a adubação de manutenção deverá ser de 80 kg de P_2O_5 /ha. A adubação de manutenção é independente da adubação corretiva e deverá ser sempre efetuada, pois se pretende manter o nível do nutriente no solo e repor a parte exportada pelos grãos (EMBRAPA, 2000).

A escolha de uma alternativa de adubação depende do planejamento de utilização da propriedade agrícola. Assim, a opção pela alternativa de adubação corretiva só deve ser considerada se a área vier a ser cultivada por um prazo mínimo de 5 anos com culturas anuais que tenham potencial de resposta ao fósforo, como milho, soja, feijão e trigo. Essa alternativa deve ser considerada como investimento, pois a adubação fosfatada apresenta um efeito residual mínimo de 5 anos.

Um exemplo de avaliação econômica das diferentes alternativas de adubação fosfatada foi apresentado por Sousa et al., (1993), para um período de 5 anos de cultivo de soja. Os custos com serviços e insumos foram equivalentes ao valor de 1200 kg ha⁻¹ de grãos de soja. Foi necessário 60 kg de grãos de soja para pagar 10 kg de P₂O₅.

A adubação corretiva total, a lanço, mais a de manutenção foi a alternativa que apresentou maior margem bruta, seguida da adubação corretiva gradual. A relação benefício/custo foi superior a 1, tanto na adubação corretiva, a lanço, com na corretiva gradual, no sulco. Com a aplicação de uma dose de 50 kg de P₂O₅ ha⁻¹, considerada abaixo das doses recomendadas, por cinco cultivos sucessivos, essa relação foi inferior a 1, o que significa que a receita foi inferior às despesas. Em geral, a partir do terceiro cultivo de soja a receita se iguala ou supera as despesas, utilizando-se tanto a adubação corretiva total quanto a gradual.

2.6.2. ADUBAÇÃO POTÁSSICA

De maneira geral, os solos da região dos cerrados são bastante intemperizados, e a reserva de potássio nesses solos não é suficiente para suprir a quantidade extraída pela cultura da soja por longos períodos de tempo. Portanto, o seu suprimento às plantas deve ser feito através da adubação potássica (SOUSA, 1984).

A resposta da cultura da soja à adubação potássica é muito grande. Pelos dados apresentados por Sousa et al., (1993) observa-se que o simples incremento de 24 para 45 mg de K kg⁻¹ de solo no teor de potássio do solo propiciou um aumento de 840 kg ha⁻¹ de grãos. Este aumento na produtividade foi obtido com a adição de 100 kg ha⁻¹ de K₂O ou 170 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. Esta adubação foi suficiente para elevar o teor de potássio no solo próximo ao nível de suficiência (50 mg kg⁻¹) e para suprir a cultura. Os dados mostram que para cada quilo de K₂O aplicado ao solo a soja produziu 8,4 quilos de grãos a mais do que o solo sem adubação potássica, dando, após o pagamento do adubo, um lucro de 660 kg ha⁻¹ de grãos de soja. Acrescenta-se a este lucro o aumento da disponibilidade deste nutriente no solo.

Sousa (1984), observou que, em Latossolo Escuro argiloso do cerrado, o simples aumento de 24 para 45 mg kg⁻¹ de K aumentou a produtividade de grãos. O mesmo autor considera como nível de suficiência, neste tipo de solo, 50 mg kg⁻¹ de K, enquanto que o nível de suficiência de potássio para solos mais arenosos é de 30 mg kg⁻¹ de solo.

A recomendação para adubação corretiva com potássio, de acordo com a análise de solo, é apresentada pela EMBRAPA (2004). A adubação corretiva total deve ser feita a lanço, em solos com teor de argila maior que 200 g de argila kg⁻¹ de solo. Em solos mais arenosos (menos que 200 g de argila kg⁻¹ de solo), pode-se fazer adubação corretiva total de potássio tomando-se metade da dose recomendada para solos com teor de argila acima de 200 g kg⁻¹ de solo para cada classe de disponibilidade de potássio na análise. É importante lembrar que nestes solos podem ocorrer acentuadas perdas por lixiviação, pois a capacidade de troca de cátions (CTC) destes solos é, em geral, inferior a 4 cmol_c dm⁻³ de solo.

Uma outra alternativa de correção do solo para o potássio, é a corretiva gradual, que consta de aplicações anuais, superiores à adubação de manutenção, realizadas no sulco de plantio. Espera-se que, após um período máximo de cinco anos, o solo estará com o nível de potássio próximo ao suficiente, ou seja, 50 ppm para solos com teor de argila acima de 20% e/ou CTC acima de 4 meq/100 cm³.

A aplicação dos adubos potássicos (cloreto de potássio) nos solos de cerrados deve ser feita preferencialmente a lanço, pois estes solos possuem baixa CTC. A alta concentração provocada por grandes quantidades do adubo (em torno de 100 kg de K₂O/ha), distribuídos em pequenos volumes de solo, favorece as perdas por lixiviação.

Vem sendo avaliada a possibilidade de se fazer a adubação potássica a lanço ou em cobertura em solos arenosos. Trabalhos desenvolvidos na região de Barreiras-BA, pela EPABA, em solo arenoso com a cultura da soja, mostram uma grande diferença na eficiência da adubação potássica em função da forma de aplicação (SOUSA et al., 1993). Para a dose de 60 kg ha⁻¹ de K₂O, o acréscimo no rendimento de grãos foi de 366 kg ha⁻¹ quando aplicada no sulco de plantio. Entretanto, a mesma dose aplicada a lanço promoveu um incremento de 629 kg ha⁻¹, e quando o potássio foi aplicado metade no sulco e metade em cobertura o aumento de rendimento foi de 727 kg ha⁻¹.

Então, para solos com teor de argila menor que 200 g kg⁻¹ de solo, a alternativa mais recomendada seria a adubação corretiva gradual a lanço ou parcelada. O parcelamento da

adubação potássica em soja deve ser realizado da seguinte forma: 50% da dose no sulco de plantio e os 50% restantes em cobertura, mais ou menos 30 dias após a emergência.

Quando o teor de potássio no solo for considerado bom, recomenda-se a adubação de manutenção, que é baseada na expectativa de produção da cultura da soja. Assim, se a expectativa de produção for de 3.000 kg ha⁻¹ de grãos, deve-se aplicar 60 kg ha⁻¹ de K₂O, pois a soja exporta cerca de 20 kg de K₂O em cada tonelada de grãos (EMBRAPA, 2004).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

O trabalho experimental foi realizado nos anos agrícolas de 2001/2002, no campo experimental da Embrapa Amazônia Oriental nos Municípios de Paragominas localizado na mesorregião do Nordeste Paraense e em Belterra localizado na mesorregião do Oeste Paraense, áreas consideradas representativas para o cultivo de grãos no Estado do Pará.

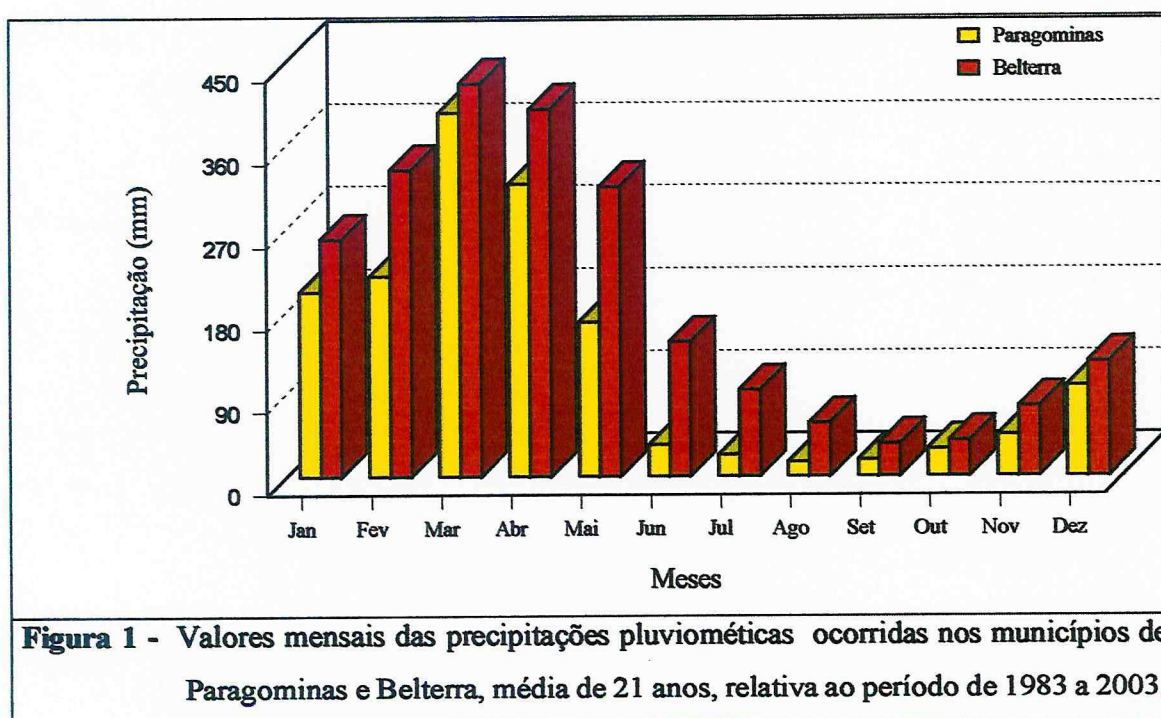
O Município de Paragominas está localizado às margens da rodovia Belém-Brasília, pertencente ao polo de Paragominas que é formado pelos municípios a partir de São Miguel do Guamá até Dom Eliseu, cobrindo uma extensão de 330 quilômetros. As áreas que compõem este pólo, em torno de 5,37 milhões de hectares, vem sendo utilizadas, nos últimos 35 anos, para a implantação de pastagens e o criatório de gado de corte e a exploração madeireira. O relevo se apresenta como suave a fortemente ondulado e os solos, são classificados, em sua maioria, no grupo Latossolo Amarelo, textura argilosa e muito argilosa, com boas propriedades físicas e baixa concentração de alumínio, não apresentam impedimentos de ordem física e ambiental para a produção de grãos (RODRIGUES et al., 1999). O local do experimento apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude 02°57' 24" S; Longitude 47°31' 36" W; e altitude média de 85 m.

Enquanto o Município de Belterra, está situado no polo de Santarém, sendo composto pelos municípios de Belterra, Santarém, Rurópolis, Itaituba, Trairão e Novo Progresso na margem direita do Rio Amazonas e Alenquer, Monte Alegre na margem esquerda do Rio Amazonas, com uma área total aproximada de 15,3 milhões de hectares. O apoio logístico do porto de Santarém, o asfaltamento da BR 163 (Cuiabá - Santarém) até o entroncamento com a Transamazônica, a navegabilidade do rio Tapajós até Itaituba, onde se concentra as maiores jazidas de calcáreo dolomítico de toda a região, a recente implantação do Tromoeste, que serve a região com energia elétrica oriunda da hidrelétrica

de Tucuruí e o conjunto de solos com boa aptidão para a produção de grãos, conferem a esse polo um amplo potencial de desenvolvimento, os solos representativos são Latossolos Amarelos distróficos coesos de textura muito argilosa, os quais, são profundos, bem drenados, friáveis, porosos e permeáveis (RODRIGUES et al., 2003 b). O local do experimento apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude 02°38' S; Longitude 54°57' W; e altitude média de 175 m

3.2 CLIMA DAS ÁREAS DE ESTUDO

O Município de Paragominas, segundo a classificação de Köppen, apresenta clima do tipo Aw. A temperatura média anual de 26,3 °C, a umidade relativa do ar média de 81% e a precipitação pluviométrica anual de 1800 mm. Enquanto o município de Belterra, segundo a classificação de Köppen, apresenta clima do tipo Am. A temperatura média anual de 26 °C, a umidade relativa do ar média de 80% e a precipitação pluviométrica anual de 1900 mm (BASTOS, 1972), correspondendo a dois períodos, um chuvoso que compreende os meses de dezembro a junho e outro menos chuvoso que abrange os meses de julho a novembro (Figura 1).



3.3 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS

As amostras de solo para determinação das análises químicas e físicas, foram coletadas antes da instalação dos experimentos na camada de 0 - 20 cm de profundidade.

As análises químicas foram realizadas no laboratório de solos da Embrapa Amazônia Oriental, segundo metodologia adotada pela Embrapa (1997), realizando as determinações de pH(H₂O), C, MO, P, K, Ca, Mg, Al e, com base nesses resultados, calculou-se a capacidade de troca de cátions (CTC) e a V%. Os resultados das análises químicas e físicas do solo, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas e físicas da área experimental antes da instalação do experimento, na camada de 0-20 cm de profundidade ⁽¹⁾.

Características químicas	Paragominas	Belterra
pH (CaCl ₂)	5,2	4,1
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,1	1,0
H+ Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,91	6,5
P (Melich) mg. dm ⁻³	2,5	4,0
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,13	0,11
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,9	1,5
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,5	0,3
SB (cmol _c dm ⁻³)	3,53	1,91
CTC (cmol _c dm ⁻³)	7,44	8,4
V (%)	47,4	22,7
M. Orgânica (%)	3,2	4,0
Características físicas		
Areia (g. kg ⁻¹)	300	200
Silte (g. kg ⁻¹)	100	220
Argila total (g. kg ⁻¹)	600	580

⁽¹⁾Análises realizadas no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental.

Os procedimentos utilizados nas análises químicas foram os seguintes: pH em água, usando eletrodo de vidro, em suspensão na proporção solo-líquido 1:2,5; cálcio e magnésio foram extraídos com KCl e determinados por absorção atômica; potássio e o sódio extraídos com HCl 0,05N, na proporção 1:10 e determinados por fotometria de chamas; acidez extraível, incluindo alumínio extraído com KCl N e titulado com NaOH 0,025N e indicador azul de bromotimol; e, hidrogênio e alumínio extraído com $\text{Ca}(\text{Oac})_2\text{N}$ a pH 7,0, titulado com NaOH 0,06N e indicador de fenolftaleína, sendo o hidrogênio calculado por diferença; o fósforo assimilável, extraído com HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N (Mehlich 1) e determinado por colorimetria; o carbono orgânico, por oxidação via úmida com K_2CrO_7 0,4N e titulação pelo $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2,6 \text{H}_2\text{O}$ 0,1N e indicador difenilamina.

As análises físicas, constam apenas da determinação granulometria que foram feitas através do método da pipeta, utilizando-se NaOH a 5% como dispersante, seguindo a metodologia descrita por Embrapa (1997).

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial, 4 x 4, correspondendo a quatro doses de fósforo e quatro doses de potássio. Os tratamentos corresponderam as doses de fósforo (0; 80; 160 e 240 kg ha^{-1} de P_2O_5) na forma de superfosfato simples e as doses de potássio (0; 60; 120 e 180 kg ha^{-1} de K_2O) na forma de cloreto de potássio. A parcela experimental foi composta de quatro fileiras de 5 m de comprimento e 2 m de largura, correspondendo a uma área total de 10 m^2 . Na colheita foram eliminadas as duas fileiras laterais e 50 cm nas extremidades das fileiras, correspondendo a área útil de 4 m^2 .

3.5 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Foi utilizada a cultivar samambaia como indicadora, uma vez que a mesma associa alto nível de produtividade, adaptabilidade ampla e evidencia alta previsibilidade de comportamento, favorecendo o cultivo no Pará e Maranhão (EL-HUSNY et al., 1998; EL-HUSNY et al., 2001), com espaçamento de 50 cm entre fileiras, com densidade de 20

semente/metro linear. A necessidade de calagem foi baseada na elevação da saturação por bases de acordo com Raij et al. (1996), e tendo sido realizada 60 dias antes do plantio, utilizou-se calcário dolomítico com PRNT 90%, visando aumentar a saturação por base, ao valor de 70%.

A adubação fosfatada foi realizada de uma única vez no sulco de plantio e a potássica foi parcelada em duas vezes; 1/3 no plantio e 2/3 em cobertura 30 dias após a germinação, ou seja, no início do florescimento de acordo com os tratamentos.

Foi avaliada a produtividade (peso de 100 sementes, peso de grãos em kg/parcela, produção de grãos em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), altura das plantas, inserção da primeira vagem, grau de acamamento, grau de deiscência da vagem, número de dias de florescimento, umidade de grãos na época da colheita e anotações de aparecimento de pragas e doenças, além das análises químicas da planta (coletando se a terceira ou quarta folha em número de 20 trifoliadas no início do florescimento para determinar, Na; N; P; K; Ca; Mg;).

3.6 ANÁLISES QUÍMICAS DAS PLANTAS

As análises de plantas também foram realizadas no laboratório de solos da Embrapa Amazônia Oriental. As amostras do material colhido foram digeridos em ácido nítrico e perclórico concentrados, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1989). Foram determinados os seguintes nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn. Para determinação de N foi feita a digestão por oxidação sulfúrica de 200 mg de matéria seca, com destilação em aparelho microkjeldahl e titulação com H_2SO_4 0,01N. O P, por colorimetria de molibdato – vanadato, o K por fotometria de chama, o Ca e o Mg por espectrometria de absorção atômica, segundo metodologia descrita por Sarruge e Haag (1974). O Cu, Fe, Mn e Zn por espectrometria de absorção atômica.

3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística utilizando-se o programa estatístico SAS (Statistical Analysis System), utilizando-se os módulos GLM, ANOVA E REG (SAS, 1993). Foram ajustadas equações de regressão, para todas as variáveis

estudadas, em função das doses de P_2O_5 e K_2O . A determinação dos efeitos foi obtida por meio de análise de variância e a significância dos efeitos por meio de teste F, no nível de significância de 5% (GOMES, 1987). Dada a significância dos efeitos, os desdobramentos foram efetuados sob a forma de ajustes lineares e quadráticos, bem como no caso da interação ajuste do modelo de superfície de resposta linear ou quadrática. A partir destes modelos foram definidos os valores de doses ótimas ou adequadas.

Além dos modelos lineares clássicos, já utilizados na determinação de doses, foram utilizados as funções de Cobb-Douglas e Spillman-Mitscherlich.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA SOJA

Nas Tabelas 2 e 3, são apresentados os resultados da aplicação da adubação fosfatada e potássica sobre os parâmetros de crescimento e de produtividade.

Observa-se que a altura das plantas, a inserção da 1ª vargem e o peso de 100 sementes não foram influenciados pela aplicação dos diversos tratamentos utilizados, houve efeitos significativos sobre a produtividade de grãos da soja em relação a testemunha, nos dois locais estudados Paragominas e Belterra.

Sousa et al. (1987) estabeleceram como nível crítico de fósforo, para solos de cerrado com teor de argila entre 21 e 40%, 14 ppm de fósforo e o nível de 5,1 a 10 ppm de fósforo como baixo. Os mesmos autores recomendam para a região do cerrado 60 kg de P_2O_5 como adubação de manutenção.

Oliveira et al (1992), estudando o efeito de adubações fosfatada na nodulação e rendimento da soja num Latossolo Amarelo da região amazônica, mostraram que o fósforo no solo aumentou de três para 16 mg/kg, quando foram aplicados $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 na soja. A produção da soja nos mesmos tratamentos aumentou de 239 para $2.348 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de grãos, e o teor de fósforo na planta aumentou de 0,18%, para 0,30%.

Lobato (1982), observou grande incremento na produção de soja até a dose de $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 , aplicado a lanço, em Latossolo Vermelho Amarelo argiloso com teor de fósforo menor que 1 mg dm^{-3} de solo, sem ter calculado a dose econômica. Em Argissolo Vermelho Amarelo do Cerrado do Estado do Maranhão, Sfredo et al (1994), verificaram grande resposta ao fósforo, com pontos de máxima produção de 2.600 kg ha^{-1} de grãos de soja, na dose próxima de $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 e na dose econômica de $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 .

Tabela 2 - Valores médios de altura das plantas e de inserção da 1ª vagem, peso de 100 sementes e produtividade de soja, no município de Paragominas.

PARAGOMINAS

Doses (kg ha ⁻¹)		Altura (cm)	Inserção 1ªvagem (cm)	Peso de 100 sementes (g)	Produção (kg ha ⁻¹)
P ₂ O ₅	K ₂ O				
0	0	59	18	15,45	3013,48
0	60	61	16	16,20	4073,30
0	120	60	18	15,42	4003,41
0	180	62	19	15,58	3231,39
80	0	65	16	15,42	3894,09
80	60	65	17	16,97	4245,53
80	120	68	16	16,25	4065,57
80	180	65	18	15,95	4127,97
160	0	61	16	15,70	3792,25
160	60	66	15	16,73	4441,22
160	120	65	16	16,78	4317,92
160	180	65	16	16,84	4419,01
240	0	66	14	15,57	4032,12
240	60	64	17	15,84	4155,67
240	120	61	17	16,49	4365,34
240	180	63	17	16,20	4081,29
Média		63	17	16,09	4016,22

Resultados de trabalhos realizados com potássio na cultura da soja são divergentes. Segundo Mascarenhas et al. (1988), a aplicação localizada de altas doses de cloreto de potássio pode prejudicar o desenvolvimento inicial das plantas de soja, principalmente em períodos de estiagem. Também Mascarenhas et al. (1981) reportam não haver resposta sobre o rendimento da soja em solos com 31 mg dm⁻³ de K. Isto se deve, segundo os autores, ao fato da soja possuir alta capacidade de extração, podendo retirar do solo, além do K solúvel, reserva não prontamente solúvel.

Tabela 3 - Valores médios de altura das plantas e de inserção da 1ª vagem, peso de 100 sementes e produtividade de soja, no município de Belterra.

BELTERRA

Doses (kg ha ⁻¹)		Altura (cm)	Inserção 1ªvagem (cm)	Peso de 100 sementes (g)	Produção (kg ha ⁻¹)
P ₂ O ₅	K ₂ O				
0	0	62	17	18,11	2554,56
0	60	61	16	18,15	3356,08
0	120	62	16	18,03	3607,94
0	180	57	15	18,06	3567,76
80	0	65	17	18,42	3607,80
80	60	67	18	18,48	3806,08
80	120	71	17	18,46	3864,84
80	180	67	17	18,35	3797,58
160	0	63	16	18,49	3672,22
160	60	65	16	18,51	3943,43
160	120	73	18	18,87	4649,38
160	180	64	15	18,73	3765,44
240	0	66	17	18,16	3256,83
240	60	66	15	18,31	3587,74
240	120	75	17	18,13	4385,09
240	180	70	17	18,57	4054,68
Média		66	16	18,36	3717,34

Por outro lado Sousa (1984), observou que, em Latossolo Escuro argiloso do cerrado, o simples aumento de 24 para 45 mg dm⁻³ de K aumentou a produtividade em 840 kg ha⁻¹ de grãos. O mesmo autor considera como nível de suficiência, neste tipo de solo, 50 mg dm⁻³ de K. Sfredo et al. (1994), encontraram resposta à aplicação de potássio em podzólico Vermelho Amarelo de Balsas-MA.

Na Tabela 4, são apresentados os efeitos significativos sobre as variáveis de crescimento e de produtividade. Observa-se que a altura das plantas e o peso de 100 sementes foram influenciados pela aplicação das doses de fósforo, sob as formas linear e

quadrático, enquanto o rendimento de grãos foi influenciado positivamente pelas doses de fósforo e potássio nos municípios de Paragominas e Belterra.

Tabela 4 - Valores de quadrados médios do modelo de análise da variância, para os indicadores de crescimento e produtividade da soja.

F.V.	G.L.	Altura		Produção	
		Planta	1ªvargem	Peso de 100 sementes	Grãos
Local	1	1,80.10 ⁻² **	8,32.10 ⁻⁴	3136,03 **	4.334.343,83 **
P	1	1,47.10 ⁻² *	2,55.10 ⁻⁴	7,88 *	2.763.897,77 **
P x P	1	2,03.10 ⁻² *	1,32.10 ⁻⁴	11,45 *	3.230.402,28 **
K	1	8,03.10 ⁻³	6,70.10 ⁻⁶	1,66	3.845.011,33 **
K x K	1	1,18.10 ⁻²	6,90.10 ⁻⁵	3,09	4.500.103,74 **
P x K	1	9,79.10 ⁻⁴	1,95.10 ⁻⁴	0,87	1.868,11
Resíduo	121	3,28.10 ⁻³	4,74.10 ⁻⁴	2,62	283.213,07

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Nas Figuras de 2 a 3 observa-se que os resultados de produtividade de grãos de soja cultivar Sambaíba, obtidos nos municípios de Paragominas e Belterra, apresentaram, estatisticamente, respostas significativas para as adubações fosfatada e potássica, mostrando que para estas condições de solos dos referidos municípios, a cultura da soja responde às adubações com fósforo e potássio.

Na Figura 2a, observa-se um comportamento quadrático da resposta da produção de grãos em função das dosagens de adubações fosfatadas para o município de Paragominas, houve uma resposta positiva, apresentando, entretanto, um ligeiro decréscimo com a dosagem de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

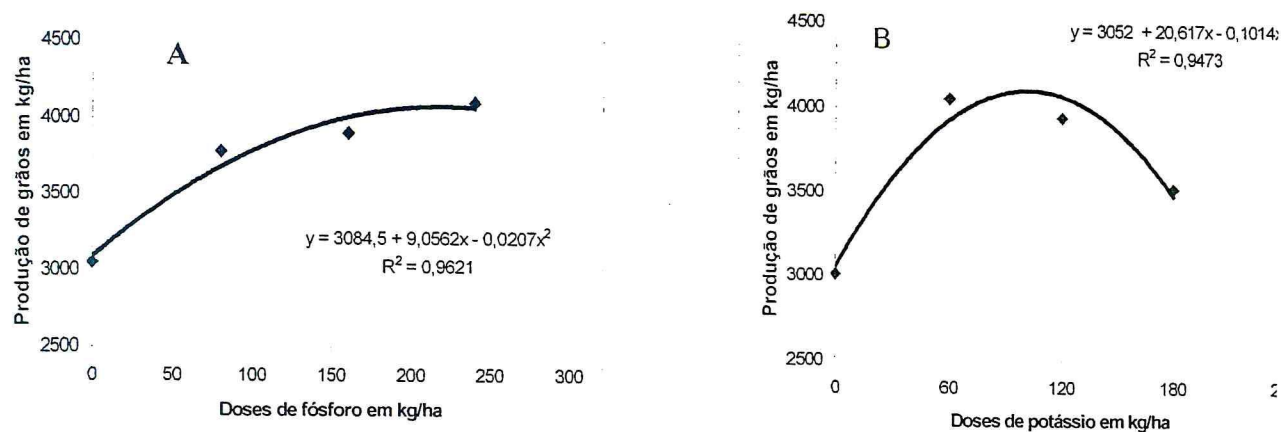


Figura 2 - Efeito das doses de fósforo sobre a produção de soja (a) e efeito das doses de potássio sobre a produção de soja (b) no município de Paragominas, PA.

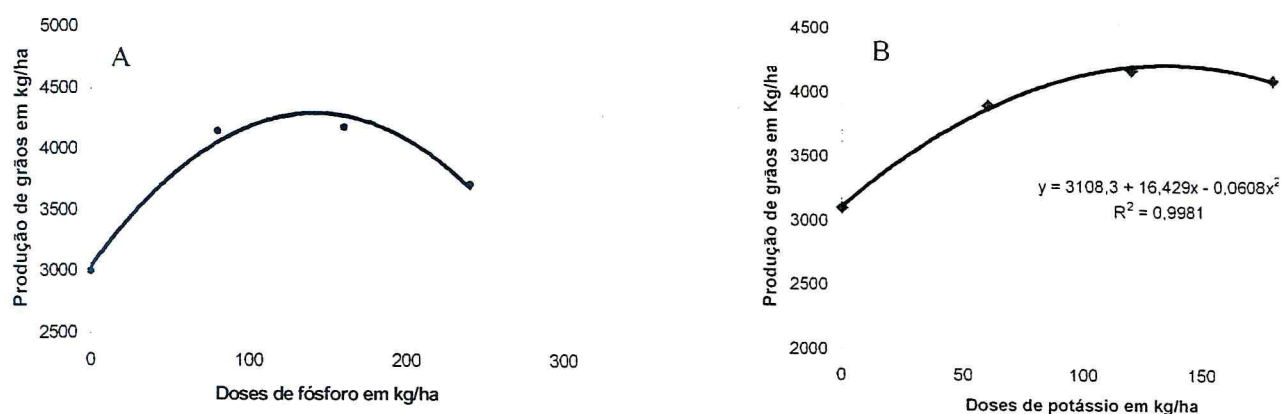


Figura 3 - Efeito das doses de fósforo sobre a produção de soja (a) e efeito das doses de potássio sobre a produção de soja (b) no município de Belterra, PA.

Com relação ao município de Paragominas, as adubações potássicas com as doses de 60 e 120 kg.ha⁻¹ de K₂O, mostraram melhores resultados comparados com a dosagem

máxima. Houve uma resposta positiva na produção de grãos até a concentração de 160 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ em todos os locais estudadas, com o aumento das concentrações do fósforo no solo houve uma redução significativa na produção de grãos (Figura 2a).

Anghinoni (1992), ao trabalhar com milho, verificou que a interação de doses versus frações fertilizadas com superfosfato simples foi altamente significativo somente na variável altura de plantas, na qual com as menores doses de adubo fosfatado (10-20 kg. ha⁻¹) a altura máxima das plantas foi obtida com a mistura destes junto as menores frações do solo (6,25 e 12,5% do volume do solo). As doses mais eficientes (40 - 80 kg. ha⁻¹), com frações fertilizadas até 25% do volume do solo e com as maiores doses de adubo não surtiram efeito algum na variável crescimento das plantas e, ainda no tocante ao rendimento dos grãos, demonstra que as quantidades de adubos a serem aplicadas devem ser previamente estudadas a fim de se evitar desperdícios.

Tabela 5 - Produtividade de grãos de soja do cultivar Sambaíba, em função de doses de P₂O₅ e K₂O em Latossolo Amarelo distrófico de Paragominas, PA.

K ₂ O (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				Média
	0	80	160	240	
	----- kg ha ⁻¹ -----				
0	3.013 bC	3.894 bB	3.792 bB	4.032 aA	3.683
60	4.073 aB	4.245 aA	4.441 aA	4.156 aB	4.229
120	4.003 Ab	4.066 aB	4.318 aA	4.365 aA	4.188
180	3.231 bC	4.128 aB	4.419 aA	4.081 aB	3.965
Média	3.580	4.083	4.243	4.159	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não apresentam diferença significativas ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

Os resultados deste trabalho confirmam recomendações de outros pesquisadores, quanto a solos de Cerrado, em que há resposta ao fósforo logo no primeiro ano de cultivo, em solos com baixo teor desse nutriente, e quanto ao potássio, há falta de resposta econômica à sua aplicação em solos com teores acima de 0,12 cmol_c dm⁻³ é de 60 kg. ha⁻¹

de P_2O_5 como manutenção (EMBRAPA, 2000). Borkert et al. (1993) recomendam de 90 a 100 $kg \cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 quando o teor de fósforo é baixo.

A produtividade da soja foi influenciada tanto pelo fósforo quanto pelo potássio, sob as formas linear e quadrática; entretanto, não o foi quanto ao seu produto cruzado (Tabelas 4 e 6). Neste trabalho, a aplicação anual de 80 $kg \cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 e 60 $kg \cdot ha^{-1}$ de K_2O foi suficiente para atender à demanda da cultura da soja e manter os teores de fósforo e potássio no solo próximo do nível crítico.

Tabela 6 - Produtividade de grãos de soja do cultivar Sambaíba, em função de doses de P_2O_5 e K_2O em Latossolo Amarelo distrófico de Belterra, PA.

K_2O ($kg \cdot ha^{-1}$)	P_2O_5 ($kg \cdot ha^{-1}$)				Média
	0	80	160	240	
	----- $kg \cdot ha^{-1}$ -----				
0	2.555 cC	3.608 bA	3.672 bA	3.257 dB	3.273
60	3.356 bC	3.807 aA	3.943 aA	3.588 cB	3.674
120	3.608 aD	3.864 aC	4.649 aA	4.385 aB	4.127
180	3.568 aC	3.798 aB	3.765 bB	4.054 bA	3.796
Média	3.272	3.769	4.007	3.821	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não apresentam diferença significativas ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

Lins et al. (1989), definiram que para solos de cerrado com o teor muito baixo de em fósforo ($3,6 \text{ mg dm}^{-3}$), enquanto que a dose que otimiza a produção de soja é de 200 $kg \cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 , o que confirma a recomendação de 180 $kg \cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 . Sousa et al. (1987), recomenda como adubação de correção 120 $kg \cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 para o primeiro ano e como adubação de manutenção 60 $kg \cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 , para o cultivo da soja.

Oliveira et al. (1992), relatam que houve aumento de produção de soja no primeiro ano com a aplicação de 60 $kg \cdot ha^{-1}$ de K_2O , a lanço ou em sulco, metade no plantio e metade em cobertura. Os maiores rendimentos da soja estiveram associados a teores de potássio nas folhas, iguais ou superiores a 1,31%, além de aumentar significativamente a resistência da

planta às pragas e doenças, evidenciando assim a importância do potássio para o cultivo da soja. Dessa forma a quantidade média de adubo potássico a ser aplicada, anualmente, na soja corresponde a $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K_2O . Essa quantidade de adubo é suficiente para alcançar uma produtividade média de grãos de $3.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, tomando como base uma retirada média de $21,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K_2O para cada tonelada de grãos colhida (MASCARENHAS et al., 1980).

As maiores alturas das plantas foram observadas em Belterra ($0,66\pm 0,009\text{m}$) quando comparadas a Paragominas ($0,63\pm 0,006\text{m}$). Os desdobramentos [$\text{Alt}_{(\text{Bel})}=0,611+6,828\cdot 10^{-4}\cdot\text{P}-1,562\cdot 10^{-6}\cdot\text{P}^2$ ($R^2_{\text{aj.}}=0,82$) e $\text{Alt}_{(\text{Par})}=0,608+6,629\cdot 10^{-4}\cdot\text{P}-2,368\cdot 10^{-6}\cdot\text{P}^2$ ($R^2_{\text{aj.}}=0,84$)] indicaram um ponto de máxima para Belterra, na dose de fósforo, de cerca de $215 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Em Paragominas, esse valor situou-se com a dose em torno de $145 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tabelas 3, Figura 4).

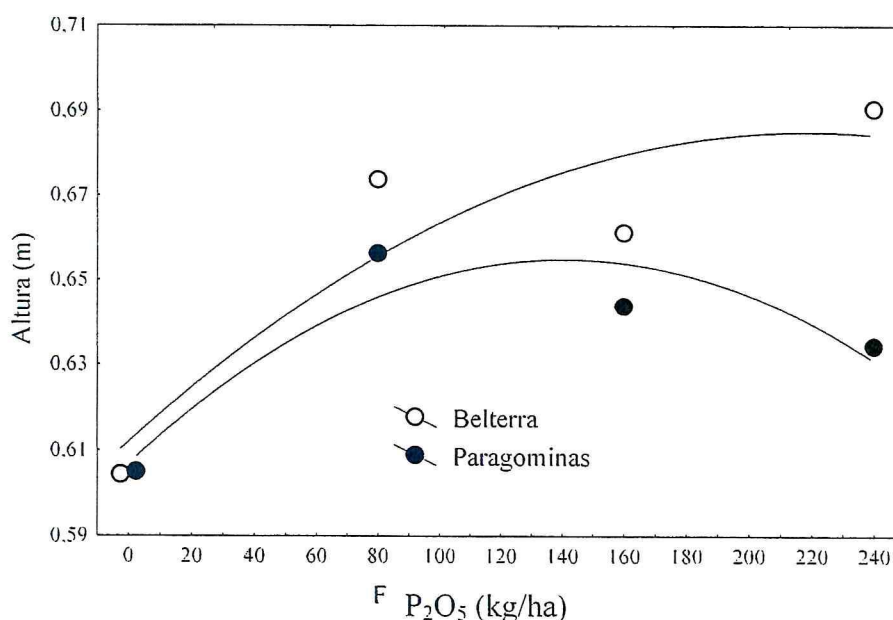


Figura 4 - Relação entre os níveis de fósforo e altura das plantas de soja, em função dos locais de experimentação, ajustados segundo o modelo de regressão quadrática

O peso de 100 sementes, apresentou padrão oposto, indicando em Paragominas ($32,35\pm 0,285\text{g}$) um peso maior de sementes do que em Belterra ($18,36\pm 0,043\text{g}$). Os ajustes aplicados, assinalaram um ponto de máxima concordante em ambos locais, situado na faixa

de 140 a 155 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de fósforo, ressaltando-se que a maior necessidade de fósforo observada em Paragominas ($155 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) apresenta uma resposta muito superior a observada em Belterra (Tabelas 2 e 3 e Figuras 2 e 3).

Desse modo, infere-se sobre a condição do ambiente em que os experimentos foram conduzidos, ressaltando-se as condições climáticas, tais como chuvas no período da colheita, ventos fortes e etc, e ainda as características do solo.

A produtividade também apresentou resposta equivalente ao peso de 100 sementes, em que Paragominas ($4.016,22 \text{ kg ha}^{-1}$) apresentou uma maior produtividade do que Belterra ($3.717,22 \text{ kg ha}^{-1}$) (Tabelas 3, 5 e 6) e (Figura 5).

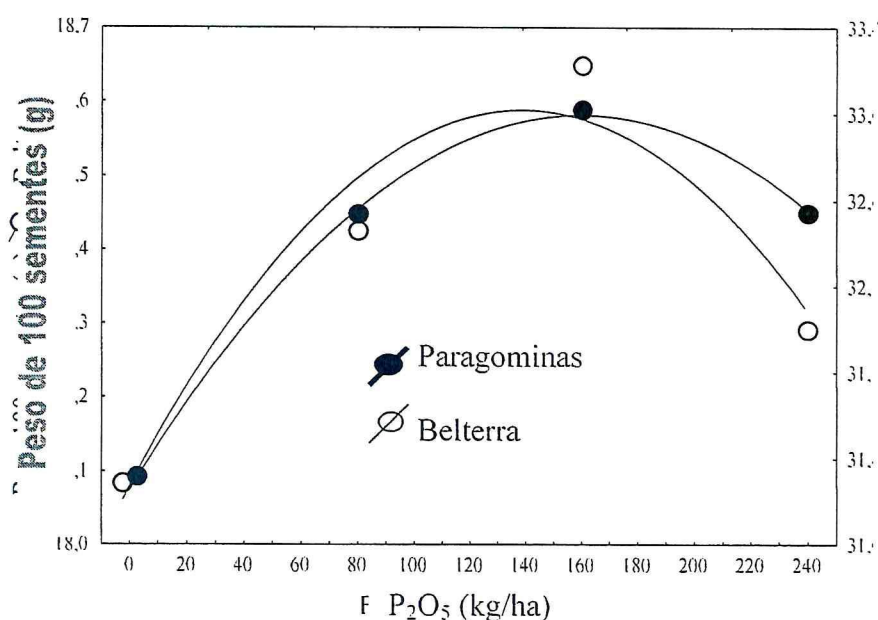


Figura 5 - Relação entre os níveis de fósforo e o peso de 100 sementes de soja, em função dos locais de experimentação, ajustados segundo o modelo de regressão quadrática

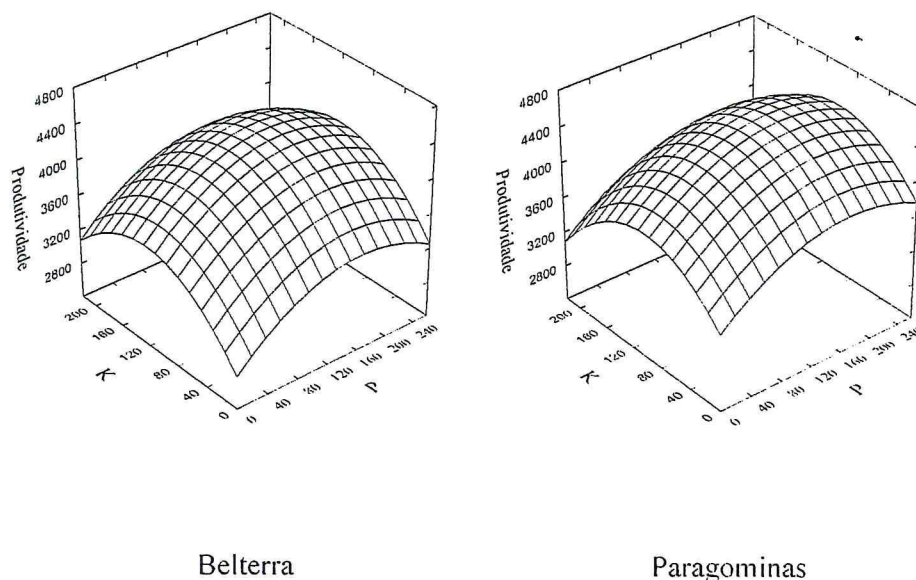


Figura 6 - Relação entre a produtividade de soja e os níveis de fósforo e potássio, em função dos locais de experimentação, ajustados segundo o modelo de superfície de resposta quadrática

Avaliando-se os desdobramentos da produção em Belterra $Prod=2778,2+8,761.P+12,496.K-0,027.P^2+1,164.10^{-4}.P.K-0,051.K^2$ ($R^2=0,77$) enquanto a produção de Paragominas= $3H284,895+7,765.P+10,816.K-0,023.P^2+0,001.P.K-0,053.K^2$ ($R^2=0,76$), definiu-se o ponto de máxima produtividade em Belterra com valor de $4.501g.parc^{-1}$, na combinação de $P_2O_5=171,96 kg.ha^{-1}$ e $K_2O=103,12 kg.ha^{-1}$; enquanto que em Paragominas, o ponto de máxima produtividade com valor de $4.267,78g.parc^{-1}$, na combinação $P_2O_5 =164,21 kg.ha^{-1}$ e $K_2O =123,27 kg.ha^{-1}$ (Figura 6).

4.2 DIAGNOSE FOLIAR

Os teores médios de alguns nutrientes nas folhas da soja, encontram-se nas Tabelas 7 e 8, os teores dos nutrientes em Paragominas, segundo referência da Embrapa (2004), os teores de N e P encontram-se em níveis suficiente ou médio, os teores de K encontra-se em

nível deficiente ou muito baixo, os teores de Ca encontra-se em nível excessivo ou muito alto, enquanto os teores de Mg encontra-se em nível alto.

Tabela 7 - Influência das doses de fósforo e potássio sobre os teores foliares de N, P, K, Ca e Mg na cultura da soja, no município de Belterra-PA.

Doses		Teores nas folhas				
P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K	Ca	Mg
kg ha ⁻¹		g.kg ⁻¹				
0	0	30,51	3,40	16,63	6,48	5,11
	60	29,83	3,54	13,80	4,72	5,11
	120	31,53	3,17	14,51	4,05	5,15
	180	29,21	2,93	15,46	3,91	4,80
80	0	29,42	3,49	15,81	8,10	4,93
	60	28,67	3,46	14,39	4,05	4,27
	120	26,76	3,72	15,46	4,45	6,43
	180	30,30	3,35	15,81	4,59	3,92
160	0	29,96	3,40	16,52	3,91	4,80
	60	29,08	3,43	15,46	4,05	4,00
	120	29,69	3,43	15,93	3,78	4,89
	180	32,21	3,55	15,22	4,32	4,67
240	0	25,06	3,25	14,63	4,45	4,97
	60	31,12	3,85	14,75	3,78	3,74
	120	29,15	3,55	15,93	3,51	4,53
	180	31,05	3,45	15,10	4,18	5,41

No município de Belterra os teores de P, Ca e Mg, segundo (EMBRAPA, 2004), encontram-se em níveis suficiente ou médio, N, encontra-se em nível deficiente ou muito baixo, enquanto o K encontra-se em nível baixo.

Analisando os dados verifica-se que os tratamentos que receberam aplicação anual de 80 kg/ha de P₂O₅ e 60 kg/ha de K₂O foram os melhores em ambos os locais, em Paragominas e Belterra.

Apesar da dose mais elevada de fósforo aplicada aos solos LA argiloso, as plantas, quando desenvolvidas nesse solo tenderam a acumular menor quantidade de fósforo nas folhas (Tabelas 7 e 8).

Tabela 8 - Influência das doses de fósforo e potássio sobre os teores foliares de N, P, K, Ca e Mg na cultura da soja, no município de Paragominas-PA.

Doses		Teores nas folhas				
P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K	Ca	Mg
kg ha ⁻¹		g.kg ⁻¹				
0	0	49,93	2,85	11,82	38,03	10,61
	60	58,21	2,77	11,39	37,19	11,55
	120	44,71	2,86	11,21	41,55	14,04
	180	42,29	2,56	10,59	38,45	12,77
80	0	37,64	3,04	7,06	33,52	10,04
	60	49,07	2,73	9,53	35,21	10,53
	120	54,14	2,91	7,18	38,59	11,10
	180	39,93	2,42	9,16	39,44	10,53
160	0	51,57	3,21	6,69	36,48	9,83
	60	49,21	2,60	11,45	39,30	10,52
	120	61,43	2,79	9,10	36,76	11,22
	180	46,36	2,66	8,92	37,89	10,73
240	0	53,43	2,85	9,53	39,16	10,77
	60	53,93	2,61	6,81	36,34	10,61
	120	49,64	2,42	9,04	32,82	10,49
	180	43,07	2,23	8,98	38,03	11,26

Além disso, o aumento na capacidade de troca de cátions no solo devido ao maior teor de matéria orgânica pode proporcionar concentrações suficientes de cátions trocáveis, mesmo em solos com alta acidez, (CAÍRES et al., 1998). Por outro lado os teores de fósforo, magnésio no solo, pH em H₂O em ambos os locais foram baixos, os teores de alumínio encontrados no solo de Paragominas são considerados baixos, enquanto em Belterra são considerados com médio ou seja com uma acidez mais acentuada. Os teores de cálcio, matéria orgânica e os valores calculados de soma de bases, CTC, e saturação por bases em Paragominas são considerados como médio. Em Belterra os teores de cálcio, magnésio e os valores calculados de saturação por bases são considerados baixo (Tabela 1). Portanto os solos de Belterra apresentam com uma acidez mais acentuada, necessitando para isto de uma boa calagem para obtenção de altas produtividades com a cultura da soja. Segundo Sfredo et al. (1996) para elevar a saturação por bases a 56%, por dois anos para obtenção de produtividades com maior retorno econômico deve ser aplicado 2.100 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico.

A Tabela 9, mostra que o ambiente exerceu efeito significativo, ($p < 0,01$), no conteúdo de nutrientes na folha de soja. Além do efeito ambiental, o elemento N e a razão Ca:Mg foram influenciadas pelos níveis de K

Tabela 9 - Valores de quadrados médios do modelo de análise da variância, para os indicadores de diagnose foliar para a soja.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	Ca/Mg
Local	1	7851,09**	36,234**	871,22 **	10200,70**	630,21**	63,5500**
P	1	2,16	0,200	5,96	1,42	12,80	0,0002
P x P	1	3,26	0,229	2,64	0,30	11,35	0,0420
K	1	100,44 *	0,011	1,66	3,59	36,35	1,6465**
K x K	1	183,84 *	0,023	1,31	7,28	39,11	1,2391*
P x K	1	6,00	0,001	0,25	1,45	2,75	0,1792
Resíduo	57	34,07	0,087	3,34	9,34	30,27	0,2248

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Na Tabela 9, observa-se que o nitrogênio, foi influenciado, tanto pelo efeito ambiental como pelo potássio e pela interação K x K.

O conteúdo de fósforo e de potássio nas folhas de soja foram superiores em Belterra ($3,44 \pm 0,06$ e $15,34 \pm 0,23$ g kg⁻¹, respectivamente) do que em Paragominas ($2,72 \pm 0,05$ e $9,28 \pm 0,39$ g kg⁻¹ de matéria seca, respectivamente), (Figura 7). Pelos dados contidos na Tabela 1, referente a análise de solo, observa se que os teores de fósforo e potássio no município de Paragominas são superiores em relação ao município de Belterra, o que a princípio influenciaria positivamente no conteúdo desses nutrientes nas folhas. Entretanto, na Figura 7, observa-se que onde o solo era mais pobre em fósforo e potássio, em Belterra (Tabelas 1, 7 e 8), o conteúdo destes nutrientes nas folhas foi consideravelmente superior.

Isto possivelmente se explica, pelo fato de que o conteúdo de matéria orgânica presente no solo de Belterra estaria influenciando de maneira benéfica a adsorção e a disponibilidade desses nutrientes por um período de tempo maior. Uma vez que, a matéria

orgânica no solo propicia uma redução na atividade do alumínio e conseqüentemente de sua toxicidade, através da formação de complexos orgânicos e pela maior força iônica da solução do solo (SALET et al., 1999).

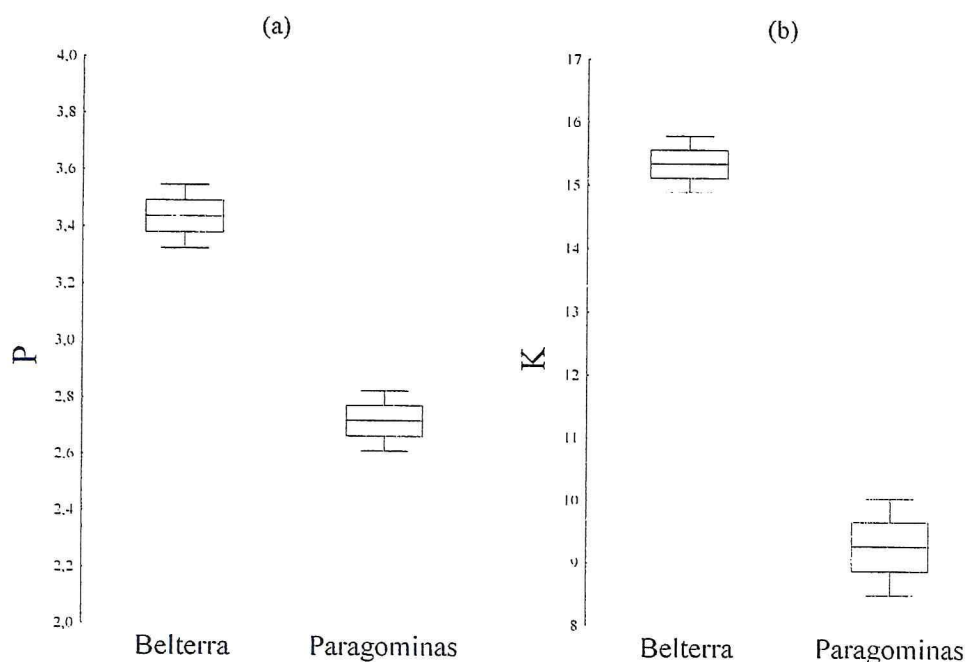


Figura 7 - Valores médios e intervalo de confiança de 95% para as concentrações de (a) P e (b) K, em função dos ambientes.

Quanto ao Ca e ao Mg, o padrão observado foi oposto, sendo que Paragominas ($37,42 \pm 0,71$ e $12,41 \pm 1,33$ g kg⁻¹ de matéria seca) foi muito superior ao de Belterra ($4,52 \pm 0,24$ e $4,79 \pm 0,17$ g kg⁻¹ de matéria seca) respectivamente na Tabela 8 e Figura 9.

O maior conteúdo de Ca e Mg nas folhas de soja cultivadas em Paragominas pode ter sido resultado da maior concentração destes nutrientes no próprio solo (Tabela 1) e (Figura 8), tendo em vista que estes elementos apresentam características de baixa mobilidade no solo. Além disso, o conteúdo de hidrogênio e de alumínio presente no solo de Paragominas foi menor do que o de Belterra, possibilitando maior disponibilidade de Ca e Mg as plantas por modificar as reações que formam complexos insolúveis no solo. O teor de suficiência de cálcio nas folhas de soja deve estar em torno de 0,36 à 2,00%, enquanto o teor de magnésio pode variar entre 0,26 a 1,00% para uma condição de suficiência ou média % (SFREDO et al., 1986).

Plantas dicotiledôneas como a soja apresentam de modo geral maior teor de cálcio nos tecidos do que as monocotiledôneas (MENGEL E KIRKBY, 1982). Segundo os autores, este fato, estaria relacionado à maior capacidade de troca de cátions das raízes destas plantas.

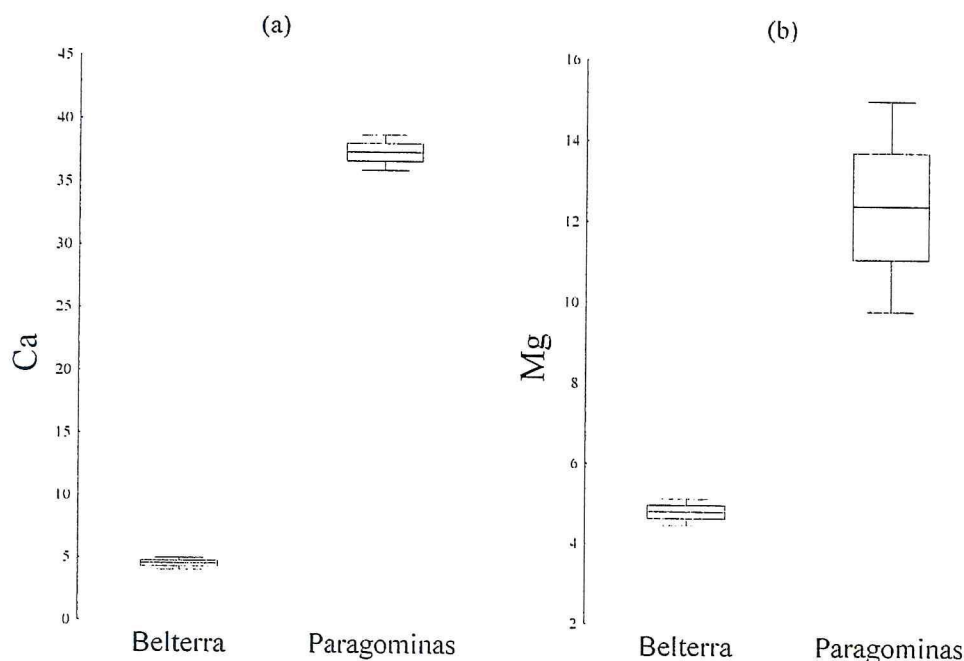


Figura 8 - Valores médios e intervalo de confiança de 95% para as concentrações de (a) Ca e (b) Mg, em função dos ambientes

A absorção do nitrogênio, apresentou-se mais elevada em Paragominas ($53,6 \text{ mg kg}^{-1}$), na faixa intermediária de suplementação por potássio, com ponto de máxima na faixa de 80 kg.ha^{-1} de K_2O (Figura 9.a.). Isto pode ser atribuído as favoráveis modificações químicas do solo, pH mais elevado, maior conteúdo de K, Ca, e menor teor de Al em Paragominas, quando comparado ao de Belterra (Tabela 1).

O conteúdo de nitrogênio nas folhas, foi sempre maior em Paragominas quando submetidos a diferentes doses de potássio, tendo um comportamento quadrático, aumentando até a dose de 80 kg.ha^{-1} de K_2O . Com o aumento das doses de potássio, a partir desse limite observou-se uma acentuada redução. Em Belterra, o conteúdo de nitrogênio

nas folhas apresentou um comportamento linear crescente com o aumento das doses de potássio testados.

Entretanto, em Paragominas a maior absorção de nitrogênio ($31,7 \text{ mg kg}^{-1}$) foi observada na maior concentração de potássio, na faixa superior a $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de K_2O (Figura 9.a).

Arnon (1996) relata que a deficiência de potássio ocasiona distúrbios no metabolismo do N nos vegetais, gerando assim, plantas com maior conteúdo de aminoácidos livres e de amido.

Sfredo e Panizzi (1994) constataram que a aplicação de enxofre diminui o teor de nitrogênio na parte aérea de plantas de soja.

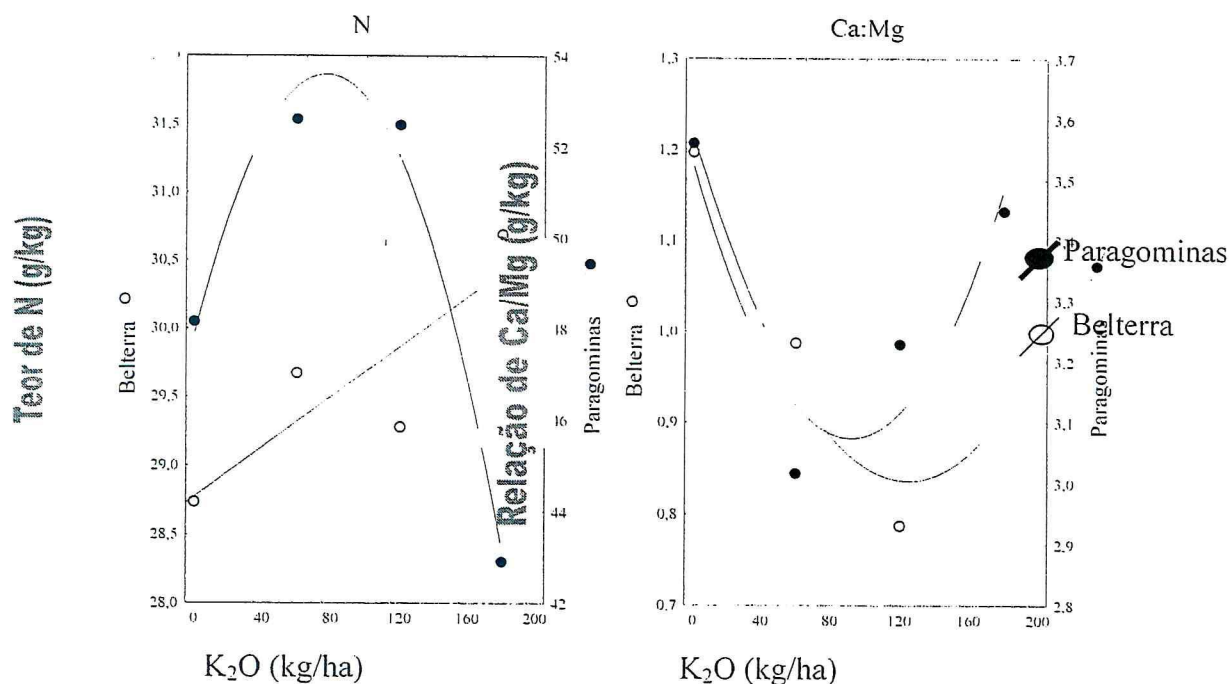


Figura 9 - Relação entre os níveis de K e a absorção foliar de N e a razão Ca:Mg de soja, em função dos ambientes, ajustados segundo os modelos de regressão linear e quadrático.

As maiores razões de Ca:Mg, apesar de maiores em Paragominas ($3,56 \text{ mg kg}^{-1}$) do que em Belterra ($1,20 \text{ mg kg}^{-1}$), apresentaram o mesmo tipo de tendência, determinado-se

que as menores razões foram assinaladas nos níveis intermediários (60-120 kg.ha⁻¹ de K₂O) de adubação com potássio (Figura 9.b), definindo-se, devido ao efeito quadrático, que os menores níveis de adubação apresentaram os maiores valores da razão Ca:Mg.

Os valores de nitrogênio, foram superiores em Belterra, sendo que o ponto estacionário de máxima observado foi de 4,37 kg.ha⁻¹ [$N_{(Bel)}=4,006+5,08.10^{-3}P+9,68.10^{-4}K-2,55.10^{-6}P^2-2,10.10^{-6}K^2+1,92.10^{-6}PK$ ($R^2=0,61$)] na combinação $P=129,07$ kg.ha⁻¹ e $K=82,15$ kg.ha⁻¹. Enquanto que Paragominas [$N_{(Par)}=2,876+2,36.10^{-3}P-7,32.10^{-4}K-1,59.10^{-6}P^2-1,19.10^{-6}K^2+2,45.10^{-5}PK$ ($R^2=0,44$)] o ponto estacionário de máxima observado foi de 3,08 kg.ha⁻¹, em valores superiores de ambas adubações, na combinação $P=240,56$ kg.ha⁻¹ e $K=216,86$ kg.ha⁻¹ (Figura 10).

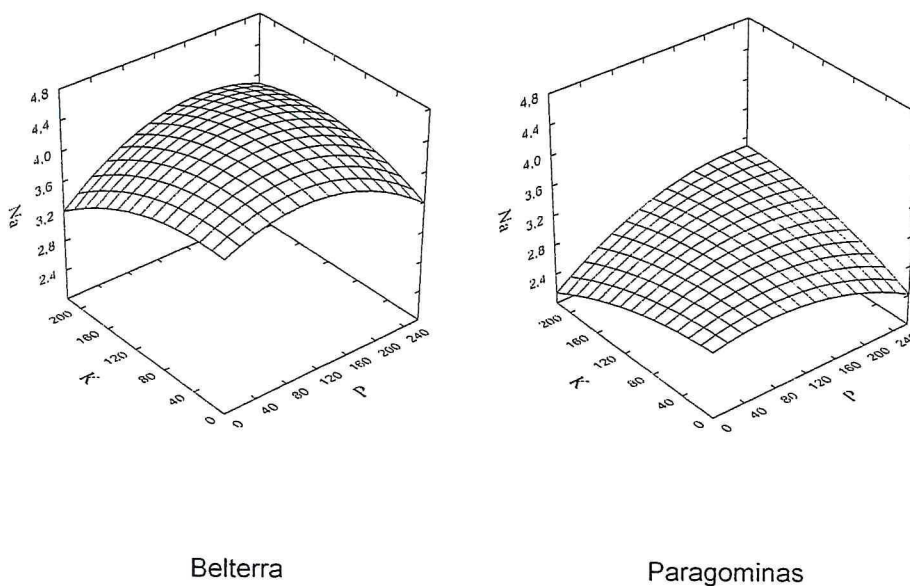


Figura 10 - Relação entre os níveis de P e K e o grau de absorção de N em soja, em função dos ambientes, ajustado segundo o modelo de superfície de resposta quadrática.

5 - CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos podemos inferir as seguintes conclusões:

- A aplicação anual de 60 kg/ha de K_2O foi suficiente para atender à demanda da cultura da soja e manter o teor de potássio no solo próximo do nível crítico.
- A aplicação anual de 80 kg/ha de P_2O_5 foi suficiente para atender à demanda da cultura da soja e manter o teor de potássio no solo próximo do nível crítico.
- O aumento dos teores de potássio no solo resultam em queda na concentração de cálcio e magnésio na matéria seca da soja.
- O conteúdo de fósforo e potássio nas folhas de soja cultivada em Belterra foi maior do que em Paragominas.
- Os nutrientes absorvidos em maiores quantidades pela soja foram o N e o K, seguindo-se, pela ordem decrescente: Ca, Mg, P e S.
- Em Latossolo Amarelo textura argilosa, com baixo teor de fósforo e potássio a soja cv. Sambaíba produziu 3.600 kg ha⁻¹ de grãos, com aplicações de 80 kg ha⁻¹ de P_2O_5 e 60 kg ha⁻¹ de K_2O .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGHINONI, I., Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Campinas, v. 16, n. 3, p. 349-53, Set./dez. 1992.

ARNON, I. Quality criteria os agricultural produce and the influence of mineral fertilizers on quality. Potassium and the quality of agricultural products. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 8., 1996, Berne. Proceedings... Berne. p. 339 - 400,1996 .

BASTOS, T.X. O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira. Belém: IPEAN, 1972. p.68-122. (IPEAN. Boletim Técnico, 54).

BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. Nutrição mineral de soja, In: FUNDAÇÃO CARGILL. **A soja no Brasil Central**. 2. ed. Campinas, 1982. p. 115-132

BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; SILVA, D.N. da. Calibração de potássio trocável para soja em latossolo roxo distrófico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.17, n.2, p.223-226, 1993.

_____ ; YORINORI, J.T.; FERREIRA, B.S.C.; ALMEIDA, A.M.R.; FERREIRA, L.P.; SFREDO, G.J. Seja o doutor da sua soja. POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba-SP, 1994. 16p. (Informações Agronômicas nº66).

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, p.27-34, 1998.

CHEVALIER, P.; SCHRADER, L. E. Genotypic differences in nitrate absorption and partitioning of N among plant parts in maize. *Crop Science*, Madison, Vol. 17, nº 6. p. 897-9, Nov./ Dec. 1977.

DEMATÊ, J.L.I.; DEMATÊ, J.A.M. Fertilidade e sustentabilidade de solos Amazônicos. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Amazônia – agricultura sustentável. Manaus, p 145-214, 1997.

EL-HUSNY, J.C.; ANDRADE, E.B. de; MEYER, M.C.; ALMEIDA, L.A. de. **Cultivares de soja para microrregião de Paragominas, Pará**. Belém: Embrapa-CPATU, 1998. 19p. (Embrapa-CPATU. Circular Técnica, 76).

_____ ; ANDRADE, E.B. de; CORRÊA, J.R.V.; KLEPKER, D.; ALMEIDA, L. A. **Comportamento de cultivares de soja em Santarém, Pará**. Belém, Pará, 2001. 28p. (Embrapa Amazônia Oriental. Circular Técnica, 25)

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 2000/01**. Londrina: Embrapa Soja/Fundação MT, 2000. 245p. (Embrapa Soja. Documentos, 146).

_____. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2005**. Londrina: Embrapa Soja/Embrapa Cerrados/Embrapa Agropecuária Oeste/Fundação Meridional, 2004. 239p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 6).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 2. ed. 1997. 212p. (EMBRAPA/CNPS. Documento 1).

disponibilidade de potássio em Latossolo Roxo Distrófico de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v.40, n.12, p.125-134, 1981.

_____ ; NEPTUNE, A.M.L.; MURAOKA, T.; BULISANI, E.A.; HIROCE, R. Absorção de nutrientes por cultivares de soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.4, p.92-96, 1980.

_____ ; BULISANI, E.A.; MIRANDA, M.A.C.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; BRAGA, N.R. Deficiência de potássio em soja no Estado de São Paulo: melhor entendimento do problema e possíveis soluções. *O Agrônomo*, v.40, p.34-43, 1988.

_____ ; MIRANDA, M.A.C.; BATAGLIA, O.C.; TISSELI FILHO, O.; BRAGA, N.R.; SOAVE, J. Efeito da adubação potássica sobre o ataque da soja pelo *Diaporthe phaseolorum*. *Summa Phytopathologica*, v.2, n.3, p.230-235. 1976.

MELHORANÇA, A.L.; CARNIELLI, A.; GOULART, A.C.P.; KURIHARA, C.H.; PIPOLO, A.E.; ÁVILA, C.J.; PAIVA, F. de A.; HERNANI, L.C.; ENDRES, V.C.; Soja: recomendações técnicas para o Mato Grosso do Sul. Dourados: Embrapa – CPAO, 1994. 121p. (Embrapa - CPAO/Dourados. Circular Técnica, 22).

MENGEL, K. ; KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 3 ed. Bern: Internacional Potash Institute, 1982. 655p.

MEURER, E.J.; WANG, G.M.; WANG, S.R. Funções dos nutrientes e sintomas de deficiência. In: MYASAKA, S.; MEDINA, J.C. A soja no Brasil. Campinas, Instituto Tecnológico de Alimentos, p.156-167. 1981.

OLIVEIRA, J.B. de.; SMYTH, T.J.; BONETTI, R. Efeito de adubação anteriores na nodulação e rendimento de soja e do feijão caupy em um latossolo amarelo da Amazônia. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.16, n.2, p. 195-201, 1992.

OLIVEIRA, F.A. de; SILVA, J.J.S.; VILELA, L.; SOUSA, D.M.G. de. Doses e métodos de aplicação de potássio na soja em solo dos cerrados da Bahia. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.27, n.11, p.1485-1495, nov. 1992.

PETTERSEN, S.; JENSEN, P. Variation among species varieties in uptake and utilization of potassium. Plant and Soil, The Hague, v.72, n.2/3, p. 231-7, 1983.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, Ceres-Potafos, 1991. 343p.

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

RAPER Jr., C.D. & BARBER, S.A. Physiological effectiveness as nutrient absorption surfaces. Agronomy Journal, Madison, Vol. 62, nº 5. p. 585-8, Sept./Oct. 1970.

RODRIGUES, T. E.; VALENTE, M.A.; GAMA, J.R.N.F.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; SANTOS, P.L. dos ; SILVA, J.L. da. **Zoneamento agroecológico do município de Paragominas, Estado do Pará**. Belém. Embrapa Amazônia Oriental. 1999, 64p.

_____ ; SANTOS, P.L. DOS; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. DE **Caracterização e classificação dos solos do planalto de Santarém, Estado do Pará**. Belém. Embrapa Amazônia Oriental. 2003b (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos).

ROSOLEM, C.A. Nutrição mineral e adubação da soja. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1982. 80p. (Boletim Técnico, 6).

SALET, R.L.; ANGHINONI, I; KOCHHANN, R.A. Atividade de alumínio na solução de um solo no sistema plantio direto. Revista Ciência Unicruz, v.1, p.9-13, 1999.

SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análise química em plantas. Piracicaba, ESALQ/USP, 1974. 56p.

SAS Institute. **SAS/STAT software: syntax**. Cary, 1993. 151p.

SFREDO, G. J.; PANIZZI, M. C. C. Importância da adubação e da nutrição da qualidade da soja. In. Sá, M. E. ; BUZZETI, S. Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas. São Paulo: Ícone, p. 257 – 288, 1994.

_____ ; PALUDZYSZYN FILHO, E.; GOMES, E.R. Resposta da soja a potássio e a fósforo em em podzólico vermelho amarelo de Balsas, MA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.9, p.1359-1364, set. 1994.

_____ ; LANTMAN, A.F.; CAMPOS,R.J.; BORKET,C.M. **Soja: nutrição mineral, adubação e calagem**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1986. 51p. (EMBRAPA-CNPo. Documentos 17).

SOARES, E. **Influência do teor de potássio trocável ao solo na absorção de cálcio e magnésio pela soja**. 1978. 116p. Tese de Doutorado – ESALQ/USP, Piracicaba, 1978.

SOUSA, D.M.G. de. **Calagem e adubação para cultura da soja nos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1984. 9p. (EMBRAPA-CPAC. Comunicado Técnico, 38).

_____ ; LOBATO, E.; MIRANDA, L.N. **Correção do solo e adubação da cultura da soja**. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P.I. de M. Cultura da soja nos cerrados. POTAFOS. Piracicaba, São Paulo. p.137-158, 1993.

_____ ; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E. **Interpretação de análise de terra e recomendação de adubos fosfatados para culturas anuais nos cerrados**. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1987. 7p. (EMBRAPA-CPAC. Comunicado Técnico, 51).

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; BORKERT, C.M. **Nutrição mineral da soja**. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P.I. de M. Cultura da soja nos cerrados. POTAFOS. Piracicaba, São Paulo. p.105-137, 1993.