

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**CALIBRAÇÃO VISANDO RECOMENDAÇÕES DE
FERTILIZAÇÃO FOSFATADA PARA AS PRINCIPAIS
CULTURAS DE GRÃOS SOB SISTEMA PLANTIO
DIRETO NO PARAGUAI**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Martín Maria Cubilla Andrada

Santa Maria, RS, Brasil.

2005

**CALIBRAÇÃO VISANDO RECOMENDAÇÕES DE
FERTILIZAÇÃO FOSFATADA PARA AS PRINCIPAIS
CULTURAS DE GRÃOS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO
NO PARAGUAI**

por

Martín Maria Cubilla Andrada
Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

Orientador: Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado
Co-Orientadores: PhD. Flavio Luiz Foletto Eltz
& PhD. João Mielniczuk

Santa Maria, RS, Brasil.

2005

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**CALIBRAÇÃO VISANDO RECOMENDAÇÕES DE FERTILIZAÇÃO
FOSFATADA PARA AS PRINCIPAIS CULTURAS DE GRÃOS SOB
SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI**

elaborada por
Martín Maria Cubilla Andrada

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr.
(Presidente/Orientador)

João Mielniczuk, PhD. (UFRGS)

Enrique González Erico, PhD. (PARAGUAY)

Santa Maria, 8 Agosto de 2005.

“La Sabiduría de Dios ordena hacia una meta específica”

Pe. Jose Kentenich

***Dedico a mi compañera y amiga inseparable;
a Montse, por su amor y confianza inigualable.***

***Ofrezco a mis Queridos Padres,
VALIKE y MARISOL, que me dieron la vida,
me inculcaron siempre el amor, el respeto,
la honestidad y sobre todo, el valor.***

AGRADECIMENTOS

A Deus Trino e a Mãe e Rainha Três Vezes Admirável de Schoenstatt, pela fortaleza para enfrentar os problemas, pela presença em todas as horas e por guiar meus passos.

A meus avos Tono e Abueli; Papa Carlos e Belita, pelo exemplo de vida familiar, de sabedoria e vida cristã.

A meus pais que incansáveis, lutaram pelo meu sustento durante todos estes anos e por terem acreditado em mim a prosseguir na vida pisando sempre firme e crescendo forte.

A minha irmã Maria Bethânia, pelo milagre de ocupar esse espaço na nossa pequena família, pelo amor e carinho para com nossos pais.

A Montserrat, pelo verdadeiro amor, pela inabalável confiança e pelo apoio incondicional em todo este tempo que ficamos distantes; e a sua família por tudo.

A meu tio Leopoldo Ramos e sua linda família, por fazer da sua casa a minha, pelas longas horas de conversa e conselhos, e sobre tudo pela verdadeira e sincera amizade.

Aos meus demais familiares e em especial a minha queridíssima madrinha Marta Elena, pelo apoio, orações e sábios conselhos em todo momento.

A todos meus amigos e companheiros de infância do meu querido país, pelas horas de forças, de luta, confraternizações e alegrias indescritíveis.

A Ernst M. Brandstetter, pela amizade, exemplo de vida e sobre tudo, pelas orientações espirituais.

Aos Professores Celso Aita, Marcos Rubens Fries (*in memoriam*), Dalvan Reinert e José Miguel Reichert, pela oportunidade na iniciação científica, exemplo de pesquisadores e incentivo para com a pesquisa.

Ao Professor Telmo Amado, pela amizade de longa data e orientação, pelos congressos assistidos, pelas horas de futebol, de confraternização e sobre tudo, pelo exemplo de trabalho profissional.

Aos Professores Thomé Lovato e Flavio Eltz pelo companheirismo e auxílio prestimoso, e em especial ao Professor João Mielniczuk pelo auxílio e co-orientação para a realização deste trabalho.

A Jairo Schlindwein, pela amizade e pela colaboração nesta pesquisa.

Ao amigo e colega Ademir Wendling, pelas longas horas de trabalho incansável, pelo exemplo de perseverança e pelas forças dedicadas para realização deste importante trabalho no Paraguai.

A Luiz Finamor meu profundo agradecimento pela ajuda incondicional e exemplo de competência.

Aos colegas do programa de pós-graduação em ciência do solo da UFSM, Marcos Peñalva, Marcelo Marques, Sidnei Ranno, Mastrangelo Lanzanova, Rodrigo Nicoloso, Tatiana Benedetti, Jackson Fiorin, Cleudson Michelon, Luis Eduardo Suzuki, Anderson Clayton, Luis Santi e Charles Pontelli pela amizade, apoio e ajuda inestimável em todas horas.

Aos bolsistas de iniciação científica do setor de Manejo e Conservação do Solo, que voluntariamente auxiliaram na execução deste trabalho, que sem eles, não teria sido possível.

Aos compatriotas paraguaios Ramiro Samaniego, Federico Barreto, Francisco Mendoza e Patrícia Elias, pela amizade e companheirismo.

A todos os Paraguaiois envolvidos neste trabalho, em especial a Ken Moriya, Enrique Gonzalez Erico, Rudi Dressler, Eugenio Mañko, Fabián Pereira, César Ken Hoshiba, Cachito Orquiola, Wilfrido Morel, Maura Genez, Alodia Gonzalez de Altamirano, Jose Quinto Paredes, Rigoberto Ruiz Díaz, Ramón Martinez, Nilson Österlein, Erni Schlindwein, Eloi Walter, Gilberto Coronel, Natalia Scheid, Miguel Miranda, Sindulfo Gimenez, Diego Fatecha, à Direção do Centro Regional de Investigação Agrícola (CRIA), à direção do Centro Tecnológico Agropecuário em Paraguai (CETAPAR), a Universidade Nacional de Asunción (UNA), a Rede Nacional de Laboratórios de Solos (RENALAS) a Cooperativa de Produção Agrícola de Naranjal (COPRONAR) e a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Meu muito obrigado a todos.

À Universidade Federal de Santa Maria, pelos 7 anos de acolhimento e ensino, ao Departamento de Solos e a CAPES, pela bolsa de mestrado.

Um agradecimento muito especial a Câmara Paraguaia de Exportadores de Cereais e Oleaginosas (CAPECO) pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Agradeço de coração, com muito carinho e respeito, ao Engenheiro Agrônomo Luis Enrique Cubilla Ramos, meu querido Pai, pelo exemplo inigualável de profissional e incansável lutador pela melhoria, avanço e progresso da agricultura no nosso querido Paraguai.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

CALIBRAÇÃO VISANDO RECOMENDAÇÕES DE FERTILIZAÇÃO FOSFATADA PARA AS PRINCIPAIS CULTURAS DE GRÃOS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI

AUTOR: MARTIN MARIA CUBILLA ANDRADA

ORIENTADOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO

Local e data da Defesa: Santa Maria, 8 de agosto de 2005.

Atualmente 60% da área de cultivo de grãos do Paraguai utiliza o sistema de plantio direto (SPD), posicionando o país como um dos líderes nesse sistema conservacionista. Com a expansão do SPD no país, surgiram questionamentos quanto à adaptação das recomendações técnicas de fertilização, especialmente de fósforo (P), pois estas haviam sido elaboradas com base em resultados obtidos no sistema convencional de preparo de solo (aração + gradagens) e experimentos conduzidos a pelos uma década atrás. O objetivo deste trabalho foi à condução de experimentos de calibração em sete diferentes locais na Região Oriental do Paraguai, visando gerar as recomendações de adubação fosfatada para as culturas de trigo, milho e soja sob SPD. Os experimentos foram conduzidos de 2003 a 2005, em solos com diferente texturas e níveis iniciais de fertilidade, em regiões representativas de produção de grãos e em locais com histórico de adoção do SPD do país. No Departamento de Misiones conduziu-se experimentos em dois locais (um de média e outro de baixa fertilidade inicial com a mesma textura); no Departamento de Itapúa em dois locais (um de alta e o outro de baixa fertilidade inicial com diferente textura); no Departamento de Alto Paraná (dois locais de baixa fertilidade, porém com diferente textura) e um no Departamento de Amambay de baixa fertilidade. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas principais foram adubadas com cinco doses de P (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅) visando a criação de níveis de fertilidade e semeadas posteriormente com trigo. Nas subparcelas foram aplicadas quatro doses de P (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) no momento da implantação do milho e da soja visando a obtenção de

curva de resposta. Foram coletadas dez amostras de solo por parcela na profundidade de 0 a 10 cm antes da semeadura e após a colheita de cada cultura. A fonte de P utilizada foi o superfosfato triplo com as aplicações sendo realizadas a lanço. A construção do nível de P foi mais influenciada pelo teor inicial de P e histórico de adubação das áreas do que pela textura do solo. Em solos com baixo teor de P e sem histórico de adubação foi necessário aplicar $35,3 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ para elevar 1 mg dm^{-3} de P no solo. Por outro lado, para solos com teor médio a alto com histórico de adubação foi necessário aplicar $18,6 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ para elevar 1 mg dm^{-3} de P no solo. O teor crítico de P foi superior ao estabelecido pela ROLAS, também a influência da textura foi inferior em relação à prevista pela ROLAS. O teor crítico para solos de 410-600 g kg^{-1} de argila (Classe 1) foi de 12 mg dm^{-3} e para solos de 210 a 400 g kg^{-1} de argila (Classe 2) foi de 15 mg dm^{-3} . Este resultado está relacionado a dois fatores principais: 1) à camada superficial amostrada (0 a 10 cm) durante a condução do experimento, a qual possui superior concentração de P, em comparação a camada de 0 a 20 cm; b) maior potencial produtivo, e conseqüentemente maior demanda por P, das cultivares utilizadas neste experimento em relação a de experimentos conduzidos anteriormente. Como conclusão deste trabalho é apresentada uma proposta de adubação fosfatada adaptada ao SPD no Paraguai.

Palavras-chaves: Conservação do Solo; Fertilidade do Solo; Fósforo; Teor Crítico, Curva de Resposta a Fósforo.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

RECOMMENDATION OF PHOSPHORUS FERTILIZATION TO MAIN GRAIN CROPS IN NO-TILL PARAGUAY

AUTHOR: MARTÍN MARIA CUBILLA ANDRADA

ADVISER: PROF. TELMO JORGE CARNEIRO AMADO

Defense local and date: Santa Maria, August 8, 2005.

At present time, 60% of the grain crop area in Paraguay is under the no-till (NT) system. This fact puts the country as a leader in this conservation practice. With the expansion of NT in the country, some questions were raised with respect to fertilizer recommendations, specially with Phosphorus (P). Those recommendations were conducted on the conventional system of soil tillage (plow + disc). The objective of this work was to conduct calibration studies in seven different locations of the Eastern Regions of Paraguay, in order to obtain phosphate fertilizer recommendations for crops such as wheat, corn and soybean under NT system. These experiments were conducted since 2003 to 2005, with soils with different texture and initial fertility levels, located on regions that were representative of the grain production area, with different records of NT adoption. In the Misiones Department, experiments were carried out in two sites (one with medium and another with high level of initial fertility, both with same texture); in the Itapúa Department, in two sites (one with high and another with low initial fertility, both with different textures); in the Department of Alto Paraná (two sites of low fertility, and with different textures); and one in the Department of Amambay, with low initial fertility. The experimental design was random blocks with split plots and three replications. The main plots received five P_2O_5 dosis (0, 50, 100, 200 and 400 kg ha⁻¹) with the objective of building up soil fertility levels. In these plots wheat were seeded. In the split plot four P_2O_5 dosis were applied for corn and soybean crops in order to obtain the response curve. In each plot 10 soil samples at 0 to 10 cm depth were taken before seeding and right after harvest of each crop. The phosphorus source were 0-46-0 fertilizer, denominated triple super phosphate, being applied over the soil surface. The build up of P was

more influenced by initial level than by soil texture. In soils with low initial P level it was necessary to apply 36.5 kg P₂O₅ ha⁻¹ to increase 1 mg dm⁻³ of soil P. In the soils with medium to high initial P level (with historic of fertilization) it was necessary to apply 18.6 kg P₂O₅ ha⁻¹ to increase 1 mg dm⁻³ of soil P. The sufficient P level was higher than that used in Southern Brazil being the influence of texture lesser than as related by ROLAS, the sufficient P level for soils from 410 to 600 g kg⁻¹ of clay was 12 mg dm⁻³ and for soils from 210 to 400 g kg⁻¹ of clay was 15 mg dm⁻³. These results probably are due to two main reasons: 1) the shallow soil layer sampled (0 to 10 cm) has a higher P concentration in no-till compared to the deeper layer sampled (0 to 20 cm) in conventional tillage; 2) crops varieties used in these experiments have more yield potential, and as a result, they have higher nutrient demand as compared to older varieties used in previous experiments. In conclusion of this research, a proposal P of fertilization is recommended in NT system in Paraguay.

Keywords: Soil Conservation, Soil Fertility, Sufficient P, Response Curve to Phosphorus.

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 – Departamentos da Região Oriental do Paraguai, local, responsável e solos utilizados onde foram conduzidos os experimentos de calibração. Paraguai, 2005.....	64
TABELA 2 – Atributos de fertilidade de solos no tratamento sem adição de fósforo na camada 0 – 10 cm de profundidade dos experimentos com doses de P_2O_5 , Paraguai, 2005.....	68
TABELA 3 – Faixas de fertilidade, dose e produtividade máxima e econômica de trigo nos experimentos Misiones 1 e Itapúa 1, em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2003.....	77
TABELA 4 – Faixas de fertilidade, dose e produtividade máxima e econômica do milho nos experimentos Misiones 1 e Misiones 2, em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2004.....	81
TABELA 5 – Faixas de fertilidade, dose e produtividade máxima e econômica do milho nos experimentos Itapúa 1 em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2004.....	85

TABELA 6 – Faixa de fertilidade, dose e produtividade máxima e econômica do milho nos experimentos Itapúa 2, Alto Paraná 1 e Pedro Juan Caballero 1, em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto, Paraguai, 2004.....	88
TABELA 7 – Faixas de fertilidade, dose e produtividade máxima e econômica da soja no experimento Misiones 1 e Misiones 2, em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto, Paraguai, 2004.....	92
TABELA 8 – Faixas de fertilidade, dose e produtividade máxima e econômica da soja nos experimentos Itapúa 1, em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto, Paraguai, 2004.....	96
TABELA 9 – Faixas de fertilidade, dose e produtividade máxima e econômica da soja no experimento Itapúa 2, Alto Paraná 1, Alto Paraná 2 e Pedro Juan Caballero 1, em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2004.....	98
TABELA 10 – Equação de regressão polinomial, coeficiente de correlação e rendimento relativo de trigo após milho e soja em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2005.....	100
TABELA 11 – Local de condução do experimento, rendimento relativo do trigo após milho em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2005.....	105
TABELA 12 – Local de condução do experimento, faixas de fertilidade e rendimento relativo do trigo após soja em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2005.....	106

TABELA 13 – Local de condução do experimento, faixas de fertilidade e rendimento relativo do milho em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2005.....	107
TABELA 14 – Local de condução do experimento, faixas de fertilidade e rendimento relativo soja em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2005.....	105
TABELA 15 – Interpretação do teor de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila.....	120
TABELA 16 – Classes de disponibilidade de P para as culturas, teor de P extraível por Mehlich-1 em cada faixa, rendimento relativo esperado e probabilidade de resposta das culturas à aplicação de fertilizantes fosfatados, Paraguai 2005.....	121
TABELA 17 – Classes de disponibilidade de P para as culturas, teor de P extraível por Mehlich-1 em cada faixa, rendimento relativo esperado e probabilidade de resposta das culturas a aplicação de fertilizantes fosfatados. Paraguai 2005.....	121
TABELA 18 – Quantidade necessária de P_2O_5 em $kg\ ha^{-1}$ para elevar $1\ mg\ dm^{-3}$ de P em solos com histórico de adubação fosfatada sob SPD. Paraguai, 2005.....	126
TABELA 19 – Quantidade adicionada de P_2O_5 em $kg\ ha^{-1}$ para elevar $1\ mg\ dm^{-3}$ de P em solos sem histórico de adubação fosfatada sob SPD. Paraguai,2005.....	127
TABELA 20 – Proposta preliminar de recomendação de adubação fosfatada corretiva em $kg\ de\ P_2O_5\ ha^{-1}$, de acordo com o teor de argila.....	142

TABELA 22 – Proposta preliminar de recomendação de adubação fosfatada corretiva em kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ , de acordo com o histórico de adubação.....	142
TABELA 23 – Proposta preliminar de recomendação de fósforo para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai, Paraguai, 2005.....	144
TABELA 1 – Departamentos da Região Oriental do Paraguai, local, responsável e solos utilizados onde foram conduzidos os experimentos de calibração. Paraguai, 2005.....	64

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 – Área com Floresta no ano de 1945 e áreas com Florestas em 1997 da Região Oriental do Paraguai, 2001.....	62
FIGURA 2 – Mapa da Republica do Paraguai, Departamentos onde foram conduzidos os experimentos de calibração (Departamentos de Misiones, Itapúa, Alto Paraná e Amambay).....	63
FIGURA 3 – Esquema experimental com os tratamentos de fósforo, Paraguai, 2005.....	70
FIGURA 4 – Adubação realizada a lanço em superfície antes da semeadura de milho e soja (acima) e semeadura do milho (esquerda abaixo) e da soja (direita abaixo) sob sistema plantio direto. Paraguai 2003.....	71
FIGURA 5 – Produtividade de grãos de trigo em função das doses de fósforo adicionadas ao solo. Paraguai 2003.....	78

FIGURA 6 – Produtividade de grãos de milho no experimento Misiones 1 (esquerda) e Misiones 2 (direita) em função das doses de P ₂ O ₅ criados no inverno de 2003 e doses de manutenção na cultura. Paraguai, 2004.....	83
FIGURA 7 – Produtividade de grãos de milho no experimento Itapúa 1, superfície de resposta da cultura em função das doses de P ₂ O ₅ criados no inverno de 2003 e doses de manutenção na cultura. Paraguai 2004.....	86
FIGURA 8 – Produtividade de grãos de milho nos experimentos Itapúa 2 (I2), Alto Paraná (AP1) e Pedro Juan Caballero 1 (PJC1), Paraguai 2004.....	89
FIGURA 9 – Produtividade de grãos de soja no experimento Misiones 1 (esquerda) e Misiones 2 (direita), superfície de resposta da cultura em função das doses de P ₂ O ₅ criados no inverno de 2003 e doses de manutenção na cultura, Paraguai 2004.....	94
FIGURA 10 – Produtividade de grãos de soja no experimento Itapúa 1, superfície de resposta da cultura em função das doses de P ₂ O ₅ criados no inverno de 2003 e doses de manutenção na cultura, Paraguai 2004.....	97
FIGURA 11 – Produtividade de grãos de soja em função das doses de fósforo adicionadas nos experimentos Itapúa 2, Alto Paraná 1, Alto Paraná 2 y Pedro Juan Caballero 1, Paraguai 2004.....	99
FIGURA 12 – Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Misiones 1. ** Significativo (P < 0,01).....	110
FIGURA 13 – Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Misiones 2. ** Significativo (P < 0,01).....	110

FIGURA 14 – Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Itapúa 1.....	111
FIGURA 15 – Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Itapúa 2. ** Significativo (P < 0,01).....	111
FIGURA 16 – Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Alto Paraná 1.**Significativo (P < 0,01).....	112
FIGURA 17 – Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Alto Paraná 2.**Significativo (P < 0,01).....	112
FIGURA 18– Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Pedro Juan Caballero 1. ** Significativo (P < 0,01).....	113
FIGURA 19 – Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, Classe 1 (Experimentos Itapúa 1, Alto Paraná 2 e Pedro Juan Caballero 1). ** Significativo (P < 0,01).....	117

FIGURA 20 – Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, Todos os experimentos (Misiones 1, Misiones 2, Itapúa 1, Itapúa 2, Alto Paraná 1, Alto Paraná 2 e Pedro Juan Caballero). ** Significativo (P < 0,01).....	118
FIGURA 21 – Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, Classe 2 (experimentos Misiones 1, Misiones 2 e Alto Paraná). ** Significativo (P < 0,01).....	119
FIGURA 22– Teor de fósforo no solo extraído por Mehlich-1 em função da aplicação de diferentes doses de P ₂ O ₅ : Experimentos Misiones 1 (M1) e Misiones 2 (M2) possuem textura de 250 g kg ⁻¹ . Paraguai, 2005.....	122
FIGURA 23 – Teor de fósforo no solo extraído por Mehlich-1 em função da aplicação de diferentes doses de P ₂ O ₅ : Experimentos Itapúa 1 (I1), possui 475 g kg ⁻¹ de argila e Itapúa 2 (I2) possui 360 g kg ⁻¹ de argila. Paraguai, 2005.....	123
FIGURA 24– Teor de fósforo no solo extraído por Mehlich-1, em função da aplicação de diferentes doses de P ₂ O ₅ , Experimentos Alto Paraná (AP1), possui 395 g kg ⁻¹ de argila, Alto Paraná 2 (AP2) possui 470 g kg ⁻¹ de argila e Pedro Juan Caballero (PJC1) possui 560 g kg de argila ⁻¹ . Paraguai, 2005.....	123
FIGURA 25– Teor de fósforo no solo extraído por Mehlich-1 em função da aplicação de doses de P ₂ O ₅ nos experimentos com histórico de adubação fosfatada, à esquerda, (M1, I1, AP1 e AP2) e sem histórico de adubação fosfatada, à direita, (M2, I2 e PJC1). Paraguai, 2005.....	125
FIGURA 26 – Incremento do teor de fósforo no solo extraído por Mehlich-1 em função de doses de P ₂ O ₅ aplicado. Faixas de fertilidade do solo: Muito Baixo (MB), Baixo (B), Alto (A) e Muito Alto (MA). Paraguai, 2005.....	128

FIGURA 27 – Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P_2O_5 nos diferentes níveis criados, experimento Misiones 1 (M1). Paraguai 2005.....	130
FIGURA 28 – Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a reaplicação de P_2O_5 nos diferentes níveis criados, experimento Misiones 1 (M1). Paraguai 2005.....	131
FIGURA 29 – Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P_2O_5 nos diferentes níveis criados, experimento Misiones 2 (M2). Paraguai 2005.....	132
FIGURA 30 – Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a reaplicação de P_2O_5 nos diferentes níveis criados, experimento Misiones 2 (M2). Paraguai 2005.....	133
FIGURA 31 – Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P_2O_5 nos diferentes níveis criados, experimento Itapúa 1 (I1). Paraguai 2005. 0,01).....	134
FIGURA 32 – Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a reaplicação de P_2O_5 nos diferentes níveis criados, experimento Itapúa 1 (I1). Paraguai 2005.....	135
FIGURA 33 – Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P_2O_5 nos diferentes níveis criados, experimento Itapúa 2 (I2). Paraguai 2005.....	136
FIGURA 34 – Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P_2O_5 nos diferentes níveis criados, experimento Alto Paraná 1 (AP1). Paraguai 2005.....	138

FIGURA 35 – Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P_2O_5 nos diferentes níveis criados, experimento Alto Paraná 2 (AP2). Paraguai 2005.....	139
FIGURA 36 – Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P_2O_5 nos diferentes níveis criados, experimento Pedro Juan Caballero 1 (PJC1). Paraguai 2005.....	141

LISTA DE ANEXOS

	Página
ANEXO 1 – Cultivares utilizadas nos respectivos locais e safras, Paraguai, 2005.....	160
ANEXO 2 – Análise de significância dos experimentos de fósforo em trigo, milho e soja (Paraguai, 2005).....	161
ANEXO 3 – Precipitação ocorrida no Distrito de Carmen Del Paraná (CRIA, 2005).....	164
ANEXO 4 – Precipitação ocorrida no Distrito de Iguazu (CETAPAR, 2005)....	165
ANEXO 5– Colheita de trigo 2004, maquina austríaca marca Wintersteiger...	166

SUMÁRIO

	Página
1. Introdução	25
2. Revisão de Literatura	28
2.1. Breve Histórico do Sistema Plantio Direto.....	28
2.2. Histórico das calibrações e recomendações de fertilizantes nos estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina.....	29
2.2.1. Calibrações.....	29
2.2.2. Recomendações de fertilizantes.....	30
2.3. Fósforo.....	33
2.3.1. Funções na planta.....	34
2.3.2. Fósforo no solo.....	34
2.3.3. Formas de fósforo no solo.....	34
2.3.4. Fósforo adicionado ao solo.....	35
2.3.5. Tempo de contato do fósforo adicionado com o solo.....	36
2.3.6. pH do solo.....	37
2.4 Amostragem do solo.....	38
2.5 Disponibilidade de nutrientes no solo e demanda de P pelas plantas..	39
2.6. Eficiência da adubação fosfatada em sistemas de manejo de solos e cultivos.....	42

2.7. Mecanismo de suprimento de fósforo para as plantas e de extração pelos métodos de análise do solo.....	46
2.8. Método mehlich-1 para determinação de fósforo do solo e estudos de calibração.....	48
2.9. Calibração de métodos de análise do solo.....	50
2.9.1. Definição do teor crítico de um nutriente e dose econômica de fertilizantes.....	52
2.9.2. Curvas de resposta e o uso de modelos matemáticos	53
2.9.3 Interpretação e recomendação de fertilizantes.....	55
2.10. Recomendações de adubação para os estados de RS e SC, 2004...	56
2.10.1. Expectativa de rendimento.....	57
2.10.2. Adubação de manutenção.....	57
2.10.3. Adubação de reposição.....	57
2.10.4. Adubação de correção total.....	58
2.11 Hipóteses.....	59
2.12. Objetivos.....	60
3. Material e Métodos.....	60
3.1. Descrição geral.....	60
3.2. Fisiografia.....	60
3.3. Clima.....	60
3.4. Solo.....	61
3.5. Cobertura Florestal.....	61
3.6. Descrição dos experimentos.....	62
3.7. Delineamento, unidades experimentais e tratamentos.....	69
3.8. Semeadura, condução e colheita.....	71
3.9. Coletas de solo e análise.....	73
3.10. Determinação do rendimento relativo das culturas.....	73
3.11. Calibração.....	74
3.12. Construção de níveis de fósforo.....	75
4. Resultados e Discussão	76

4.1 Produtividade das culturas influenciada por doses de adubação fosfatada.....	76
4.1.1 Produtividade do trigo safra 2003 em função de doses de adubação fosfatada.....	77
4.1.2 Produtividade do milho safra 2003/04 em função de doses de adubação fosfatada.....	79
4.1.2.1 Misiones.....	80
4.1.2.2 Itapúa 1.....	84
4.1.2.3 Itapúa 2, Alto Paraná 1 e Pedro Juan Caballero 1.....	87
4.1.3 Produtividade da Soja na safra 2003/04 em função da adubação fosfatada.....	90
4.1.3.1 Misiones.....	91
4.1.3.2 Itapúa 1.....	95
4.1.3.3 Itapúa 2, Alto Paraná 1, Alto Paraná 2 e Pedro Juan Caballero 1.....	97
4.2 Produtividade de trigo após milho e soja na safra 2004 em função da adubação fosfatada.....	100
4.3 Calibração de fósforo determinado pelo método Mehlich-1 para cada solo pesquisado.....	104
4.4 Determinação do teor crítico de fósforo para o conjunto de solos investigados.....	114
4.5 Determinação de faixas de fertilidade do solo para o nutriente fósforo.....	120
4.6 Construção de níveis de fósforo sob sistema plantio direto.....	122
4.6.1. Aplicação de P_2O_5 nos diferentes níveis de fertilidade construídos.....	129
4.7. Recomendações.....	142
5. Conclusões.....	146
6. Revisão Bibliográfica.....	148
7. Anexos.....	159

1. INTRODUÇÃO

A superfície total do Paraguai é de 406.752 Km², dos quais 159.827 Km² (39.3 %) corresponde a Região Oriental do país e os 60,7 % restante pertencem à Região Ocidental ou Chaco Boreal. A Região Oriental está, essencialmente, mais desenvolvida que a Região Ocidental devido a fatores climáticos e geográficos, os quais também se traduzem no fato de que 98,6 % da população reside nesta região. Atualmente, 60 % da área sob cultivo agrícola do país utiliza o sistema plantio direto (SPD), com destaque para o sudeste, oeste e nordeste da Região Oriental.

No Brasil, especificamente no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, existe uma rede oficial de laboratórios de análise de solo e tecido vegetal (ROLAS) que foi criada no ano 1968, sendo esta e a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (Núcleo Regional Sul, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo) as responsáveis pelo freqüente aperfeiçoamento e padronização das recomendações de adubação e calagem. No Paraguai, pela expressiva área de adoção do SPD e, principalmente, pela importância econômica em nível nacional da produção de grãos, foi fundada no ano de 2003 uma rede nacional de laboratórios de análises de solos (RENALAS). Esta instituição desempenha importante papel uma vez que anteriormente as metodologias utilizadas pelos laboratórios e mesmo as interpretações dos resultados das análises, em sua maioria eram diferentes, e até então não havia padronização na recomendação de adubação para o SPD.

Com a adoção do SPD surgiram questionamentos quanto à adequação do uso das recomendações técnicas de fertilizantes, especialmente de fósforo (P), pois estas haviam sido elaboradas com base em resultados obtidos em experimentos conduzidos no sistema convencional de preparo de solo (aração + gradagens).

Segundo Kochhann & Denardin (2000), somente a partir da década de 80 é que a pesquisa produziu resultados que levaram o sistema plantio direto a ser entendido não como apenas um método alternativo de preparo do solo, mas como um sistema complexo e totalmente novo de produção agrícola, com alterações substanciais nos parâmetros químicos, físicos e biológicos de qualidade de solo e com grande impacto no rendimento das culturas.

A dinâmica das características químicas, físicas e biológicas do solo é alterada quando o sistema de manejo é substancialmente modificado. Entre as

principais mudanças observadas nos solos sob SPD, destacam-se: a) à redução da adsorção de fósforo pelo menor revolvimento, fato que ocorre com grande intensidade quando o solo é mobilizado no preparo convencional (Eltz et al., 1989; Martins & Gonçalves, 1997), b) a maior concentração superficial de nutrientes, entre eles o fósforo, especialmente na camada de 0 a 5 cm, ou até mesmo na camada de 0 a 10 cm de profundidade (Muzilli, 1983; Sidiras & Pavan, 1986; Eltz et al., 1989; Sá, 1993; Ruiz Diaz, 1998; Schlindwein & Anghinoni, 2000) e c) o aumento da matéria orgânica (Eltz et al., 1989; Sidiras & Pavan, 1986; Bayer, 1996; Schlindwein & Anghinoni, 2000), que associada à resteva das culturas mantida na superfície, diminui as perdas de solo e nutrientes por erosão (Bertol et al., 1997; Seganfredo et al., 1997) permitindo um melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicados.

A menor profundidade de amostragem do solo sob SPD, associada à concentração superficial de fósforo, resulta em valores mais elevados dos atributos de fertilidade. Em experimentos de longa duração estudados por Schlindwein & Anghinoni (2000), foi observado um aumento médio em torno de 50 % nos teores de fósforo, nas amostras de solo sob SPD retiradas da camada 0 a 10 cm, em relação aos valores daquelas da camada 0 a 20 cm sob sistema convencional de cultivo (SCC).

Acredita-se com isto, que a maior concentração de P na superfície e a amostragem superficial de solo (0 -10 cm) sob SPD, deva resultar em um teor crítico superior ao determinado para preparos com revolvimento de solo que consideram uma camada de solo uniforme e mais profunda (0-20 cm).

Nos últimos anos foram introduzidas significativas mudanças nos sistemas de cultivo adotado no Paraguai, destacando-se: a) mais de 85% do cultivo agrícola mecanizado nas áreas de produção com as principais culturas no país são cultivadas sob SPD, reduzindo drasticamente o tradicional SSC; b) a amostragem do solo sob sistema plantio direto é feita na camada de maior concentração de nutrientes (0-10 cm); c) o rendimento médio das principais culturas aumentou devido ao melhoramento genético e das práticas de manejo; d) atualmente existem métodos alternativos de análise de solo mais eficientes, de baixo custo e com praticidade laboratorial que estão sendo utilizados pela RENALAS. Esta mudanças no sistema de cultivo necessitam ser consideradas nas recomendações de fertilização para o Paraguai.

A ferramenta mais utilizada na agricultura para determinar a quantidade necessária de insumos para as culturas é a análise de solo. A principal finalidade da análise de solo é avaliar o estado de fertilidade do mesmo e determinar a quantidade de nutrientes para as plantas, servindo de base para uma recomendação racional e econômica de corretivos e fertilizantes. Contudo, a análise de solo é viável somente se apoiada em um programa de calibração dos valores obtidos pela metodologia analítica com o rendimento das culturas (Schlindwein, 2003).

Em função desse novo cenário agrícola é que foram conduzidos sete experimentos de calibração a campo, em diferentes localidades, visando à obtenção de tabelas próprias de recomendação de adubação fosfatada para as culturas de trigo, milho e soja sob SPD no Paraguai. Estudos de calibração de P para o SPD são escassos no Paraguai. Este fato tem sido pouco pesquisado e é o objetivo central deste trabalho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Breve Histórico do Sistema Plantio Direto

O sistema plantio direto é um sistema de cultivo relativamente recente. Seu início ocorreu na Inglaterra na década de 40. Nos anos 50 foi desenvolvido nos Estados Unidos e na Alemanha na década de 60. No Brasil surgiu no início dos anos 70, simultaneamente nos Estados do Paraná e do Rio Grande do Sul. O Sr. Herbert Arnold Bartz (Rolândia, PR) é considerado o pioneiro do plantio direto no Brasil, tendo iniciado lavouras comerciais sob esse sistema em 1972, com o auxílio do Engenheiro Agrônomo Rolf Derpsch (Dijkstra, 1983; Borges, 1993).

Em 1976 um grupo de produtores paraguaios, entre eles Rudi Dressler, pioneiro do SPD no Paraguai (Pereira, 2003), visitaram a propriedade do Sr. Bartz em Rolândia - PR, e em 1977 foram importadas as primeiras máquinas de plantio direto através da Cooperativa Colonias Unidas Agrícola Limitada e da Colonia Obligado do Departamento de Itapúa.

Durante o ano de 1982 até 1984, com o apoio da COTIA de Brasil, foram realizados os primeiros seminários sobre plantio direto nas colônias Japonesas dos Departamentos de Alto Paraná e Itapúa (Cubilla & Moriya, 2000). De 1986 a 1990 a CETAPAR-JICA realizou capacitações de produtores líderes em plantio direto através de cursos de treinamento, intercâmbios de conhecimentos entre produtores e viagens técnicas ao Brasil. Ao mesmo tempo se instalam ensaios comparativos entre SPD e SCC.

Em 1990 formou-se o primeiro grupo de produtores de plantio direto, sendo integrado por 12 agricultores denominados GRUPLADI. Logo em 1992 foi realizado o Primeiro Encontro de Produtores em Plantio Direto do Paraguai. No mês de agosto de 1993 foi fundado a Federação Paraguaia de Plantio Direto – FEPASIDIAS (Federación Paraguaya de Siembra Directa para una Agricultura Sustentable). No mesmo ano de 1993 teve início o “Projeto de Conservação de Solos do Ministério de Agricultura e a Cooperação técnica alemã (GTZ)” a cargo do Engenheiro Agrônomo Rolf Derpsch, com o objetivo de aprimorar, impulsionar e difundir o SPD a nível nacional, finalizado no ano 2001.

Em 2002, um grupo de professores de manejo do solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em conjunto com a Câmara Paraguaia de Exportadores de Cereais e Oleaginosas (CAPECO) e o Programa Nacional de Manejo, Conservação e Recuperação de Solos (PNMCRS-MAG), organizam um seminário sobre metodologia de análises e recomendações de adubação sob SPD, desta forma iniciando parceria de trabalho em busca de novos estudos de pesquisas no que se refere ao manejo da fertilidade do solo em SPD no Paraguai. Esta dissertação é resultado desta ação de pesquisa.

2.2 Histórico das calibrações e recomendações de fertilizantes nos Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina

2.2.1. Calibrações

A partir da década de 50 foram realizados inúmeros estudos de calibração, sendo na maioria estabelecidas faixas de fertilidade do solo de forma subjetiva, como por exemplo, baixa, média e alta, para probabilidade de alta, média e baixa resposta à adição de fertilizantes, respectivamente (Mielniczuk et al., 1969a,b; Cate & Nelson, 1973). Faixas de teores muito baixo, baixo, médio e bom foram introduzidas em tabelas publicadas em 1973 (Tabelas..., 1973) para a interpretação de resultados de análises de solos para os estados do RS e SC. Outras como, limitante, muito baixo, baixo, médio, suficiente a alto foram introduzidas nas tabelas publicadas em 1987 (Siqueira et al., 1987; Comissão..., 1989 e 1995). Os estudos de calibração realizados nos estados do RS e SC e no restante do Brasil tiveram impulso com o “Programa Nacional de Análise do Solo”, desenvolvido na década de 60/70, coordenado pelo Ministério da Agricultura, em convênio com a Universidade da Carolina do Norte (EUA), utilizando o extrator Mehlich-1 (HCl 0,05M + H₂SO₄ 0,0125M), conhecido na época como método Mehlich ou Carolina do Norte (Anghinoni & Volkweiss, 1984).

No RS e SC, esses estudos se estenderam até meados da década de 80, com experimentos de campo, instalados em vários locais e conduzidos em parceria com as diversas instituições de ensino, pesquisa e extensão desses estados. As primeiras tabelas de recomendação de fertilizantes foram elaboradas em conjunto entre a Rede de Laboratórios de Análise de Solo e a Comissão de Fertilidade do Solo. Em todos os experimentos, os fertilizantes foram distribuídos a lanço com incorporação na profundidade de 0-15 cm, no mesmo dia da semeadura das culturas. O delineamento experimental constou de oito tratamentos, com duas repetições, em várias combinações de N-P₂O₅-K₂O em kg ha⁻¹ (0-0-0, 0-200-50, 40-200-50, 80-200-50, 80-0-50, 80-100-50, 80-200-50 e 80-200-100) (Mielniczuk et al., 1969b). O rendimento relativo para fósforo ou potássio foi obtido pela divisão do rendimento do tratamento sem o nutriente em estudo pelo de maior rendimento com dose de fósforo ou potássio multiplicado por 100, expresso como percentagem do rendimento máximo. A relação entre o fósforo ou o potássio do solo determinado pelo método Mehlich-1 e os valores de rendimento relativo foi obtida pela plotagem dos mesmos (Mielniczuk et al., 1969b) em papel milimetrado na forma de gráfico com eixos cartesianos e o ajuste feito pelo desenho manual da curva.

O teor crítico foi estabelecido como o valor da análise de solo quando o rendimento atingiu o valor de 90% do rendimento máximo e as doses de fertilizantes, para as adubações de correção, até 1986, foram estabelecidas para elevar a fertilidade do solo até esse valor. Acrescentava-se para cada cultivo, as quantidades necessárias de manutenção, considerando-se a exportação pelos grãos e o que era perdido pelo sistema. A partir de 1987, houve a mudança de critério de adubação com as doses de fertilizantes estabelecidas para máxima eficiência econômica já para o primeiro cultivo e elevação progressiva da fertilidade do solo no período de três cultivos.

2.2.2. Recomendações de fertilizantes

Os primeiros estudos de calibração no RS foram feitos para a cultura do trigo em 16 locais, envolvendo diversas instituições (Mielniczuk et al., 1969b). Estes resultados, somados aos dados de outras culturas, deram origem às

“Recomendações de adubação e calcário para as principais culturas do Estado do Rio Grande do Sul” (Mielniczuk et al., 1969a). Nessas recomendações estabeleceram-se quatro faixas de fósforo sendo elas denominadas muito baixo, baixo, médio e bom (respectivamente para os teores de 0- 4,0, 4,1- 8,0, 8,1- 12,0 e >12,0 mg dm⁻³ em solos argilosos e de 0-10,0, 10,1- 20,0, 21,0 - 30,0 e >30,0 mg dm⁻³ em solos arenosos), com teor crítico de 12 e de 30 mg dm⁻³ em solos argilosos e arenosos, respectivamente.

Nas primeiras tabelas de adubação elaboradas por Mielniczuk et al. (1969a), as recomendações foram divididas em adubação corretiva e de manutenção para fósforo e potássio. As corretivas tinham por objetivo elevar a fertilidade do solo à faixa bom já no primeiro cultivo, e criar condições favoráveis de nutrição para todas as culturas exploradas pelo agricultor. Baseavam-se na cultura mais exigente e que proporcionava o maior retorno econômico. Assim, as recomendações de adubação corretiva eram válidas para 4 a 5 anos e eram consideradas como investimento para fins de financiamento. As doses, tanto de P₂O₅ como de K₂O, para as adubações de correção eram de 120, 80, 40 e 0 kg ha⁻¹ para faixas de fertilidade, muito baixo, baixo, médio e bom, respectivamente. As adubações de manutenção, realizadas a cada cultivo, tinham a finalidade de manter os níveis de fertilidade e garantir elevadas produções. Foram estabelecidas para cada cultura e equivaliam, aproximadamente, à exportação de nutrientes pelos grãos;

Em 1972 foram publicadas as “Sugestões para adubação no Rio Grande do Sul”, com a substituição da adubação de correção por outra de elevação da fertilidade do solo a longo prazo, sem prejuízo para a produção (Patella, 1972). Essas sugestões mantiveram os teores críticos definidos por Mielniczuk et al. (1969a).

Em 1973 foram publicadas novas tabelas de adubação corretiva e de manutenção (Universidade..., 1973) para solos e culturas dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, mantendo-se o critério de adubação de correção do solo. Porém, agregaram-se mudanças significativas aos teores críticos e faixas de fertilidade de fósforo, para solos com diferentes classes texturais. Para os solos argilosos definidos por Mielniczuk (1969a), foi estabelecido o teor crítico de 9,0 mg dm⁻³ com quatro faixas de teores de fósforo (muito baixo, baixo, médio e bom, para teores 0- 3,0, 3,1- 6,0, 6,1- 9,0 e >9,0 mg dm⁻³, respectivamente). Introduziu-se uma nova classe textural denominada solos francos, com teor crítico de 18,0 mg dm⁻³,

sendo estabelecidas as faixas de teores de 0- 6,0, 6,1- 12,0, 12,1- 18,0 e > 18,0 mg dm⁻³ para a faixa muito baixo, baixo, médio e bom respectivamente.

A partir de 1976 foram definidos critérios quantitativos de argila para a separação dos solos em grupos texturais (Tabelas...,1976). Assim, os solos passaram a ser classificados como argilosos, francos e arenosos para teores de argila >40, 40-20 e <20% com teores críticos de fósforo 9, 18 e 30 mg dm⁻³, respectivamente. A adubação corretiva foi mantida na publicação das tabelas em 1976 (Mielniczuk et al., 1969a), e as adubações de manutenção de P₂O₅ foram ajustadas, sendo recomendados 75 kg ha⁻¹ para a soja e o trigo e 75-90 kg ha⁻¹ para o milho, abaixo e acima do rendimento de 5000 kg ha⁻¹. As doses de K₂O para a soja e o trigo foram de 50-30-10 kg ha⁻¹ para os solos com teores <80, 80-120 e >120 mg dm⁻³. Para o milho foram definidas as doses de 50-30-10 kg ha⁻¹ e 70-40-12 kg ha⁻¹ para rendimentos menores e maiores do que 5000 kg ha⁻¹ e teores <80, 80-120 e >120 mg kg⁻¹, respectivamente. Essas definições foram mantidas na edição do “Manual de adubação e calagem para cultivos agrícolas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina” (Manual..., 1981).

Siqueira et al. (1987) introduziram algumas mudanças significativas, tanto conceitualmente quanto quantitativamente nas “Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina”. Entre elas, a substituição do critério de adubação de correção da fertilidade a cada 4 ou 5 anos, mais a adubação anual da cultura pelo de máxima eficiência econômica por cultivo com aumento gradual da fertilidade do solo e análise de solos a cada três cultivos.

Outra mudança importante foi a substituição das três classes de teores de argila, com seus respectivos teores críticos elaborados por Tabelas... (1976), por cinco classes de teores de argila, >55, 55-41, 40-26, 25-11 e <10%, com novos teores críticos de 6, 9, 14, 18 e 24 mg kg⁻¹ de fósforo, respectivamente.

Cada uma dessas cinco classes de teores de argila foi subdividida em faixas de teores de fósforo: limitante, muito baixo, baixo, médio, suficiente (corresponde à faixa de teor crítico) e alto.

A reedição das tabelas de “Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina”, publicadas em 1989 e 1995 (Comissão...,1989 e 1995), contém a maior parte dos conhecimentos adquiridos com os estudos efetuados desde a implantação do programa de análise de solos a partir da década de 1960.

Na última recomendação publicada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004), intitulado Manual de Adubação e da Calagem para os Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina, foram feitas novas modificações, com respeito a um novo critério para definir a dose de adubação, o conceito de correção passa a ser adubar o solo e o de manutenção adubar a cultura, a correção pode ser feita em um ano ou dividida em dois cultivos. Também se considera uma margem para possíveis perdas na dose de manutenção e a adubação de reposição é usada só quando o teor está muito alto (nova classe) que é só a exportação. Esta nova recomendação será detalhada mais adiante.

O Paraguai possui uma história de agricultura muito mais recente, tem uma recomendação feita na década de 90 (Fatecha, 1999) que visa somente à adubação da cultura (manutenção) e foi feita com base no sistema convencional de preparo do solo. Outras recomendações utilizadas no país são de diferentes locais do Brasil como do Paraná, Rio Grande do Sul/Santa Catarina, São Paulo, Cerrado e Minas Gerais, assim como da Argentina. Estas não foram testadas nem calibradas para o Paraguai, ficando a dúvida sobre a sua validade. Este processo ainda é embrionário no Paraguai e necessita urgentemente ter início. Pela similaridade nas condições edafoclimáticas, há possibilidade de transferência de uma grande parcela da experiência acumulada no manejo da fertilidade sob SPD no RS e SC para o Paraguai.

2.3. Fósforo

O elemento químico fósforo (P) foi descoberto por Brand em 1772 e a essencialidade para plantas foi constatada por Ville em 1860 (Wiethölter, 2003). O primeiro fertilizante fosfatado foi elaborado a partir da sugestão de Justus von Liebig em 1840, de misturar farinha de ossos e H_2SO_4 . A mineração de fósforo iniciou em 1847, em Suffolk, Inglaterra (Cathcart, 1980). Por ser essencial para todas as formas de vida, pelo teor geralmente baixo em solos nativos, pela alta adsorção de fósforo pelo solo e a conseqüente baixa recuperação, na primeira safra, do fósforo aplicado, os fertilizantes contendo fósforo tem grande importância na produção de alimentos.

2.3.1. Funções na planta

As plantas retiram todo o fósforo necessário para seu desenvolvimento da solução do solo nas formas de íons H_2PO_4^- e $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$. Portanto o único fósforo que está disponível imediatamente é o fósforo em solução.

O P é essencial para a divisão celular, a reprodução e o metabolismo vegetal (fotossíntese, respiração e sínteses de substâncias). O fósforo estimula o desenvolvimento radicular e aumenta o perfilhamento; contribui para a formação dos grãos e melhora seu valor nutritivo (Malavolta, 1987).

2.3.2. Fósforo no solo

No solo o fósforo está presente nas fases sólida e líquida. Sendo o solo uma mistura de materiais orgânicos e inorgânicos, o fósforo apresenta-se também em formas orgânicas e inorgânicas, tanto na fase sólida como na fase líquida (solução do solo). O fósforo da solução (P-solução) do solo mantém-se em equilíbrio com o fósforo da fase sólida (P-sólido). Devido à muita baixa mobilidade dos compostos fosfatados presentes no solo e à baixa quantidade de água que o solo retém (em geral menor de 30%), a quantidade de P da solução é muito pequena comparada com a de P-sólido. Apesar da pequena concentração de P-solução, as plantas absorvem o P para seu desenvolvimento da solução do solo. Portanto, propriedades de solo como pH, teor de óxidos e outros fatores que afetam o equilíbrio P-sólido:P-solução, são de fundamental importância para a nutrição de plantas (Anghinoni & Bissani, 2004).

2.3.3. Formas de fósforo no solo

A quantidade total de P nos solos é bastante variável, dependendo principalmente do teor original do material que deu origem ao solo e à idade de desenvolvimento do mesmo. Materiais com alto teor de P como os basaltos dão

origem a solos como altos teores de P total. Quanto mais velho for o solo, mais intensas foram as perdas e maior é a tendência do solo apresentar baixas quantidades de P. Solos argilosos em geral possuem mais P que nos arenosos.

O fósforo total da maioria dos solos situa-se entre 0,03 e 0,34% (300 e 3400 mg dm⁻³), sendo que na sua totalidade está na forma sólida. O fósforo da solução do solo é constituído principalmente de P inorgânico e sua concentração é, na maior parte dos casos, menor que 0,1 mg dm⁻³. Um estudo com solos do Estado de Rio Grande do Sul, incluindo alguns que haviam sido recentemente adubados com P, indicou que a concentração de P na solução foi menor que 0,05 mg dm⁻³ (Anghinoni & Bissani, 2004).

No solo o fósforo pode estar em duas formas químicas: a inorgânica (P_i), que constitui aproximadamente 50% de P total na maioria dos solos; e a orgânica (P_o) que em grande parte de solos, aproximadamente a metade está na forma de compostos orgânicos. Como o íon fosfato tem uma grande afinidade química pelos cátions Fe, Al e Ca, o P inorgânico do solo é quase todo constituído de compostos que tem íons fosfato ligado a estes cátions. A forma inorgânica compreende o P associado a sesquióxidos de Fe e de Al e compostos calcários. A forma P_o compreende compostos estáveis e relativamente lábeis, cuja importância pode se tornar crescente à medida que o teor de matéria orgânica (MO) aumenta na superfície de solos sob SPD. Revisão Po

2.3.4. Fósforo adicionado ao solo

Adicionando-se P ao solo, provoca-se um aumento no P-sólido e também no P-solução. O aumento no P-solução será tanto maior quanto maior for à quantidade de P-adicionado.

Uma vez aplicado o fertilizante ao solo, o fósforo pode tomar vários caminhos: a) ser absorvido pelas raízes e exportado da área pelos produtos colhidos (grãos, forragem, etc); b) ser adsorvido levemente pelo solo (processo físico); c) ser adsorvido fortemente na superfície de minerais contendo Al, Fe, Mn e Ca [processo químico, envolvendo adsorção específica, sendo fortemente dependente da

quantidade de P previamente adsorvido (Rheinheimer et al., 2003), do pH e do teor de argila, cujos valores são representados parcialmente pela capacidade tampão de cada solo]; d) ser incorporado a substâncias orgânicas, formando P orgânico (P_o); e) ser removido da área pelos processos de escoamento superficial (de alguma importância no sistema plantio direto em momentos de precipitação pluvial de alta intensidade e logo após a aplicação superficial de fertilizante fosfatado) e lixiviação, cuja quantidade perdida por esse processo é insignificante, exceto em solos arenosos e quando o teor de P no solo é muito elevado.

A transformação do fósforo adicionado ao solo em P-sólido é, em geral designada por *fixação de P* (Bissani et al., 2004). Parte do P fixado é liberado para a solução do solo a medida que as plantas absorvem P, e, portanto, a fixação de P não deve ser vista como uma perda completa do P adicionado. A quantidade de P adicionado que é liberada para a solução do solo é variável com o tipo de solo, sendo pequena em solos muito argilosos e maior em solos arenosos.

2.3.5. Tempo de contato do fósforo adicionado com o solo.

Imediatamente após a adição de um adubo fosfatado solúvel, iniciam as reações de dissolução do adubo na solução do solo e a subsequente transformação do P-solução em P-sólido (ligação dos íons fosfato com as superfícies de óxidos e argilas). Num estudo realizado no Departamento de Solos da UFRGS, apresentado por Bissani et al. (2004), mostram, que inicialmente a concentração de P na solução é alta, devido a dissolução do adubo na solução do solo. Nos primeiros dias esta concentração decresce rapidamente e após decresce mais lentamente.

Com o passar do tempo, portanto, decresce a disponibilidade do P adicionado para as plantas. Porém, na maior parte dos solos, o P adicionado a uma cultura continua a beneficiar as culturas dos anos subseqüentes. Este é o efeito residual do fósforo. Este efeito residual, é tanto maior, quanto maior for a quantidade de fósforo aplicado, quanto mais lenta for a transformação do fósforo adicionado em P-sólido e, também, quanto menor for a proporção deste P-sólido que passar para formas muito insolúveis.

2.3.6. pH do solo

A maior parte dos solos paraguaios não corrigidos apresentam pH entre 4,5 a 5,9. São, portanto, bastante ácidos, sendo necessária a calagem para reduzir a acidez e, conseqüentemente, elevar os rendimentos das culturas. Fatecha (2004) estima uma necessidade de 1,5 a 2,6 toneladas de calcário por hectare, para a Região Oriental do país.

Um dos efeitos benéficos da calagem de solos ácidos é o aumento da disponibilidade de fósforo para as plantas, devido aos seguintes fatores: a) eliminação do Al trocável que causa danos à raiz de plantas sensíveis e, conseqüentemente, dificulta a absorção de P e sua posterior translocação para a parte aérea; b) aumento da atividade microbiana, que provoca maior mineralização do P orgânico; e, c) aumento da concentração de íons OH^- , os quais podem deslocar o P adsorvido na superfície dos minerais para a solução do solo (Anghinoni & Bissani, 2004).

Trabalhos de pesquisa de adubação fosfatada com calagem nos Estados de RS e SC, mostraram que a calagem melhora o aproveitamento do fósforo no cultivo da soja, com aumentos consideráveis de produção (Abrão & Grimm, 1975; Eltz et al., 1975; Scherer, 1998). O efeito interativo da calagem-fósforo foi observado no SPD (Nolla & Anghinoni, 2003; Nicolodi et al., 2002) com maior resposta da soja a doses de fósforo do que a calagem, sendo verificada interação positiva nas doses mais baixas. A disponibilidade de fósforo pode, portanto, ser considerada como o fator nutricional mais frequentemente limitante as plantas no RS. Esta situação provavelmente é similar à verificada nos solos situados no Leste e sudeste da Região Oriental do Paraguai, já que ambos provêm do mesmo material de origem (basalto), com geformas parecidas e desenvolvimento em clima úmido, que favorece ao intemperismo.

A calagem do solo sob SPD resulta em maior produtividade dos cultivos, não somente pela neutralização da acidez, mas também pelo aumento da disponibilidade de fósforo, resultante na diminuição da adsorção de fósforo nativo, contribuindo para uma maior eficiência na adubação fosfatada.

2.4 Amostragem do solo

Um dos requisitos básicos do manejo da fertilidade do solo é a coleta de amostras que representam adequadamente a disponibilidade de nutrientes de uma determinada área agrícola.

Vários estudos foram realizados na década de 90, visando determinar a profundidade ideal de amostragem e o número mínimo de subamostras para amostrar solos sob SPD (Anghinoni & Salet, 1998; Anghinoni, 1999). Tem sido observado em vários experimentos (Derpsch et al., 1986; Eltz et al., 1989; Merten & Mielniczuk, 1991; Kochhann, 1992; Sá, 1993; Ruiz Diaz, 1998), que o SPD forma camadas de distintas concentrações de nutrientes. Anghinoni (1999) determinou a necessidade de um mínimo 10 a 15 subamostras para compor uma amostra representativa de solo sob plantio direto. Este fato está relacionado à variabilidade horizontal e vertical. A profundidade da amostragem pode depender da forma que é aplicado o adubo. A amostra pode ser coletada na camada de 0 a 10 cm de profundidade, particularmente em lavouras com teores de P e de K no solo abaixo do nível de suficiência ou teor crítico.

No SCC como as operações de preparo tendem a uniformizar verticalmente a distribuição dos nutrientes no perfil, recomenda-se amostrar o solo na camada mobilizada, ou seja, de 0 a 20 cm de profundidade. Porém, no SPD devido à mínima mobilização do solo e a conseqüente concentração de nutrientes nos primeiros centímetros de solo recomenda-se amostrar uma camada mais superficial, de 0 a 10 cm (Manual de adubação e de calagem para os Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 2004). No entanto, ao iniciar este sistema conservacionista, recomenda-se uma amostragem mais profunda para correção de possíveis problemas que possam estar ocorrendo em profundidade, os quais apresentarão dificuldades de correção posterior à adoção do sistema. Na tentativa de diminuir a variabilidade das áreas de coleta, deve-se subdividir áreas grandes da propriedade em zonas homogêneas, onde se considera o tipo de solo, a topografia, a vegetação e o histórico da área (Manual..., 2004).

Atualmente num novo avanço da agricultura mundial, é a agricultura de precisão, aonde as áreas vem sendo divididas e as amostragens são feitas geo-referenciadas, possibilitando dessa forma trabalhar com a variabilidade da fertilidade

do solo. Através desta tecnologia, pode-se diminuir o número de subamostras para compor uma amostra, pois se estará determinando a quantidade do elemento no ponto. O ponto vai representar uma área, e a união das áreas representadas pelos diversos pontos formarão os mapas dos nutrientes no solo. Através dos mapas da fertilidade do solo poder-se-á fazer aplicações a taxa variável de acordo com o teor no solo, as necessidades da cultura, os recursos disponíveis e o interesse do agricultor. Desta forma, alocar da melhor forma os insumos de produção, reduzindo os custos, aumentando a produtividade e reduzindo os riscos de contaminação ambiental.

A amostragem do solo é o primeiro passo para efetuar uma recomendação de fertilizantes para determinada cultura. Portanto, uma fertilização balanceada é a que prove os nutrientes carentes no solo e atende as necessidades da planta. Para uma melhor eficiência, a adubação deve ser recomendada de acordo com os resultados das análises dos solos, que é uma ferramenta muito mais barata que o custo de fertilizantes a serem aplicados.

2.5 Disponibilidade de nutrientes no solo e demanda de P pelas plantas.

As plantas no geral requerem de 16 elementos químicos para o seu desenvolvimento. Dos quais, destacam-se o carbono, o hidrogênio e o oxigênio fornecidos naturalmente pela água e pelo ar que perfazem mais de 90% da matéria seca das plantas; os elementos nitrogênio, fósforo e potássio, também chamados de macronutrientes, pois são utilizados em grandes quantidades pelas plantas e são constituintes dos principais fertilizantes consumidos na agricultura paraguaia e mundial. Os nutrientes cálcio, magnésio e enxofre, chamados de macronutrientes secundários, são constituintes de corretivos e de alguns fertilizantes. Os nutrientes cobre, zinco, manganês, ferro, molibdênio, boro e cloro são chamados de micronutrientes, devido à pequena quantidade absorvida pelas plantas, e são constituintes de muitos fertilizantes.

O fósforo normalmente é adicionado ao solo na forma de fertilizante mineral, pois a maioria dos solos agricultáveis do RS-Brasil (Rheinheimer et al., 2001) e da Região Oriental do Paraguai (Fatecha, 1999), apresentam baixa disponibilidade

desse nutriente. Fatecha (1999) afirma que nos solos da Região Oriental do Paraguai, o nutriente mais deficiente, é o fósforo, seguindo em ordem decrescente de importância, o nitrogênio, cálcio, magnésio e o potássio, entre os micronutrientes o cobre e o zinco. A necessidade de fertilizantes fosfatados, para as principais culturas de verão no RS, é 424 mil toneladas anualmente, representando altos investimentos nos setores da indústria, no transporte e na agricultura (Rheinheimer et al., 2001). O mesmo autor verificou que, aproximadamente, 80 % das análises de solo feitas no RS de 1998 a 2000 apresentaram teor de fósforo abaixo dos níveis adequados para rendimentos satisfatórios. No Paraguai um trabalho de levantamento da fertilidade realizado na Região Oriental em 214 distritos, constatou-se que mais do 80 % das análises de solo feitas desde 1980 até 2002 enquadraram-se em níveis de fósforo abaixo dos adequados ou de suficiência para as plantas (Fatecha, 2004).

Os custos com fertilizantes na agricultura do RS podem alcançar 20% do total dos investimentos dispendidos nos cultivos da soja, trigo e milho sob SPD (FECOAGRO/RS, 2002). Por isso, a utilização de doses de fertilizantes deve ser criteriosa, baseada na utilização racional, a partir do retorno econômico das culturas, definido pela calibração realizada a campo com o objetivo de determinar as doses específicas de nutrientes para cada cultura, a partir da análise de solo. Além dos aspectos econômicos, destacam-se também os aspectos ambientais. O fósforo tem sido considerado um nutriente com risco ambiental pois se alcançar os recursos hídricos pode induzir o processo de eutroficação. Portanto, deve-se procurar evitar a construção de teores muito acima da demanda das culturas, especialmente em áreas de SPD em que outras práticas conservacionistas, como o terraceamento não são utilizadas. Desta forma, o manejo da fertilidade irá contribuir para reduzir o risco de contaminação ambiental através do escoamento superficial.

A soja, o trigo e o milho são as culturas mais cultivadas nos solos do RS e ocupam, anualmente, área aproximada de 5 milhões de hectares (Emater/RS, 2003). A área total de agricultura do Paraguai é de 3,2 milhões de hectares, dos quais 2,0 milhões são de soja e cultivada em rotação as culturas de milho, trigo, girassol e canola (CAPECO, 2005). O Ministério de Agricultura do país estima uma área de 440 mil hectares de milho, sendo que aproximadamente 200 mil são híbridos vinculados à rotação com soja e o restante são variedades de milho cultivadas por

muitos assentamentos de pequenos produtores. O restante dos cultivos estão destinados a parcelas de pequenos e medianos produtores, de outras espécies e que não são relativas a regiões da soja, complementando espécies como mandioca, algodão, cana de açúcar, feijão, arroz e entre outras que somadas totalizam 3,2 milhões de hectares.

Dessas culturas, no Paraguai, o trigo tem recomendação de doses de P_2O_5 maiores do que a soja e o milho (Fatecha, 1999), até a penúltima recomendação no RS e SC o trigo também tinha recomendação de doses de P_2O_5 maiores do que a soja e o milho (Comissão..., 1995). No entanto, o trigo é a cultura com menor necessidade do nutriente fósforo para o seu desenvolvimento (Raij et al., 1997). Por exemplo, para um rendimento médio de grãos no RS, em 2000/2001, de 1969, 1785 e 3142 $kg\ ha^{-1}$ para a soja, trigo e milho, respectivamente (Emater/RS, 1998; Emater/RS, 2003), as quantidades absorvidas estimadas, segundo Raij et al. (1997), de P_2O_5 para as plantas inteiras são de 72, 24 e 36 $kg\ ha^{-1}$. As exportações de fósforo pelos grãos das culturas, de acordo com os dados de Raij et al. (1997) e de Wiethölter et al. (1998), são proporcionalmente semelhantes, embora em quantidades menores do que para as plantas inteiras. Segundo a Comissão (2004) a quantidade média de fósforo retirada (exportação) pelos grãos de trigo, milho e soja é de 10, 8 e 14 kg de P_2O_5 , respectivamente.

Os rendimentos médios das culturas cultivadas no RS (1.785 $kg\ ha^{-1}$ para o trigo; 1.969 $kg\ ha^{-1}$ para a soja; 3.142 $kg\ ha^{-1}$ para o milho; média da safra dos anos de 2000 e 2001 (Emater/RS, 2003; IBGE, 2003)) são baixos, se comparados aos rendimentos médios de alguns estados do país e de outros países. Acredita-se que o ainda deficiente manejo da fertilidade explica em parte esse baixo rendimento (Schlindwen, 2003). Entretanto, quando o suprimento de nutrientes e os demais fatores de produção são adequados durante o ciclo das culturas, esses rendimentos são superiores a 3.000, 3.000 e 10.000 $kg\ ha^{-1}$ de soja, trigo e milho, respectivamente. Curvas de resposta à adubação demonstram que em solos com fertilidade baixa as respostas são altas e diminuem em solos com fertilidade mais elevada (Rouse, 1968; Olson et al., 1987).

A interação dos fatores de produção (clima, cultura, solo e manejo), pode diminuir ou aumentar o rendimento das culturas (Fitts, 1959). Assim, a função de produção é a relação quantitativa entre os recursos utilizados (fatores de produção)

e a produção obtida. Os fatores de produção podem ser controlados pela utilização racional dos mesmos, com objetivo de propiciar aumentos de rendimentos. Desses, os fatores climáticos são os de menor controle e os de fertilidade do solo, ou disponibilidade de nutrientes para as plantas, os mais fáceis de serem controlados. Embora, a limitação econômica de agricultores de muitos países da América Latina e da África resulte em dificuldade prática de controle deste fator. Com isto, verifica-se uma grande necessidade de utilização racional e eficiente deste insumo.

A disponibilidade de fósforo do solo para as plantas pode ser avaliada de várias formas, descritas por Anghinoni & Volkweiss (1984); Raij (1991) e Tisdale et al. (1993). Porém, a mais utilizada, é a análise química do solo que apresenta vantagens em relação às demais, como rapidez, baixo custo, facilidade de interpretação, entre outras. Contudo, necessita de calibração dos valores determinados pelo método de laboratório com parâmetros de rendimento das culturas.

A análise de solo calibrada fornece a necessária informação do estado de fertilidade do solo e permite a adequada estimativa da quantidade de fertilizante a ser aplicada para alcançar o rendimento de máxima eficiência econômica das culturas para uma determinada disponibilidade inicial de fósforo.

Conclui-se que o estabelecimento de programa de fertilidade do solo para uma região ou país é uma estratégia fundamental para o desenvolvimento da agricultura moderna, eficiente e competitiva, com reflexos positivos para toda a sociedade.

2.6. Eficiência da adubação fosfatada em sistemas de manejo de solos e cultivos.

A relação entre o fósforo disponível, quantificado pela análise de solo (Mehlich-1), e o rendimento das culturas nos estudos de calibração para elaboração das tabelas de adubação, conduzidos em experimentos a campo nas décadas de 60 até 80, nos Estados de RS e SC, foram obtidas pressupondo-se a distribuição uniforme desses nutrientes na camada arável do solo sob SCC, geralmente de 0-20 cm de profundidade (Schlindwen, 2003). Assim, o desenvolvimento radicular das

plantas ocorre num ambiente com concentração de nutrientes semelhante na sua maior parte. Por tanto, nesse sistema a profundidade de amostragem tem menor influência sobre a recomendação de adubação.

Sob sistema plantio direto ocorre um processo de concentração superficial de fósforo, intensificado com o tempo de cultivo, especialmente na camada de 0-5 cm de profundidade quando a adubação é feita à lanço, podendo se estender a camada ligeiramente mais profunda se a adubação for feita em linha com semeadora dotada de haste sulcadora (Muzilli, 1983; Eltz et al., 1989; Derpsch, 1991; Sá, 1993; Ruiz Diaz, 1998; Schindwen & Anghinoni, 2000; Rheinheimer, 2000; Bissani et al., 2004). Portanto, a concentração de fósforo está associada a aplicação superficial ou subsuperficial deste nutriente, a deposição dos resíduos na superfície do solo, a ausência de preparo do solo e a reduzida mobilidade deste nutriente no perfil. Neste caso, a profundidade de amostragem do solo passa a ser crítica. Amostragem muito superficial pode levar a superestimação da disponibilidade de fósforo, por outro lado amostragem a maior profundidade pode levar a subestimação da disponibilidade no solo. Em função dos gradientes horizontal e vertical de distribuição de nutrientes, a recomendação de amostragem adotada em solos sob SCC pode não ser adequada para avaliar a disponibilidade desses nutrientes em solos sob SPD, pois a amostra pode não representar a condição de fertilidade do solo no qual a maioria raízes das plantas se distribuem (Anghinoni & Salet, 1998).

Alguns pesquisadores destacam que a concentração superficial de nutrientes verificada no SPD pode ser desvantajosa, porém o resultado de rendimentos de culturas é estatisticamente semelhante ao obtido sob SCC sistema de cultivo convencional, que apresenta distribuição uniforme de nutrientes no perfil até 20 cm (Petrere et al., 1996; Wiethölter et al., 1998; Schindwein & Anghinoni, 2000). Por outro lado, a hipótese de prejuízo ao rendimento devido à concentração superficial de nutrientes contraria as observações de Sidiras et al. (1983) e Eltz et al. (1989), que encontraram maiores rendimentos de soja sob SPD, em relação a outros sistemas de manejo de solo. Muzilli (1983) obteve resultados semelhantes aos autores anteriores, no cultivo do milho, que apresentava teores de fósforo mais altos nas folhas sob SPD, da mesma forma Heinzmann (1984), encontrou na soja valores de fósforo mais altos sob SPD em comparação ao SCC. Trabalhos realizados em Londrina-PR por Derpsch et al., (1991), demonstraram que a soja apresentou

rendimentos marcadamente distintos entre os sistemas de cultivo, para o trigo também houve diferenças, onde o SPD apresentou rendimentos superiores ao SCC. Também é comum o depoimento de produtores de que o rendimento das culturas é maior nos solos sob SPD do que sob SCC. Assim, infere-se que se a concentração superficial de nutrientes ocasiona desvantagem a absorção pelas plantas, outros fatores associados ao SPD, como maior umidade, maior teor de matéria orgânica e maior atividade biológica compensam com vantagens esta possível limitação.

O modo de adubação (distribuição em linhas, ou a lanço na superfície, ou incorporado sob SCC) tem pouca influência no rendimento das culturas quando os teores de fósforo do solo estão nas faixas de fertilidade média ou alta (Model & Anghinoni, 1992; Klepker & Anghinoni, 1996; Pavinato, 2004).

Segundo Klepker (1996) e Singh et al. (1996), o SPD possui maior eficiência na dinâmica do P devido, em parte, ao maior crescimento das raízes nessa camada enriquecida em nutrientes. Há também a influência da concentração superficial de matéria orgânica (Eltz et al., 1989; Derpsch et al., 1991; Bayer, 1996), aumentando assim a disponibilidade de fósforo, já que alguns compostos orgânicos formam complexos com o ferro e alumínio, evitando a formação de compostos insolúveis de fósforo com estes dois elementos (Coelho et al., 1973). Além disto, a matéria orgânica também proporciona um ambiente com melhor estrutura física do solo e de maior disponibilidade de água, favorecendo o crescimento radicular e a difusão do fósforo até as raízes das plantas. Outra distinção entre os sistemas é a manutenção da umidade no SPD devido à presença dos resíduos protegendo a superfície do solo, tornando o fósforo mais disponível para as plantas, em comparação ao SCC (Derpsch et al. 1985). A umidade favorece a difusão, principal mecanismo de suprimento de fósforo as raízes (Barber, 1995).

As perdas por erosão são menores no SPD do que no SCC, além do menor contato dos íons H_2PO_4^- com as superfícies de adsorção, devido ao não revolvimento do solo (Sousa, 1980), também os fertilizantes fosfatados aplicados sob SPD acumulam fósforo nas camadas superficiais e o de camadas profundas é ciclado pelas plantas para a superfície (Weil et al., 1988; Salles et al., 1997; Rheinheimer, 2000). Com isso, primeiramente ocorre a saturação dos sítios mais ávidos e o fósforo remanescente é redistribuído em frações retidas com menor energia e, por isso, de maior capacidade de dessorção, aumentando a sua

disponibilidade às plantas (Rheinheimer & Anghinoni, 2001). Assim, após diversas adubações pode ocorrer a saturação dos sítios de adsorção da camada mais superficial do solo. Este fato é relevante para os agricultores com limitada capacidade de investimento como a maioria dos países subdesenvolvidos, pois para saturar os sítios da camada mobilizada sob SCC seria necessária uma quantidade de fósforo muitas vezes aquela necessária sob SPD. Devido a esses fatores, entre outros, teoriza-se que a adubação fosfatada deva ter maior eficiência em solos sob SPD, e com efeito residual maior do que sob SCC.

Adições de fertilizante fosfatado mediante revolvimento em solos oxidicos, induz a exposição de novos sítios ávidos de adsorção, contribuindo para sua retenção com maior energia, exigindo doses elevadas para alcançar o nível de suficiência. Do mesmo modo, a incorporação dos resíduos vegetais facilita o ataque de microrganismos, dificultando o acúmulo de matéria orgânica e de fósforo orgânico. A maior atividade microbiana nas camadas superficiais do SPD pode proporcionar incremento na disponibilidade de fósforo às plantas, já que o nutriente assimilado na biomassa dos microrganismos forma estoque de fósforo microbiano no solo e não é adsorvido aos colóides (Conte, 2001).

Rheinheimer (2000) estudou as formas de fósforo em solos com diferentes teores de argila submetido aos sistemas de cultivo convencional e plantio direto, com diferentes rotações de culturas. Observou, em todos os solos, que no SPD houve aumento de fósforo nas camadas superficiais, principalmente nas formas inorgânicas disponíveis, permitindo a manutenção de teores de fósforo na solução do solo mais elevados do que no SCC. Para o solo com maiores teores de argila e $Fe_d + Fe_o$, não houve aumento dos teores de fósforo orgânico sob SPD. Porém, para os solos de textura mais leve, a adoção do SPD, principalmente com a utilização de rotações de culturas com grande capacidade de produção de resíduos, promoveu aumentos dos teores de fósforo orgânico.

Conseqüentemente a textura e a concentração de óxidos de Fe e Al exercerão papel decisivo na disponibilidade deste nutriente, sob sistemas com revolvimento do solo. Sob SPD o não revolvimento desfavorece a adsorção. Portanto, teoriza-se que a colocação superficial de P pode favorecer a saturação dos sítios aumentando a disponibilidade, e neste caso a textura e a concentração de

óxidos de Fe e Al terão menor influencia na disponibilidade deste nutriente às plantas.

Em função da maior eficiência de utilização da adubação fosfatada pelas plantas cultivadas em solos SPD, Wiethölter et al. (1998) sugeriram uma redução de aproximadamente 10% nas doses de fósforo e potássio recomendadas pela Comissão... (1995).

O melhor aproveitamento pelas plantas dos fertilizantes fosfatados aplicados nos solos sob SPD é, provavelmente, um dos fatores de aumento na produtividade. Outro fator é o melhoramento genético das variedades cultivadas, com isto a curva de resposta pode mudar em relação àquela obtida em experimentos de calibração conduzidas no passado. Atualmente, a soja, o trigo e o milho produzem aproximadamente 50, 108 e 125% a mais do que na década de 1960, respectivamente (época dos principais estudos de calibração realizados no Sul do Brasil) – (Emater/RS, 1998; Emater/RS, 2003). Esse aumento na produtividade deve implicar em aumento da demanda de fertilizantes. Por isto, a nova recomendação da ROLAS (Manual...., 2004) considera a adubação de reposição em função da expectativa de produtividade. No Paraguai, atualmente, ainda não há um ajuste da recomendação de adubação para situações de incremento de rendimentos sob SPD verificada especialmente em anos favoráveis.

2.7. Mecanismo de suprimento de fósforo para as plantas e de extração pelos métodos de análise do solo

No pH que comumente ocorre nos solos cultivados, o fósforo é absorvido pelas plantas predominantemente na forma iônica de H_2PO_4^- (Malavolta, 1997).

A absorção de nutrientes pelas plantas somente ocorre quando estes estão na solução do solo e em contato com as raízes. Esse contato pode ser estabelecido: a) por interceptação radicular, à medida que as raízes vão crescendo; b) pelo fluxo de massa, gerado em resposta ao gradiente de potencial matricial, resultante da transpiração de água pela parte aérea das plantas; e c) por difusão gerada pelo

gradiente do nutriente, passando de um meio mais concentrado para outro menos concentrado (Barber, 1995).

A difusão e o fluxo de massa são processos que ocorrem simultaneamente, pois a absorção de água e de nutrientes ocorre em geral ao mesmo tempo. No entanto, a difusão é o principal mecanismo de suprimento de fósforo para as plantas (Oliver & Barber, 1966; Vargas et al., 1983; Barber, 1995). A difusão do fósforo é regulada por diversos fatores, com destaque para o teor de água no solo. O aumento da umidade do solo torna o fósforo mais disponível para as plantas (Manual Internacional de Fertilidade do Solo, 1998). No SPD devido ao acúmulo de resíduos na superfície do solo, as condições de umidade e temperatura são mais favoráveis e levam a uma maior atividade biológica resultando assim em uma maior disponibilidade de fósforo (Derpsch, 1991; Sá, 1993).

A maior parte do nutriente fósforo presente no solo está em formas não disponíveis para as plantas. Porém, durante o crescimento das mesmas, e devido ao equilíbrio químico existente entre essas formas e as que estão na solução do solo, uma certa quantidade do nutriente torna-se disponível para ser absorvido. Embora as quantidades e as fontes de nutrientes absorvidos pelas plantas nem sempre sejam as mesmas das fontes determinadas pelos métodos químicos de análise de solo, devido às diferenças dos princípios de absorção pelas plantas e dos de extração pelos métodos químicos, os valores das análises de solo podem ser correlacionados com as quantidades absorvidas pelas plantas.

Em solos muito intemperizados, o fósforo da fase sólida (geralmente mais de 99%) está em equilíbrio com o fósforo da solução do solo (geralmente menos de 1%), de onde é absorvido pelas plantas (Vargas et al., 1983). A determinação e a quantificação das formas de fósforo que passa da fase sólida à solução do solo, e desta até a superfície da raiz, são difíceis. Daí a dificuldade na escolha do método químico a ser utilizado para extrair fósforo das mesmas fontes que liberam para as plantas, resultando em muitos casos, em baixos coeficientes de correlação entre os valores determinados pelo método e a quantidade absorvida pelas mesmas (Raij, 1978; Anghinoni & Volkweiss, 1984; Fixen & Grove, 1990).

Dentre os extratores de fósforo disponível, destacam-se aqueles com ácidos fortes diluídos (Mehlich-1) que promovem a dissolução parcial dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, solubilizando o fósforo. Utilizam-se também soluções

diluídas de ácidos fortes com a adição de complexantes (Bray e Mehlich-3). Além desses extratores há outros que extraem somente o fósforo da solução do solo, simulando os processos de absorção de nutrientes pelas raízes das plantas, tais como os métodos da resina de troca iônica.

2.8 Método Mehlich-1 para determinação de fósforo do solo e estudos de calibração.

Existe, atualmente, um grande número de métodos em uso em várias partes do mundo, com o objetivo de avaliar a disponibilidade de fósforo para a nutrição das plantas. A maioria desses métodos emprega soluções ácidas, básicas e sais, ou ainda, mistura de ambas, que removem frações ou partes proporcionais àquelas que as plantas absorvem. Existem ainda outros métodos que avaliam os nutrientes da solução do solo. A utilização de um ou de outro método depende diretamente da capacidade destes de extrair quantidades de nutrientes proporcionais às absorvidas pelas plantas, medida pelo coeficiente de correlação (r^2), em modelos gráficos ou equações matemáticas. Essa capacidade depende também das propriedades de cada solo que influenciam diretamente na dinâmica dos nutrientes.

A quantificação do fósforo do solo pode ser feita por várias metodologias. Entretanto, para a calibração, escolhem-se aquelas que apresentam, além de alta correlação entre os teores no solo e o rendimento das culturas, baixo custo e praticidade de análise de rotina em laboratório (Mielniczuk, 2002).

Destaca-se o método Mehlich-1 para determinação de fósforo e potássio, além de outros micronutrientes (Tedesco et al., 1995; Embrapa, 1997) e os métodos Mehlich-3 e a resina de troca iônica para determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alguns micronutrientes e outros elementos (Braidá et al., 1996; Embrapa, 1997). Esses três métodos foram testados por Kroth (1998) em estudos de correlação com vários solos representativos do RS. Os resultados mostraram que há uma correlação significativa entre as quantidades extraídas de fósforo do solo pelos métodos e as quantidades absorvidas pelas plantas.

O método Mehlich-1, desenvolvido em 1953, é o mais utilizado no Brasil em análise de rotina para fósforo (Anghinoni & Volkweiss, 1984). No RS e SC, os estudos de calibração foram conduzidos desde o final da década de 1960 a meados da década de 1980. Atualmente, foram incorporados alguns ajustes à metodologia original e aos equipamentos disponíveis e feitas modificações nas técnicas de laboratório, que tornaram o procedimento mais rápido e adequado a grandes quantidades de análises de rotina (Tedesco et al., 1995; Gianello, 2005).

Em geral o método Mehlich-1 superestima a quantidade de fósforo disponível em solos que receberam fosfatos naturais (Raij, 1991; Kroth, 1998), e/ou subestima o fósforo disponível em solos muito argilosos (com alto poder tampão) devido à menor extração e/ou readsorção de fósforo (Kamprath & Watson, 1980).

Nos solos argilosos, o deslocamento do fósforo da fase sólida do solo para a solução e desta até a superfície das raízes é mais eficiente do que em solos arenosos, em contraste com a menor extração de fósforo pelo método nos argilosos. Por essa razão, nos estudos de calibração no RS e SC, estabeleceram-se teores críticos para cada classe de teor de argila. Inicialmente os solos foram separados em duas classes (Mielniczuk et al., 1969a), em três classes em 1973 (Universidade..., 1973); em 1987 em cinco classes (Siqueira et al., 1987; Comissão..., 1989; 1995) e atualmente separa-se por 4 classes de textura (Comissão..., 2004).

No guia para fertilização das culturas anuais e perenes da Região Oriental do Paraguai, publicado pelo Engenheiro Agrônomo Augusto Fatecha (1999), classifica-se os diferentes solos em níveis baixos, médios e altos segundo o teor do nutriente, e está baseada na probabilidade de resposta na colheita à aplicação de fertilizantes. Portanto, no Paraguai ainda não existe a diferenciação do teor crítico para as principais culturas, em relação às classes de teor de argila no solo (separação por textura).

Com base nesta revisão, infere-se que a textura sempre foi determinante para a estimar a disponibilidade de fósforo. Este fato contrasta com o histórico da recomendação de adubação no Paraguai, onde este parâmetro não foi considerado. Provavelmente, este fato deve-se a que os estudos de calibração conduzidos no Paraguai privilegiaram os solos argilosos em relação os solos arenosos, recentemente incorporados ao processo produtivo de grãos.

2.9 Calibração de métodos de análise do solo

Num sistema de calibração de análise de solo, o primeiro passo é determinar qual ou quais os métodos serão calibrados. Para essa determinação deve-se conduzir experimentos em casa de vegetação, relacionando-se a capacidade que os diferentes métodos apresentam em extrair o nutriente com a absorção pelas plantas, sendo o coeficiente de correlação (r^2) utilizado para selecionar o método. Nessa condução devem ser selecionados os mais diferentes solos representantes da região a qual a calibração vai se destinar, para que se possa definir qual o método que se ajusta aos diferentes solos, ou se necessário for calibrar mais métodos. Uma vez selecionado o método a ser calibrado iniciam-se os trabalhos de calibração à campo.

A calibração de um método de análise do solo consiste em determinar ou relacionar o teor de um elemento no solo (nutriente de plantas), obtido por uma determinada metodologia de avaliação (análise do solo), com um ou mais parâmetros de plantas cultivadas a campo (índice de crescimento, teor e/ou produção de uma cultura), simulando as condições naturais de produção (Cate & Nelson, 1973; Anghinoni & Volkweiss, 1984; Dahnke & Olson, 1990). A análise do solo realizada por método calibrado a campo, através da relação entre o rendimento relativo e o teor do nutriente no solo, é uma forma rápida, eficiente e de baixo custo, para o diagnóstico do estado de fertilidade do solo e a definição do tipo e quantidade de nutrientes recomendados para uma probabilidade de resposta de uma cultura (Mielniczuk, 2002).

A seleção de um ou mais métodos consiste basicamente em identificar aquele(s) método(s) com baixo custo, praticidade de execução em laboratório e mecanismos de extração dos nutrientes do solo que possam ser correlacionados e cujos valores se correlacionam com os parâmetros de plantas (Corey, 1987, Mielniczuk, 1995).

Selecionado o método de análise do solo, implantam-se os experimentos a campo para os estudos de calibração. A condução dos experimentos se prolonga por vários anos e em vários locais. Normalmente esses locais são os mais representativos dos solos da região em questão. Utilizam-se as mesmas práticas de cultivo em todos os experimentos e de forma mais semelhante possível àquelas utilizadas pelos agricultores, priorizando as que proporcionam altos rendimentos (a

incerteza na obtenção do rendimento máximo pode influenciar no resultado da calibração). Para os nutrientes em estudo, há a necessidade de se aplicar doses crescentes com o objetivo de obtenção de uma curva de resposta para cada cultura. O pH dos solos, os demais nutrientes e o manejo devem ser adequados para a máxima produtividade. Para cada local em estudo, obtém-se o valor do nutriente extraído com o método a ser calibrado. Para fins de calibração, utilizam-se apenas os valores das parcelas que receberam todos os demais tratamentos exceto o nutriente a ser testado (geralmente conhecida como parcela testemunha) (Cate & Nelson, 1973; Dahnke & Olson, 1990; Mielniczuk, 1995, 2002).

Na maioria dos estudos de calibração utiliza-se o rendimento relativo da cultura ou culturas. Esse rendimento é uma relação percentual entre a produção sem a adição do fertilizante em estudo (todos os demais nutrientes em níveis adequados) e a produção máxima obtida (todos os nutrientes em níveis adequados, inclusive o nutriente em estudo).

Com a relação entre o nutriente em estudo presente no solo e os rendimentos médios relativos do conjunto de experimentos, escolhe-se um modelo matemático que se ajuste aos pontos, ou elabora-se um gráfico manualmente, na forma de uma curva de resposta da cultura ao teor do nutriente no solo. Com essa curva, é possível definir faixas de teores do nutriente ou percentuais de resposta da cultura em relação ao teor do elemento no solo. Essa curva de calibração deve ser elaborada para cada cultura. No entanto, os resultados obtidos em estudos anteriores de calibração mostraram que é possível incluir várias culturas numa única análise.

A probabilidade de rendimento da cultura testada na calibração pode ser estimada através da curva de calibração para qualquer quantidade do nutriente presente no solo, quantificado pelo método calibrado. O rendimento relativo é muito baixo para teores do nutriente próximo de zero e de até 100% para teores elevados no solo. Normalmente a curva de calibração é dividida em faixas de fertilidade baixa, média e alta, que apresentam probabilidade de resposta alta, média e baixa, respectivamente, à aplicação do referido nutriente (Dahnke & Olson, 1990).

Na calibração também há a definição de um ponto da curva (teor do nutriente calibrado), denominado de teor crítico (Cate & Nelson, 1971; 1973). Nesse teor, ou próximo a ele, a probabilidade de resposta da plantas à adição do nutriente no solo é nula ou muito pequena. Assim, quanto menor o teor do nutriente do solo em relação

ao teor crítico estabelecido, maior será a probabilidade de resposta das culturas à adubação (Comissão..., 2004).

O método de análise de solo Mehlich-1, também chamado de Carolina do Norte ou Duplo ácido, é o método de análise de solo padrão adotado na rede de laboratórios do RS e SC (ROLAS), sendo também recentemente adotado pela rede nacional de laboratórios de solos do Paraguai (RENALAS) como método padrão de análises de solos. Uma das principais razões de utilizar este método neste trabalho.

2.9.1. Definição do teor crítico de um nutriente e dose econômica de fertilizantes

O teor crítico do nutriente para a planta pode ser estimado graficamente ou matematicamente pelo método Cate & Nelson (1971, 1973). No método gráfico, os pontos são distribuídos num sistema cartesiano, sobrepondo-se ao mesmo um filme transparente com duas retas perpendiculares, movendo-o de forma que a maioria dos pontos fique em dois quadrantes opostos. O teor de nutriente obtido no ponto onde a linha paralela ao eixo y toca o eixo x denomina-se de teor crítico do nutriente em estudo.

No método matemático, determina-se valor de r^2 a partir da soma de quadrados dos desvios da média de duas populações com valores de x e rendimento relativo previamente ordenados. O teor crítico também pode ser estimado visualmente no ponto de inflexão da curva, entre a tendência de alta probabilidade de resposta e a de baixa probabilidade de resposta das culturas ao aumento da fertilidade do solo, ou ainda, relacionando-se um percentual de rendimento relativo quantificado a partir das faixas de fertilidade.

Quando a calibração foi feita nos estados do RS e SC escolheu-se o valor de 90% do rendimento máximo como referência, e o valor do teor crítico foi estabelecido a partir dessa decisão, sendo, portanto um conceito subjetivo. Após essa definição, a alteração da dose se dá em função do preço dos produtos e dos insumos, implicando muitas vezes na alteração do teor de nutriente do solo. Contudo, o teor crítico não se altera. Para Sims (1999), o teor crítico no solo para os rendimentos de melhor performance de plantas foi obtido quando o rendimento

relativo alcançou 93-95% do rendimento máximo. Para Tisdale et al. (1993), a probabilidade de resposta econômica à adubação fosfatada ocorre com rendimento relativo em torno de 90% do rendimento máximo.

No Brasil costuma-se utilizar o valor de 90% do rendimento relativo máximo com referência para a dose de máxima eficiência econômica, estabelecendo-se nesse ponto o teor crítico do nutriente (Mielniczuk et al., 1969 a, b; Universidade..., 1973; Tabelas..., 1976; Comissão..., 1981; Siqueira et al., 1987; Comissão..., 1989, 1995; Raij et al., 1997, Schlindwein, 2003, Comissão, 2004). Este valor de 90% de RR deve-se ajustar bem as condições da Região Oriental do Paraguai.

A primeira etapa de um estudo de calibração é a obtenção da curva de calibração. Normalmente aplicam-se doses crescentes do nutriente em estudo e cultiva-se por vários anos com várias culturas de interesse econômico. O mesmo procedimento é repetido por vários anos em diversos locais representativos dos principais solos da região. Com o resultado médio do rendimento da cultura na área (ou parcela) que não recebeu o nutriente, o rendimento máximo da parcela que recebeu o nutriente e o teor do nutriente na área testemunha (sem o nutriente) pode-se elaborar a curva de calibração. A partir da curva de calibração podem ser definidas as faixas de teores do nutriente e as doses de máxima eficiência econômica.

2.9.2. Curvas de resposta e o uso de modelos matemáticos

Em fertilidade do solo, como em outros ramos da ciência, freqüentemente se trabalha com números que representam valores de grandeza. A determinação da relação de uma variável dependente (resposta) partindo do valor da variável independente (fator) é estimada por funções matemáticas, cujos coeficientes são avaliados estatisticamente.

Diversas são as funções matemáticas para explicar a relação entre variáveis, sendo apenas necessário selecionar aquela que melhor expresse a relação natural entre as variáveis com os dados dispersos em um gráfico de coordenadas cartesianas. Entretanto, algumas relações, como nas doses de fertilizantes e

rendimento das culturas em experimentos de campo utilizados nas calibrações, podem ser influenciadas por inúmeros fatores e, neste caso, a função selecionada permite estimar com maior ou menor grau de confiança a relação.

O principal objetivo na escolha de uma função de produção é estimar uma resposta “y” para um determinado fator “x” conhecido. A partir da interpretação de uma curva de produção e do valor do nutriente em estudo, quantificado pelo método correlação de análise do solo a ser calibrado, pode-se estimar a probabilidade de resposta à adubação com o mesmo nutriente para solos com quaisquer teores. A resposta pode ser baixa, média ou alta (Rouse, 1968; Olson et al., 1987). Em etapa subsequente de interpretação da curva de resposta, a partir das doses do nutriente em estudo, estimam-se as doses de fertilizantes para aumentar os teores do mesmo no solo e aumentar o rendimento das culturas em outros solos com as mesmas características.

O modelo matemático ou gráfico utilizado é o ponto-chave na eficiência da calibração. Alguns resultados estimados por diferentes modelos podem ser completamente diferentes, tais como observado por Dahnke & Olson (1990), Alvarez (1991) e Colwell (1994). Assim, a escolha do modelo mais adequado a ser utilizado na calibração deve considerar, além do coeficiente de correlação, a forma de resposta, e quando possível deve representar as leis biológicas que regem a relação fator-resposta (Alvarez, 1991).

As funções de produção mais utilizadas nos estudos de calibração de metodologias de análise de solo e recomendação de fertilizantes são as funções de Mitscherlich, quadrática, linear platô, raiz quadrada e logarítmica, entre outras (Colwell, 1966; Cate & Nelson, 1973; Dahnke & Olson, 1990; Raij, 1991; Black, 1993). Para Cerrato & Blackmer (1990), as equações linear platô e quadrática platô resultaram em menores doses de nitrogênio para o milho, enquanto que a equação linear indicou uma dose intermediária e próxima da média entre os métodos, enquanto que as equações de Mitscherlich e da raiz quadrada indicaram doses maiores. Doses maiores de fósforo também foram obtidas para o trigo com a função de Mitscherlich do que com a linear platô (Dahnke & Olson, 1990).

Willcox (1949) concluiu, a partir de vários experimentos de campo, que a resposta das plantas somente são curvilineares quando todas os fatores que influem nas respostas das plantas são ideais, e que o rendimento da cultura pode ser

expresso apenas com a variação do fator em estudo. Por outro lado, Boyd et al. (1976) mostrou que os modelos são curvilíneos devido à ocorrência de outros fatores limitantes, como doenças, outros nutrientes e outras situações não ideais. Bray (1963) concluiu que as respostas a nitrogênio são lineares, enquanto que para fósforo são curvilíneas. Waggoner & Norvall (1979) também obtiveram respostas curvilíneas para experimentos com doses de fósforo.

2.9.3 Interpretação e recomendação de fertilizantes.

Após a calibração e a quantificação das doses de fertilizantes, sejam elas para a máxima eficiência econômica ou para rendimento máximo, deve-se definir o critério de adubação para estabelecer as doses de adubação nas tabelas de recomendação. O critério de elevação rápida e manutenção da fertilidade consiste em aplicar doses suficientes de fertilizantes (fósforo e potássio) para elevar os teores no solo no 1º cultivo, seguindo-se com aplicações anuais nas quantidades mais ou menos equivalentes à extração e exportação pelas culturas cultivadas (Dahnke & Olson, 1990). Este critério tem por objetivo elevar a fertilidade do solo para obtenção de altos rendimentos de todas as culturas e é semelhante ao critério de adubação de correção do solo empregado nas recomendações de adubação nos estados do RS e SC de 1969 a 1987 (Mielniczuk et al., 1969 a, b; Universidade..., 1973; Tabelas..., 1976; Manual..., 1981).

O critério de elevação da fertilidade do solo até o nível de suficiência (teor crítico) tem por objetivo elevar, num tempo mais longo, a fertilidade do solo com base nas necessidades das culturas. As doses de fertilizantes são maiores nas faixas de menor fertilidade (muito baixo e baixo), intermediárias na faixa de fertilidade intermediária (médio) e menores ou sem fertilização nas faixas de maior fertilidade (alto e muito alto). Esta metodologia é a mais utilizada por laboratórios de universidades americanas nos estudos de calibração de métodos de análise de solo e recomendações de fertilizantes (Dahnke & Olson, 1990) e foi adotada nas recomendações de adubação nos estados do RS e de SC, a partir de 1987 (Siqueira et al., 1987; Comissão..., 1989, 1995, 2004).

As recomendações de fertilizantes devem ser orientadas pelos teores dos nutrientes determinados na análise de solo, que são interpretadas geralmente em três a cinco faixas, que vão de muito baixo (MB), baixo (B), médio (M), alto (A) e muito alto (MA). A partir da interpretação do nutriente no solo se faz a recomendação para a (s) cultura (s) de acordo com determinada filosofia.

As quantidades de fósforo (P_2O_5) recomendadas dependem do teor no solo, da cultura, de expectativa de rendimento e da disponibilidade de recursos financeiros para investimento (Comissão..., 2004).

2.10. Recomendações de Adubação para os Estados de RS e SC, 2004.

A última recomendação de adubação publicada no sul do Brasil (Comissão..., 2004) intitulada, Manual de adubação e de calagem para os Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), tem por objetivo elevar o teor dos nutrientes no solo a níveis considerados adequados para as culturas expressarem seu potencial de rendimento, sempre que os demais fatores não sejam limitantes. As alternativas oferecidas para atingir essa meta adaptam-se as diferentes condições de manejo e economia das culturas. Assim, para grãos é possível optar pela adubação corretiva total ou gradual mais a adubação de manutenção para ambas as modalidades. Devido às variações nos preços dos insumos (fertilizantes e corretivos) e dos produtos (grãos ou massa seca) e o grande número de outros fatores que interferem no rendimento, optaram por estabelecer as recomendações com base no critério de suficiência dos nutrientes fósforo e potássio. Dessa forma, o uso das recomendações tenderá a elevar o teor de nutriente ao “teor crítico”, o que corresponde a aproximadamente 90% do rendimento máximo das culturas, que também está próximo do máximo retorno econômico.

2.10.1. Expectativa de rendimento

A comissão decidiu utilizar, nesta última recomendação, o princípio da adição de fertilizantes conforme a expectativa de rendimento. Assim, para rendimentos maiores do que os de referência (por exemplo, para trigo: 2,0 t ha⁻¹; soja: 2,0 t ha⁻¹; e milho: 4,0 t ha⁻¹), recomenda-se acrescentar 15 Kg de P₂O₅ por tonelada de rendimento a mais do que o de referência, que seria a quantidade do nutriente retirada pela cultura e eventuais perdas.

2.10.2. Adubação de manutenção

O conceito de manutenção estabelecido na última recomendação, difere das edições anteriores (Gianello & Wiethölter, 2004). As quantidades de manutenção de fósforo indicadas nas tabelas de adubação do Manual,... 2004) foram estimadas pela exportação dos grãos (para um determinado rendimento) mais as perdas do sistema. Em geral, o acréscimo relativo às perdas varia de 20 a 30 % da exportação. Essas quantidades devem ser aplicadas sempre que os teores desses elementos no solo se situarem na faixa adequada. Para trigo, soja e milho, recomenda-se aplicar 30, 30 e 45 Kg de P₂O₅ ha⁻¹ respectivamente, para os rendimentos referência das tabelas (trigo, 2,0 t ha⁻¹; soja, 2,0 t ha⁻¹; e milho, 4,0 t ha⁻¹).

2.10.3 Adubação de reposição.

Em solos com valores de análise maiores do que teor crítico, a resposta das plantas à adição de fertilizantes é pequena ou nula, bastando adicionar as quantidades retiradas pelos grãos ou pela massa verde mais as perdas do sistema, que são variáveis: maiores no SCC (entre 20 e 50%) e menores no SPD (20 e 30%).

A quantidade de fósforo a adicionar ao solo para uma determinada cultura pode ser estabelecida pela quantidade destes nutrientes retirados pelos grãos ou pela massa seca. A opção de adubar pela reposição (exportação) é indicada

somente quando os teores de nutrientes no solo estão na faixa “Muito alto”. Mesmo com teores altos ou muito altos no solo, algumas culturas beneficiam-se com uma pequena quantidade de fertilizante na semeadura. Para trigo, soja e milho recomenda-se aplicar 15 Kg de P_2O_5 como valor de reposição.

2.10.4 Adubação de correção total.

Esta adubação visa elevar os teores dos nutrientes fósforo no solo até o teor crítico, cujo valor foi estabelecido para um rendimento de 90% do rendimento máximo da cultura. O rendimento que confere máximo retorno econômico, em geral, situa-se próximo a esse valor (entre 85 e 95%) (Comissão..., 2004).

A adubação de correção total é a alternativa mais indicada quando os solos são muito deficientes em fósforo e em potássio e quando há disponibilidade de recursos financeiros para investimento. Essa opção consiste em aplicar todo o fertilizante fosfatado ou potássio de uma só vez. Quando os resultados da análise indicarem teores de P ou de K “alto” ou “muito alto”, a adubação de correção não é indicada. Neste caso, adicionam-se somente as quantidades de manutenção ou o que for exportado pelas culturas (grãos ou massa verde), pois o teor do nutriente no solo é considerado adequado.

A Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (2004) recomenda aplicar 120 Kg de P_2O_5 ha^{-1} quando o resultado da análise indicar que teor de P enquadra-se na faixa “muito baixo”; 60 kg de P_2O_5 ha^{-1} , quando o teor de P enquadra-se na faixa “baixo” e 30 Kg de P_2O_5 ha^{-1} quando o resultado da análise indicar que o teor de P se enquadra na faixa “médio”. No estabelecimento destas doses, a Comissão considerou a capacidade tampão dos solos em P (kg de P_2O_5 necessários para aumentar, na análise, 1mg de P/dm^{-3} de solo) e assim estimar a quantidade necessária para elevar a concentração desse elemento no solo até o teor crítico. Sendo esses valores para os solos da Classe 1, 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 para cada 1mg dm^{-3} , na Classe 2, 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 para cada 1mg dm^{-3} , a Classe 3, 15 kg ha^{-1} de P_2O_5 para cada 1mg dm^{-3} , e para a Classe 4, 8,6 kg ha^{-1} de P_2O_5 para elevar 1 mg dm^{-3} no solo.

2. 11. Hipóteses

a) Ha necessidade de realizar experimentos de calibração sob sistema plantio direto uma vez que a dinâmica dos nutrientes é diferente daquela verificada sob sistema convencional.

b) O teor crítico de fósforo sob sistema plantio direto, amostrado na camada 0-10 cm, é maior do que o determinado sob sistema convencional, amostrado na camada 0-20 cm, devido à concentração superficial de nutrientes verificado no primeiro sistema;

c) Há necessidade de considerar a classe textural para determinar o teor crítico de fósforo, embora sob sistema plantio direto é possível reduzir o número de classes texturais recomendadas com base em calibrações realizadas sob sistema convencional.

2.12 Objetivos

a) Estabelecer teores críticos para fósforo no solo em diferentes classes texturais;

b) Estabelecer faixas de fertilidade para fósforo sob plantio direto no Paraguai;

c) Fornecer subsídios para a elaboração de uma primeira recomendação de fertilizantes para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai;

d) Curva de resposta a fósforo para trigo, milho e soja em áreas representativas de plantio direto no Paraguai;

e) Estabelecer doses de fertilizante para construir níveis de fósforo no solo

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição Geral

O Paraguai ocupa uma posição mediterrânea no centro Sul do Continente, com uma superfície territorial pequena com relação aos países vizinhos. Tem 406.792 Km² de superfície, da qual 39,3% corresponde à Região Oriental, com 159.827 Km². O restante 60,7% da superfície corresponde à Região Ocidental ou Chaco Boreal.

A Região Oriental, onde foram conduzidos os experimentos, encontra-se entre os paralelos 22° 05' e 27° 30' latitude Sul e os meridianos 54° 15' e 58° 38' longitude Oeste, rodeado de dois grandes rios: o Paraná, ao Leste e Sul, servindo como limite natural com o Brasil e a Argentina, e o Paraguai, ao Oeste, que serve como limite natural com a Região Ocidental e ao Norte da República Argentina.

3.2. Fisiografía

A Região Oriental se caracteriza por uma secção de terrenos declivosos, com pendentes suaves a pronunciadas (4 a 15%), que drenam naturalmente os vales e planícies dos numerosos cursos de águas que atravessam a região em distintas direções. Existe um sistema central de serras, de superfície muito irregular, com relevo pronunciado, com amplitude de 150 a 600 metros e cotas variáveis de 250 a 840 metros acima do nível do mar, pendente abrupta (maior de 15%) e drenagem muito rápida. Este sistema de serras constitui a linha de divisão de águas das bacias dos rios Paraguai e Paraná. Os vales e as planícies constituem os campos baixos, inundados durante alguns meses do ano.

3.3. Clima

O clima da Região Oriental é classificado, segundo Köeppen (1931), como Cfa: sub-tropical úmido, mesotérmico, com verões quentes e invernos com geadas

ocasionais. Existe uma tendência que as chuvas se concentrem na primavera/verão, sem estação de seca definida. Por tanto, as precipitações diminuem a partir do outono, sendo o inverno, e particularmente o mês de julho, o período de menor registro de chuvas. A precipitação média anual oscila entre 1.300 mm ao Oeste e 1.900 mm ao Leste da Região Oriental, a temperatura média mensal do ar é de 17 a 27 °C, com temperaturas médias mínimas de 15 °C e com temperaturas médias máximas de 30 °C. Nos meses do verão, a temperatura pode superar os 40 °C; nos meses de inverno pode-se registrar geadas importantes na maior parte da região, com temperaturas que chegam a -2°C.

3.4. Solo

Os solos do Paraguai são predominantemente Alfisols e Ultisols (ocupam 65% das terras), seguidos com 16% de Entisols, sendo encontrados também Inceptisols, Oxisols, entre outros (López et al., 1995).

Os solos da Região Oriental do país, principalmente nos quatro Departamentos onde foram conduzidos os experimentos (Tabela 1), são predominantemente argilosos, com alguns arenosos na região de Misiones. A maioria dos solos argilosos pertence às classes Latossolos Vermelhos (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999)), Oxisols e Alfisols, segundo a Classificação Americana, Soil Taxonomy, (Lopez et al.,, 1995). Estes solos são originados de rochas basálticas, que se encontram principalmente nos Departamentos de Alto Paraná, Itapúa e Amambay. Os solos de Misiones são de origem arenítica pertencem à classe dos Argissolos Vermelhos Amarelos (Embrapa, 1999) ou Ultisol (Lopez et al.,, 1995) de textura franca fina e argilosa fina.

3.5. Cobertura Florestal

Na metade do século passado, a superfície da Região Oriental encontrava-se coberta por florestas (Figura 1). Hoje, dois terços das florestas foram devastadas como consequência do avanço da agropecuária. Nesta região é que foram conduzidos os experimentos de calibração.

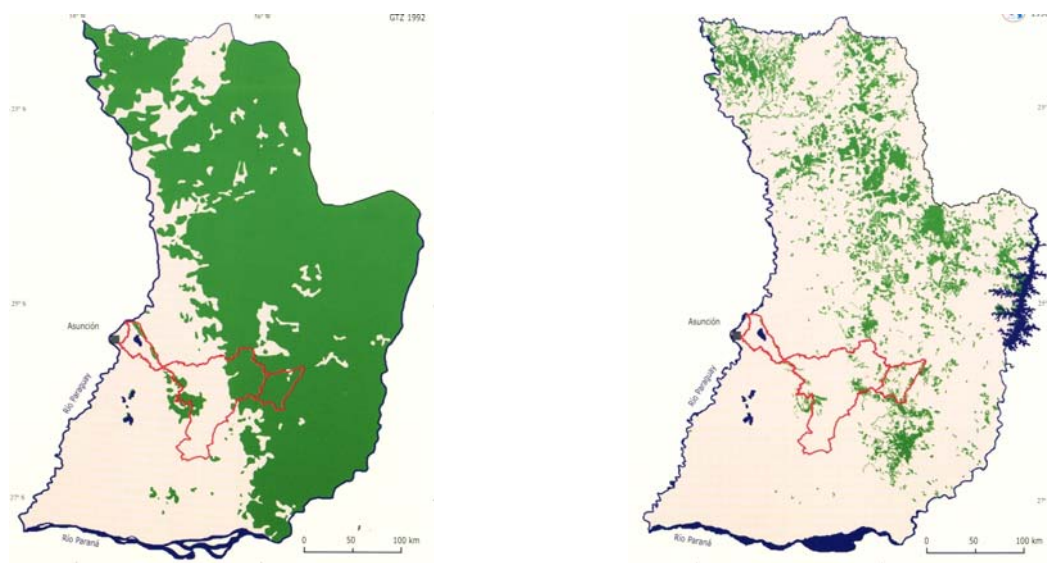


FIGURA 1. Área com Floresta no ano de 1945 e áreas com Florestas em 1997 da Região Oriental do Paraguai. Fonte do Ministério de Agricultura, 2001.

3.6. Descrição dos Experimentos

Os experimentos foram conduzidos de 2003 a 2005, em solos com diferente texturas e níveis iniciais de fertilidade, em regiões representativas de produção de grãos e em locais com histórico de adoção do SPD do país.

Foram conduzidos sete experimentos em rede em quatro Departamentos do país (Figura 2). No Departamento de Misiones conduziram-se experimentos em dois locais (um de média e outro de baixa fertilidade inicial com a mesma textura); no Departamento de Itapúa em dois locais (um de alta e um de baixa fertilidade inicial, porém com diferente textura); no Departamento de Alto Paraná (dois locais de baixa fertilidade, porém de diferente textura) e um no Departamento de Amambay de baixa fertilidade. Nem todos os locais tiveram as mesmas safras conduzidas. A safra do trigo de 2003 foi conduzida somente no M1 e I1, a safra do milho e da soja foi conduzido em todos os experimentos, à exceção do AP1 que não foi milho e o trigo de 2004 em todos com exceção de M2.



FIGURA 2. Mapa da Republica do Paraguai, Departamentos onde foram conduzidos os experimentos de calibração (Departamentos de Misiones, Itapúa, Alto Paraná e Amambay).

Cabe destacar o longo trabalho de busca até a escolha das áreas para as instalações dos experimentos (Tabela 1), passando por diversas entrevistas com pesquisadores de institutos de investigação, professores de Universidades, técnicos de Cooperativas, do Ministério de Agricultura e da CAPECO; desta forma, visando à representatividade dos produtores de cada região. Uma vez diferenciadas estas áreas, eram coletadas amostras de solo e levadas ao laboratório para verificar as características desejadas para seleção, os principais critérios para escolha foram teores baixos de fertilidade e variabilidade nos teores de argila. Assim, buscando diferenças com as análises de laboratório e concordância dos produtores escolhidos em ceder a área.

TABELA 1. Departamentos da Região Oriental do Paraguai, local, responsável e solos utilizados onde foram conduzidos os experimentos de calibração. Paraguai, 2005.

Departamentos	Experimento	Local	Responsável	Solo ⁽¹⁾
Misiones	M1	San Patricio	Empresa Lactosur	Ultisol
Misiones	M2	San Patricio	Empresa Lactosur	Ultisol
Itapúa	I1	Obligado	Produtor Rudi Dressler	Oxisol
Itapúa	I2	Carmen del Paraná	Produtor Eugenio Mañko	Ultisol
Alto Paraná	AP1	Yguazú	CETAPAR ⁽²⁾	Oxisol
Alto Paraná	AP2	Naranjal	COPRONAR ⁽³⁾	Alfisol
Amambay	PJC1	Pedro Juan Caballero	UNA-FCA-PJC ⁽⁴⁾	Alfisol

⁽¹⁾ Classificação Americana de Solos, Soil taxonomy, utilizada no levantamento de solos do Paraguai, Lopez et.at., (1995)

⁽²⁾ Centro Tecnológico Agropecuário em Paraguai

⁽³⁾ Coopetativa de Produccion de Naranjal.

⁽⁴⁾ Universidade Nacional de Asunción, Facultad de Ciências Agrárias sede em Pedro Juan Caballero.

As características químicas dos dois experimentos de Misiones são bastante semelhantes (Tabela 2), foram conduzidos na mesma propriedade (Lactosur), pertencente ao Engenheiro Agrônomo Fabián Pereira, no distrito de San Patricio. O solo predominante na região é o Ultisol (López et al., 1995), com terrenos suavemente ondulados e vegetação predominante de campos nativos. Segundo levantamento de Fatecha (2004), o Departamento apresenta fertilidade média baixa, assim como no distrito de San Patricio.

O experimento M1, foi instalado em abril de 2003, sendo conduzidos três safras, inverno de 2003, verão 2003/04 e inverno de 2004, sendo a cultura de inverno o trigo e de verão, o milho e a soja. Esta localizado a 26° 59' 55,29266"S e 56° 45' 01,75456" WO (WGS, 1984), tem área cultivada há vários anos sob SPD.

O experimento M2, foi implantado sobre uma área de pastagem (*Brachiaria humidicola*) que foi dessecada com herbicida para iniciar a produção de grãos. Na ocasião, apresentava elevada quantidade de palha sobre a superfície, impossibilitando a semeadura do trigo no inverno de 2003, sendo então a primeira safra a de verão de 2003/04 com as culturas de milho e soja. Características químicas são apresentadas na Tabela 1. A localização geográfica do experimento é 26° 59' 05,48726" S e 56° 44' 10,69358" WO (WGS1984).

No Departamento de Itapúa o experimento I1, foi implantado na propriedade do Senhor Rudi Dressler (pioneiro do SPD no Paraguai), localizado no distrito de Obligado com posição geográfica de 26° 56' 07,09384" S e 55° 38' 03,81347" WO (WGS1984). A vegetação natural predominante são as florestas tropicais sob Latossolos Vermelhos (Oxisol). O experimento foi instalado juntamente com os experimentos de Misiones e também foram conduzidos três safras, inverno de 2003, verão 2003/04 e inverno de 2004, a cultura de inverno foi o trigo e as de verão foram milho e soja. A área se encontrava sob SPD a mais de 15 anos, apresentando fósforo alto, conforme Tabela 2. Segundo relatos do produtor, vêm obtendo altas produtividades nas culturas conduzidas sobre a área.

O experimento I2, foi implantado na propriedade do Senhor Eugênio Mañko no distrito de Carmen del Paraná, localizado 27° 08' 54,11744" S e 56° 03' 46,26738" WO (WGS1984). O solo do experimento é classificado como um Ultisol (Lopez et al., 1995), a vegetação natural predominante são as florestas encontrando alguns campos nativos nas partes mais baixas dos terrenos. Este experimento foi instalado em outubro de 2003, imediatamente antes da safra de verão. Foram conduzidos duas safras, uma no verão de 2003/04 com o milho e a soja e outra no inverno de 2004, com o trigo. A área se encontrava sob pousio de inverno com baixa quantidade de palha sobre a superfície. Segundo relatos do produtor, a área foi muito degradada quando estava sob SCC, razão pela qual vem obtendo rendimentos não muito altos, assim como, os baixos níveis de fósforo e MO (Tabela 2) que certamente são herança do sistema de cultivo adotado por muitos anos. Atualmente, vem sendo conduzido sob o SPD.

No Departamento de Alto Paraná o primeiro experimento instalado foi o AP1, instalado em outubro de 2003. A área experimental foi cedida pelo Centro Tecnológico Agropecuário em Paraguai (CETAPAR) no distrito de Iguazú, localizado

25° 27' 23,15682" S e 55° 02' 49,16350" WO (WGS1984). O solo da área experimental é um Nitossolo (Embrapa, 1999) ou Oxisol (Lopez et al., 1995) e o terreno da região é suavemente ondulado. A área esta sob condução de SPD há mais de 12 anos. No local foram conduzidas duas safras, verão de 2003/04 onde foi conduzida somente com soja, não podendo implantar a cultura do milho devido à aplicação pelo produtor de um herbicida de longo efeito residual (seletivo a gramíneas) aplicado antes da escolha da área para condução do experimento, e no inverno de 2004 foi conduzido com a cultura trigo. Apresenta valores baixos de fósforo.

O experimento AP2 também foi instalado em outubro de 2003, o local foi cedido pela Cooperativa de Produção de Naranjal (COPRONAR), no distrito de Naranjal, localizado 25° 58' 07,17126" S e 55° 12' 48,79724" WO (WGS1984). A região apresenta Latossolos Vermelhos (Embrapa, 1999), Alfisol (Lopez, et al., 1995), bem característicos, predominam naturalmente florestas tropicais densas. Foram conduzidos duas safras no local, a de verão de 2003/04 com milho e soja e a de inverno de 2004 com trigo. A área vem sob SPD há vários anos, porém, não vinha recebendo elevadas adubações, pois estava sob arrendamento. Apesar disso, apresenta altos valores de MO fato comum nas lavouras da região, e valores baixos de fósforo (Tabela 2).

O experimento Pedro Juan Caballero 1 instalado no Departamento de Amambaí localizado em Chiriguelo no campo experimental da Universidade Nacional de Asunción, Facultad de Ciências Agrárias (Colonia Raúl Ocampos Rojas), no distrito de Pedro Juan Caballero, localizado a 22° 39' 17,67833" S e 55° 53' 36,43726" WO (WGS1984). O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho escuro argiloso (Embrapa, 1999) ou Oxisol pela classificação americana. Lopez et al. (1995) classificaram os solos da região como Inceptisol e Entisol. O terreno é suavemente ondulado e a vegetação natural predominante é a floresta tropical. A área foi desmatada no ano 1988, sofrendo varias queimas até o ano 2002, onde se iniciou a produção mecanizada de grãos. O local apresentava altos teores MO e baixo de fósforo, fato comum nas lavouras da região. O experimento foi instalado em outubro de 2003, foram conduzidas duas safras, verão de 2003/04 com milho e soja e a de inverno de 2004 com trigo.

Foram classificados os experimentos segundo o histórico de adubação com o objetivo de estimar a quantidade de kg de P_2O_5 ha^{-1} para elevar 1 mg dm^{-3} na análise do solo.

Os atributos da fertilidade do solo antes da instalação dos experimentos de cada local estão no Tabela 2.

TABELA 2. Atributos de fertilidade de solos no tratamento sem adição de fósforo na camada 0 – 10 cm de profundidade dos experimentos com doses de P₂O₅, Paraguai, 2005.

Experimento	Argila	Matéria Orgânica	pH H ₂ O	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Alumínio	CTC
	----- g kg ⁻¹ -----			-----mg dm ⁻³ -----		-----cmol _c L ⁻¹ -----			
M 1	250	25	5,2	11,9	47,3	5,2	1,6	0,2	14,7
M 2	250	27	5,1	4,3	126,3	2,9	1,1	0,3	10,5
I 1	475	30	5,6	12,7	206,3	8,1	1,1	0,1	14,9
I 2	355	25	6,2	3,5	195,4	7,7	1,6	0,0	13,2
AP 1	395	29	5,3	7,6	203,9	6,4	1,0	0,1	13,7
AP 2	470	42	6,5	7,9	359,0	12,8	1,8	0,0	18,7
PJC 1	560	44	6,7	5,2	256,0	13,9	2,0	0,0	19,8

3.7 Delineamento, unidades experimentais e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições, conforme croqui experimental (Figura 3). As parcelas principais foram adubadas com cinco doses de fósforo (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), visando à criação de níveis de fertilidade e nas subparcelas foram aplicadas quatro doses de fósforo (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) no momento da implantação das culturas visando à obtenção de curva de resposta, sendo efetuadas a lanço em superfície antes da semeadura (Figura 4). As dimensões das parcelas experimentais foram de 5 x 8 m. As doses foram aplicadas em todas as safras, respeitando as mesmas quantidades e nas mesmas parcelas.

No inverno de 2003 foram implantados 3 experimentos (M1, M2 e I1) com doses de 0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ visando à criação de níveis de fertilidade e semeadas posteriormente com trigo; no experimento M2, só foram aplicadas as diferentes doses de fósforo, já que não houve condições de semear o trigo, pela grande quantidade de palha existente sob a superfície impossibilitando a semeadura com uma semeadora sem disco de corte. Os tratamentos com 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foram aplicadas após a colheita de trigo, com duas repetições, impossibilitando a criação de uma terceira repetição pela falta de espaço na área experimental.

No verão de 2003, foram implantados 4 experimentos (I2, AP1, AP2 e PJC1), totalizando 7 na Região Oriental do país. Aplicaram-se nestes 4 as doses de criação de níveis e semeadas posteriormente com milho e soja, a exceção do milho no AP1.

Nos experimentos instalados no inverno de 2003 (M1, M2 e I1) foram semeados com milho e soja, e imediatamente, aplicadas as doses de P₂O₅ (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹). No inverno de 2004, todos os experimentos foram semeados com trigo.

-----Safr de inverno de 2003-----

Trigo

0	50	100	200
---	----	-----	-----

Trigo

0	50	100	200
---	----	-----	-----

As parcelas receberam 60 kg ha⁻¹ de N e 50 kg ha⁻¹ de K₂O

-----Safr verã 2003/04-----

Milho

doses criaçã	0	50	100	200	400
doses	40	40	40	40	40
P ₂ O ₅	80	80	80	80	80
	120	120	120	120	120

Soja

doses criaçã	0	50	100	200	400
doses	40	40	40	40	40
P ₂ O ₅	80	80	80	80	80
	120	120	120	120	120

Parcelas de milho receberam 180 kg ha⁻¹ de N e 75 kg ha⁻¹ de K₂O

Parcelas de soja receberam 50 kg ha⁻¹ de K₂O

-----Safr inverno 2004-----

Trigo

doses criaçã	0	50	100	200	400
doses	40	40	40	40	40
P ₂ O ₅	80	80	80	80	80
	120	120	120	120	120

Trigo

doses criaçã	0	50	100	200	400
doses	40	40	40	40	40
P ₂ O ₅	80	80	80	80	80
	120	120	120	120	120

As parcelas receberam 60 kg ha⁻¹ de N e 50 kg ha⁻¹ de K₂O

FIGURA 3. Esquema experimental com os tratamentos de fósforo, Paraguai, 2005.



FIGURA 4. Adubação realizada a lanço em superfície antes da semeadura de milho e soja (acima) e semeadura do milho (esquerda abaixo) e da soja (direita abaixo) sob sistema plantio direto. Paraguai 2003.

3.8 Semeadura, condução e colheita

Todos os experimentos foram conduzidos sob sistema de plantio direto (Figura 4).

As semeaduras foram efetuadas nas épocas recomendadas segundo as recomendações técnicas regionais, objetivando atingir as máximas produções das

culturas. O trigo foi semeado em meados de maio tanto 2003 como 2004. O milho e a soja foram implantados na primeira semana de novembro de 2003. As cultivares utilizadas foram as mais cultivadas e produtivas das regiões de condução dos experimentos.

As adubações de K e N foram mantidas constantes e satisfatórias para atender as necessidades das culturas, utilizando-se a dose de 50 kg ha^{-1} de K_2O para trigo e soja, 75 kg ha^{-1} de K_2O para milho; 60 kg ha^{-1} de N para o trigo (20 kg na semeadura e 40 kg em cobertura) e 180 kg ha^{-1} de N para o milho (30 kg na semeadura e 150 kg em cobertura) aplicado aos 30 a 40 dias após a semeadura. As fontes utilizadas foram o cloreto de potássio, 60% de K_2O e a uréia, 45% de N. A fonte de P utilizada foi o super fosfato triplo, 46% de P_2O_5 . Os tratos culturais foram efetuados para a cultura expressar seu máximo potencial produtivo.

As aplicações de N, P e K foram realizadas a lanço (Figura 4), para tal, as parcelas foram delimitadas nos quatro limites, definindo exatamente a área para a aplicação. A aplicação de nitrogênio na semeadura e em cobertura no milho foi efetuada na linha com o auxílio de uma adubadora manual.

Para determinação da produção de grãos foram coletadas amostras representativas das parcelas, no trigo de 2003 coletaram-se três amostras de $0,25 \text{ m}^2$ totalizando $0,75 \text{ m}^2$ por parcela. Na cultura do milho e da soja coletaram-se amostras de 6 m lineares (duas linhas de 3 m) no centro das parcelas. Para o trigo de 2004 foi coletada uma área de $3,2 \text{ m}^2$ por parcela com uma colheitadeira de precisão austríaca, marca Wintersteiger (Anexo 5). As colheitas de trigo foram efetuadas no mês de outubro nos respectivos anos, enquanto do milho e soja foram efetuadas a partir da segunda quinzena de março de 2004. Todas as produtividades foram corrigidas para treze por cento de umidade no grão.

No experimento M2 o trigo 2004 não foi possível realizar a colheita do cereal, devido a que o produtor responsável da área tinha manejado o trigo antes da colheita visando a semeadura da soja, desta forma impossibilitando registrar os resultados de produtividade.

3.9 Coletas de solo e análises

Depois de selecionadas as áreas, foram realizadas análises de solo para conhecer a situação atual da fertilidade e corrigir os problemas de pH existentes nas áreas.

As coletas de solos foram efetuadas após cada colheita das culturas, sendo efetuadas dez sub-amostras por parcela compondo a amostra representativa da parcela. As amostras foram feitas na camada de 0 a 10 cm de profundidade. Todos as parcelas e todos os tratamentos foram amostrados após cada cultivo totalizando 10400 amostras (1200 parcelas).

As análises laboratoriais foram feitas no laboratório de solos da Universidade Federal de Santa Maria, segundo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

3.10 Determinação do rendimento relativo (RR) das culturas

O rendimento relativo das culturas foi obtido pela relação:

$$(1) \quad RR (\%) = \frac{\text{Rendimento da cultura na parcela testemunha (sem P)}}{\text{Rendimento máximo ou Máxima Eficiência Técnica da cultura}} \times 100$$

O rendimento da cultura sem fósforo, utilizado no cálculo (1) do rendimento relativo (RR) foi estimado pela função de produção ajustada, ou seja, o coeficiente “a” da equação de regressão entre as doses de fósforo e o rendimento de grãos. Para o valor de rendimento máximo da cultura foi utilizado o valor estimado pela equação de regressão até no máximo da dose de fósforo aplicado. No caso do uso de equações lineares com respostas positivas à utilização de fósforo, o valor de rendimento máximo foi o correspondente à maior dose utilizada e no caso de resposta negativa, o rendimento máximo foi o correspondente à dose zero do fósforo (coeficiente “a” da equação de regressão). Quando foram empregadas funções de correlação polinomiais de segundo grau, utilizou-se a técnica de

derivação das funções para a obtenção do valor de rendimento máximo a ser empregado.

3.11 Calibração

A curva de calibração foi obtida pela relação entre os valores de fósforo no solo determinados pelo método Mehlich-1 e os valores de rendimento relativo calculado pela equação (1).

A escolha da função a ser utilizada no ajuste dos dados da calibração foi feita pelo programa de computação "TABLE CURVE 2D v 5", que classificou as mesmas pelo valor de r^2 . A equação selecionada (2) foi à forma exponencial da equação de Mitscherlich que melhor se ajustou aos dados, a equação foi forçada a alcançar o rendimento relativo de 100%.

$$(2) \quad y = A (1-10^{-bx})$$

y representa o rendimento relativo (RR);

A representa a produtividade máxima;

b é o coeficiente de eficácia do elemento;

x é a quantidade de fósforo em kg ha⁻¹.

O teor crítico foi definido como o valor do nutriente no solo para 90% do rendimento máximo, como foi definido nos Programas de Adubação no RS e SC (Mielniczuk et al. 1969a, b; Universidade..., 1973; Tabelas..., 1976; Manual..., 1981; Siqueira et al., 1987; Comissão..., 1989, 1995, 2004).

O nível crítico foi ajustado para adequar as classes de fertilidade, denominadas muito baixo, baixo e médio (teor crítico). Acima do teor crítico também foram estabelecidas duas classes de fertilidade, onde teor crítico foi multiplicado por dois obtendo-se o limite entre as duas faixas, denominadas alto e muito alto conforme proposto por Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2004.

Foram determinadas doses de fósforo ($P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$) para a correção do teor de P no solo. As doses de correção são calculadas para atingir valores acima do teor crítico em três cultivos.

A quantificação da dose de P_2O_5 para as faixas de fertilidade, muito baixo, baixo e médio, foi obtida multiplicando-se a quantidade necessária para elevar o teor em 1 mg dm^{-3} no solo pela diferença entre o valor do teor crítico e o valor da faixa de fertilidade em estudo, utilizando sempre o limite superior de cada faixa (Comissão 2004). Este valor foi dividido por três cultivos, sendo que, se aplicará 50%, 30% e 20% do total no primeiro, segundo e terceiro cultivos, respectivamente.

A diferença entre o valor de fósforo no teor crítico e o valor original de cada solo representa o aumento da fertilidade proporcionado pela adição do fertilizante. Assim, foi possível elaborar uma tabela de recomendações com base nos valores em kg ha^{-1} de P_2O_5 necessários para elevar o teor em 1 mg dm^{-3} no solo, até atingir o teor crítico.

3.12 Construção de níveis de fósforo

Para estimativa do poder tampão do solo ao fósforo, elaborou-se as equações de resposta no solo às aplicações de P, onde foi utilizada a quantidade acumulada de fósforo aplicada pelos teores encontrados no solo, desta forma foi obtido o fator “b” das equações lineares que corresponde aos mg dm^{-3} elevados por kg ha^{-1} de P_2O_5 aplicado. O cálculo para obter a quantidade de kg de P_2O_5 necessários para elevar um mg dm^{-3} de P no solo, foi realizado através de regra de três simples.

Doses de reposição são iguais às quantidades exportadas pelos grãos na referente cultura, segundo dados da literatura.

Os resultados obtidos no experimento foram submetidos à análise de significância, pelo programa Winstad para a produtividade das culturas.

O método de laboratório escolhido foi o Mehlich-1 e o procedimento utilizado descrito em Tedesco et al. (1995).

Dados climáticos encontram-se no anexo 3 e 4.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produtividade das culturas de grãos influenciada por doses de adubação fosfatada

Neste item será apresentado uma análise geral dos resultados de rendimento de grãos das culturas de trigo, milho e soja, influenciados por doses de fósforo cultivadas sob SPD. Com base nisto, foram calculados os rendimentos relativos das culturas, utilizados posteriormente para a calibração dos valores de fósforo determinados com o método Mehlich-1.

Após a obtenção da curva de calibração para cada experimento, foram agrupados os solos em duas classes texturais, Classe 1, de 410 a 600 g kg⁻¹ de argila e Classe 2, de 210 a 400 g kg⁻¹ de argila, conforme proposto por Mielniczuk (2002), para determinação do teor crítico. A partir deste, foram definidas matematicamente as faixas de fertilidade do fósforo no solo para as culturas trigo, milho e soja nos solos investigados.

Uma das principais críticas à condução de experimentos de calibração é a escolha de áreas com teores iniciais de nutrientes elevados, fato que pode prejudicar a obtenção de curvas de resposta das culturas. Com o objetivo de esclarecer a condição inicial dos experimentos e a resposta encontrada será brevemente apresentado um resumo dos resultados obtidos.

Os experimentos do Departamento de Misiones (M1 e M2), ambos com 250 g kg⁻¹ de argila, apresentam teores iniciais diferentes de fósforo quando da implantação do experimento. O M1 apresentava teor médio de fósforo, já o M2 teor baixo do nutriente. Este fato proporcionou uma oportunidade de investigar o efeito do teor inicial de P em solos muito semelhantes.

No Departamento de Itapúa (I1 e I2), os solos apresentaram diferenças tanto na textura como no teor de fósforo. Assim, o I1 com 475 g kg⁻¹ de argila e teor inicial alto de fósforo, não apresentou respostas ao incremento do nutriente adicionado ao solo. Entretanto, no I2, com 350 g kg⁻¹ de argila e teor baixo do nutriente no solo, houve resposta das culturas ao incremento de fósforo adicionado.

Nos experimentos conduzidos no Departamento de Alto Paraná, com 395 e 470 g kg⁻¹ de argila, respectivamente no AP1 e AP2, e ambos com teores baixos de fósforo, foi encontrado resposta de produção das culturas ao P em função da textura.

No experimento localizado no Departamento de Amambay, distrito de Pedro Juan Caballero (PJC1) com teores baixos de fósforo e textura argilosa (560 g kg⁻¹ de argila), verificaram-se respostas ao incremento deste nutriente aplicado ao solo.

4.1.1 Produtividade do trigo safra 2003 em função de doses de adubação fosfatada

Observou-se uma grande diferença nas produtividades de trigo dos dois experimentos (M1 e I1), porém ambos com baixa resposta à aplicação de fósforo (Figura 20).

TABELA 3. Faixas de fertilidade, dose e produtividade máxima e econômica do trigo nos experimentos Misiones 1 e Itapúa 1, em função das doses de P₂O₅ aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2003.

Expto	Dose criação P ₂ O ₅	Fósforo no solo	Faixas fertilidade	Equação	RR	Dose MET*	Produção MET*	Dose MEE**	Produção MET**
	--kg ha ⁻¹ --	--mg dm ⁻³ --			---%---	----- kg ha ⁻¹ -----			
M 1	0	11,9	Médio	Y= 1457 +1,1289 P - 0,006 P ²	93	99	1563	0	1407
I 1	0	12,7	Alto	Y= 3602 + 2,6686 P - 0,008 P ²	94	167	3825	0	3442

RR= rendimento relativo *Máxima eficiência técnica ** Máxima eficiência econômica

No experimento de I1 a produtividade de grãos de trigo foi aproximadamente 2000 kg ha⁻¹ superior a obtida em M1. Uma justificativa para este resultado é a diferença de manejo do solo entre as áreas. Assim, na área I1 utiliza-se há muitos anos o SPD, com rotação de culturas e uso de plantas de cobertura, enquanto que no M1, vem sendo adotado o monocultivo de trigo-soja. Outro fator importante a ser considerado é que a região de Misiones teve um período de déficit hídrico que

provavelmente afetou a absorção de P e a produtividade da cultura, já que a difusão é o processo de maior influência na absorção deste nutriente pelas plantas, e é diretamente afetada pela disponibilidade de água no solo. A coincidência de deficit hídrico com aplicação superficial de fósforo pode ocasionar menor absorção de fósforo.

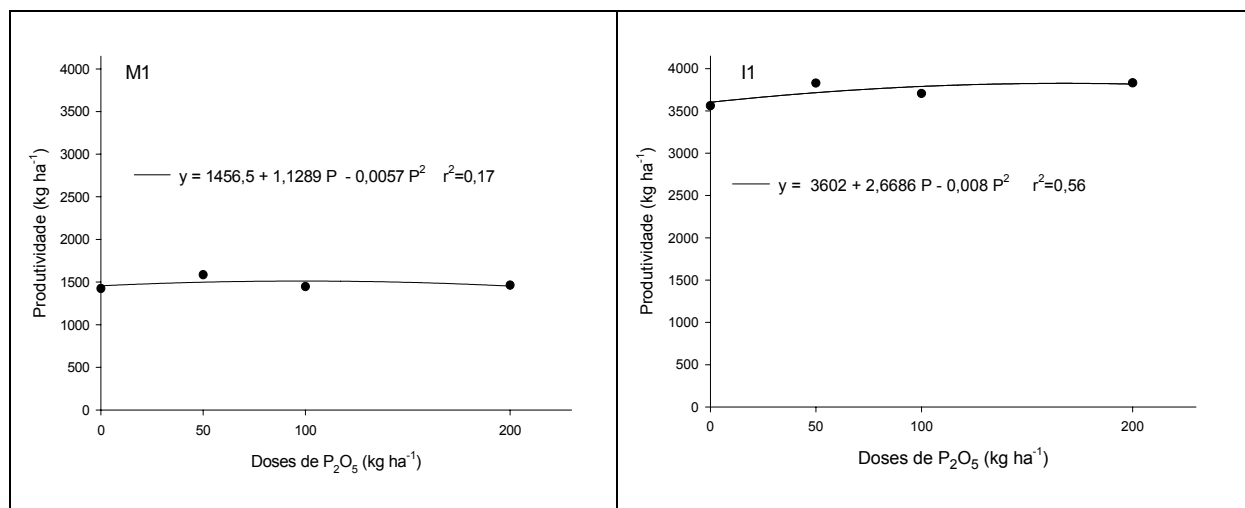


FIGURA 5. Produtividade de grãos de trigo em função das doses de fósforo adicionadas ao solo. Paraguai 2003.

A falta de resposta da cultura no experimento I1, provavelmente, se deve ao alto nível de fertilidade na condição inicial (Tabela 3). A escolha desta área para implantação foi devido a ser uma área representativa de manejo sob SPD no Paraguai. Já no experimento M1, com teor médio de fertilidade, esperava-se uma curva de resposta da cultura, no entanto isto não ocorreu possivelmente devido a efeito residual de adubações e condições climáticas que não permitiram expressar o potencial de rendimento.

Convém lembrar que neste ano foram conduzidos apenas estes dois experimentos com trigo, fato que limita a interpretação dos resultados.

4.1.2 Produtividade do milho safra 2003/04 em função de doses de adubação fosfatada.

Para a cultura do milho já foi possível conduzir experimentos em seis diferentes locais (M1, M2, I1, I2, AP2 e PJC1) aumentando a base de dados para interpretação de resultados. Na maioria dos locais investigados verificou-se resposta à adubação fosfatada, exceção aos solos de Itapúa 1.

As equações de regressão polinomial de resposta da cultura do milho à adição de fertilizantes estão descritas nas Tabelas 4 a 6. Foram utilizados os rendimentos médios dos tratamentos nas avaliações de regressão.

Verifica-se que os experimentos Misiones 1 e Misiones 2 apresentaram uma baixa resposta à adubação (Tabela 4) nos níveis de fertilidade criados com 100 e 200 kg de P_2O_5 adicionados anteriormente (rendimento relativo acima de 90%), onde as faixas se enquadram na classe alta de fertilidade (Tabela 4). A mesma observação é válida para Itapúa 1, com faixas de fertilidade alta (Tabela 5) em todos os níveis. No entanto, este experimento não apresentou resposta nenhuma a adubação, mesmo no nível 0 (100% de rendimento relativo). A baixa resposta do milho nestes locais deve-se, em parte, ao déficit hídrico durante a condução dos experimentos, ao histórico do manejo do solo e da adubação fosfatada empregadas nas áreas. Isso influenciou na escolha da função para ajuste dos dados, pois a resposta à aplicação do fertilizante, em alguns casos, foi linear.

Já nos experimentos de Itapúa 2 e Pedro Juan Caballero 1, houve resposta ao incremento de fósforo aplicado, com 68% de rendimento relativo para ambos (Tabela 6). No experimento Alto Paraná a resposta foi pequena.

A produtividade de milho nas parcelas testemunha (nível 0) aumentou em média, 11,5 kg ha⁻¹ de grãos para cada kg de P_2O_5 adicionado ao solo. No entanto, considerando todas as doses de criação de P_2O_5 estudados, o aumento médio foi de 4,74 kg ha⁻¹ de grãos para cada kg de P_2O_5 adicionado ao solo.

Neste item será apresentado e discutido cada experimento.

4.1.2.1 Misiones

As condições climáticas foram anormais, com alguns meses de déficit hídrico, além disto o manejo cultural como o controle de plantas daninhas e pragas principalmente, não foram bem atendidas.

No experimento M1 e M2, as faixas de fertilidade inicial eram classificadas como média e baixa, respectivamente, porém, após a adubação de criação de P_2O_5 (0, 50, 100 e 200), foram criadas duas novas faixas de nível alto para M1, e uma faixa media e outra de alta fertilidade para M2 (Tabela 4).

Em M1 com as mesmas doses de adubação de criação de P_2O_5 , verificou-se um incremento de $9,2 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo (Tabela 4). Por outro lado, o M2 apresentou um maior poder tampão a elevação dos teores de P no solo. Assim, a elevação do teor de P no solo foi de $5,5 \text{ mg dm}^{-3}$, ou seja, 39 % inferior ao M1. No M2 somente na maior dose de criação é que se verificou um decréscimo na dose de máxima eficiência técnica (MET), enquanto no M1 já no nível 100 isto foi observado (Tabela 4). As produtividades entre os solos M1 e M2 foram semelhantes.

A Tabela 4 apresenta os diferentes níveis de fertilidade criados nos experimentos de Misiones, com as doses de criação aplicadas no inverno de 2003, assim como, a dose e a produtividade máxima e econômica da cultura do milho com a adubação de manutenção ($0, 40, 80 \text{ e } 120 \text{ kg ha}^{-1}$) em cada nível.

TABELA 4. Faixas de fertilidade, dose e produtividade máxima e econômica do milho nos experimentos Misiones 1 e Misiones 2, em função das doses de P₂O₅ aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2004.

Experimento	Dose de criação P ₂ O ₅	Fósforo no solo	Faixas de fertilidade	Equação	r ²	RR*	Dose MET**	Produt. MET**	Dose MEE***	Produt. MEE***
	--kg ha ⁻¹ --	---mg dm ⁻³ ---				---%---	----- kg ha ⁻¹ -----			
Misiones 1	0	11,3	Médio	Y= 3836 + 26,36 P - 0,138 P ²	0,90	75	95	5112	86	4601
	50	13,8	Médio	Y= 3893 + 22,37 P - 0,127 P ²	0,95	80	88	4875	84	4388
	100	14,4	Alto	Y= 4693 - 0,229 P	0,85	100	0	4693	0	4224
	200	20,5	Alto	Y= 4938 - 3,58 P	0,84	100	0	4938	0	4444
Misiones 2	0	8,0	Baixo	Y= 2947 + 23,01 P - 0,090 P ²	1,00	67	120	4410	93	3969
	50	7,8	Baixo	Y= 4223 + 13,41 P - 0,061 P ²	0,84	85	110	4961	104	4465
	100	10,2	Médio	Y= 4190 - 2,85 P	0,46	92	120	4532	0	4079
	200	13,5	Alto	Y= 4763 - 4,984 P - 0,051 P ²	0,72	97	49	4885	0	4396

*Rendimento Relativo **Máxima eficiência técnica *** Máxima eficiência econômica

A dose de máxima eficiência técnica foi de 95 kg ha^{-1} de P_2O_5 com uma produtividade máxima de 5112 (faixa média de fertilidade). Percebe-se que nos níveis altos de fertilidade a dose máxima de manutenção foi zero, devido à falta de resposta da cultura em faixas altas de fertilidade.

No Misiones 2 para as faixas baixo e médio, foi necessário aplicar 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 na adubação de manutenção, para produzir mais de 4400 kg ha^{-1} de milho.

No Misiones 1 foi ajustada uma equação quadrática onde a máxima eficiência técnica (MET), foi zero, nas doses 100 e 200 de criação em virtude de já apresentaram um elevado teor de P (Tabela 4). A produção de grãos de milho aumentou de 3800 kg ha^{-1} no tratamento da dose 0 de criação e 0 de manutenção, até 5400 kg ha^{-1} aproximadamente, na aplicação de 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 na dose 200 de criação (Figura 6), uma diferença de 1600 kg ha^{-1} . Já a resposta à adubação fosfatada foi acentuada no Misiones 2 onde a resposta foi maior, e o milho aumentou de aproximadamente 3000 kg ha^{-1} no tratamento da dose de manutenção 0 e na dose de criação 0, até 5000 kg ha^{-1} aproximadamente, na dose 50 de criação com dose 120 de manutenção (Figura 6), uma diferença de 2000 kg ha^{-1} . A equação que melhor se ajustou aos dados foi uma quadrática.

Na Figura 6 observa-se graficamente a superfície de resposta do milho nos experimentos Misiones 1 e Misiones 2, em função das doses de manutenção aplicadas sob diferentes doses de criação ($\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg ha}^{-1}$) criados no inverno de 2003.

Observa-se no experimento de Misiones 1 que a curva de resposta a adubação de manutenção foi maior a medida que foi reduzida a adubação de criação ou mesmo quando não foi utilizada essa adubação. Este resultado está coerente com a faixa de fertilidade (média), na qual existe ainda probabilidade de resposta à adubação. No Misiones 2 o comportamento foi similar, porém a curva de resposta a adubação de manutenção foi maior a medida que aumentou adubação de criação de P_2O_5 .

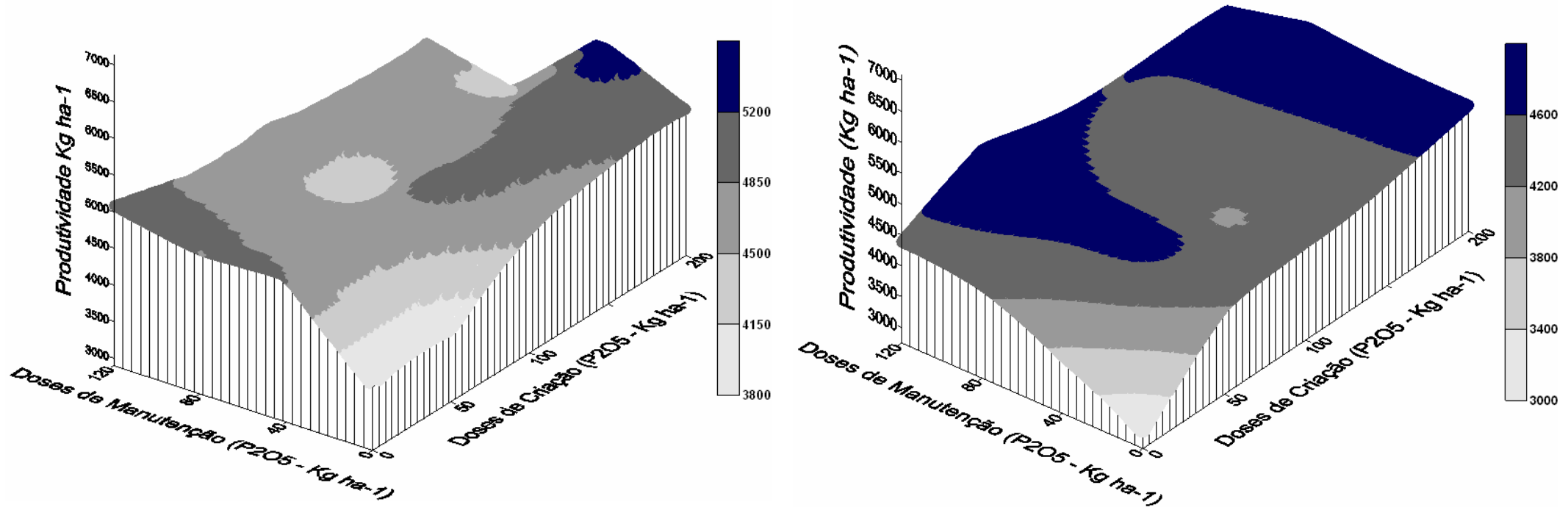


FIGURA 6. Produtividade de grãos de milho no experimento Misiones 1 (esquerda) e Misiones 2 (direita) em função das doses de P_2O_5 criados no inverno de 2003 e doses de manutenção na cultura. Paraguai, 2004.

Os efeitos residuais da adubação de criação foram observados, principalmente, quando a adubação de manutenção foi 0.

Existe uma interação entre a adubação de criação e a de manutenção. Assim, produtividades semelhantes podem ser alcançadas em diferentes combinações das duas adubações.

4.1.2.2 Itapúa 1

As condições climáticas foram anormais, com alguns meses de seca.

No experimento Itapúa 1, com teor inicial de fósforo alto, houve pequena resposta à adubação fosfatada (Tabela 5). Em virtude disso, percebe-se que a dose de MET na manutenção foi zero, nas diferentes doses de criação aplicadas no inverno de 2003. Assim a produtividade máxima da cultura do milho foram similares, variando de 5999 a 6555, com menos de 600 kg ha⁻¹ de diferença. Observou-se que na adubação 200 de criação, foram necessários 22 kg P₂O₅ para elevar 1 mg dm⁻³ de P no solo, verificando um incremento de 8,9 mg dm⁻³ de P no solo (Tabela 5). Valor semelhante foi encontrado no Misiones 1, porém, isto praticamente não se refletiu em ganhos de rendimento, ou seja, para 556 kg ha⁻¹ de incremento de rendimento na adubação 200 de criação, foi produzido 2,8 kg ha⁻¹ de milho por kg de P₂O₅ aplicado. Comparando os experimentos anteriores, no Misiones 1 houve um incremento de 1102 kg ha⁻¹ na mesma adubação de criação, foram produzidos 6,4 kg ha⁻¹ de milho por kg de P₂O₅ aplicado, e para Misiones 2 com um incremento de 1938 no rendimento, foram produzidos 10 kg ha⁻¹ de milho para cada kg de P₂O₅ aplicado.

Como no Itapúa 1 o teor de P já era alto, os resultados mostram que outros fatores estão limitando o incremento da resposta ao fósforo, mas não a disponibilidade de P, ou que a cultura do milho já atingiu o seu teto de produtividade para as condições do estudo.

TABELA 5. Faixas de fertilidade, dose e produtividade máxima e econômica do milho no experimento Itapúa 1 em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2004

Experimento	Dose de criação P_2O_5	Fósforo no solo	Faixas de fertilidade	Equação	r^2	RR*	Dose MET**	Produt. MET**	Dose MEE***	Produt. MEE***
	--kg ha ⁻¹ --	---mg dm ⁻³ ---				---%---	----- kg ha ⁻¹ -----			
Itapúa 1	0	12,1	Alto	Y= 5999 - 10,05 P	0,95	100	0	5999	0	5399
	50	15,0	Alto	Y= 5933 - 5,33 P	0,23	100	0	5932	0	5339
	100	16,8	Alto	Y= 6046 - 7,96 P	0,47	100	0	6046	0	5441
	200	21,0	Alto	Y= 6555 - 8,64 P	0,65	100	0	6555	0	5900

*Rendimento Relativo **Máxima eficiência técnica *** Máxima eficiência econômica

Verifica-se na Tabela 5 no experimento de Itapúa 1, a elevação do teor do fósforo no solo com as doses de criação aplicadas no inverno de 2003, mas a faixas de fertilidade enquadram-se todas num nível alto de fertilidade, e desta forma percebe-se que nesses níveis, a dose máxima de manutenção foi zero, devido a este solo apresentar um teor inicial de P alto, assim a produtividade máxima da cultura do milho foram bem similares, (variando de 5999 a 6555) menos de 600 kg de diferença. Figura 7 é apresentada a superfície de resposta do milho em função das doses de manutenção aplicadas sob diferentes doses de P_2O_5 (faixas de fertilidade) criados no inverno de 2003.

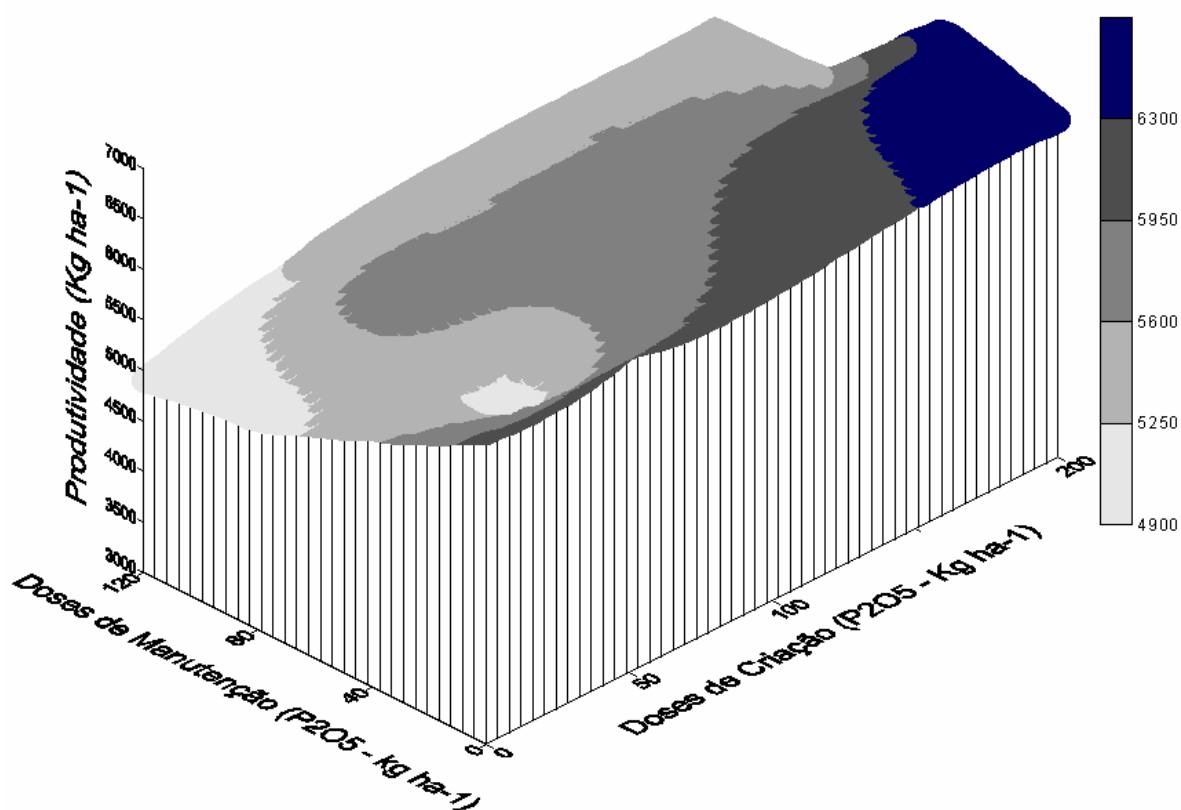


FIGURA 7. Produtividade de grãos de milho no experimento Itapúa 1, superfície de resposta da cultura em função das doses de P_2O_5 criados no inverno de 2003 e doses de manutenção na cultura. Paraguai 2004.

Observa-se que resposta à adubação de manutenção foi inexpressiva, ou seja, sem resposta à adubação pelo milho. Este resultado está de acordo com a

faixa de fertilidade alta, na qual a probabilidade de resposta à adubação é muito baixa. No entanto houve efeitos residuais, apresentando resposta à adubação na criação dos níveis de P_2O_5 , variando de 5900 kg ha^{-1} , na dose 0 de criação, até aproximadamente 6600 kg ha^{-1} , na dose 200 de criação.

4.1.2.3 Itapúa 2, Alto Paraná 2 e Pedro Juan Caballero

Nesta safra foram aplicadas as adubações de criação (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha^{-1} de P_2O_5). Na Tabela 6 são apresentados os diferentes níveis de fertilidade iniciais, assim como a dose e a produtividade máxima e econômica da cultura do milho com a adubação de criação.

A resposta do milho ao fósforo foi distinta nos experimentos como pode ser observado na Figura 8. Nos experimentos de Itapúa 2 e Pedro Juan Caballero 1, a produtividade de grãos foi bem inferior, aproximadamente 4000 kg ha^{-1} , em comparação a Alto Paraná 2. Uma justificativa para este resultado é a diferença de manejo do solo e histórico entre as áreas, bem como a ocorrência de déficit hídrico.

Tabela 6. Faixa de fertilidade, dose e produtividade máxima e econômica do milho nos experimentos Itapúa 2, Alto Paraná 2 e Pedro Juan Caballero 1, em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto, Paraguai, 2004.

Experimento	Dose de criação P_2O_5	Fósforo no solo	Faixas de fertilidade	Equação	r^2	RR*	Dose MET**	Produt. MET**	Dose MEE***	Produt. MEE***
	--kg ha ⁻¹ --	---mg dm ⁻³ ---				---%---	----- kg ha ⁻¹ -----			
Itapúa 2	0	3,5	Muito Baixo	$Y = 3344 + 12,10 P - 0,023 P^2$	0,95	68	262	4928	158	4435
Alto Paraná 2	0	7,9	Baixo	$Y = 8572 + 8,00 P - 0,012 P^2$	0,96	87	323	9864	290	8878
P.J.Caballero 1	0	5,2	Baixo	$Y = 3409 + 9,55 P - 0,014 P^2$	0,97	68	336	5013	197	4512

*Rendimento Relativo **Máxima eficiência técnica *** Máxima eficiência econômica

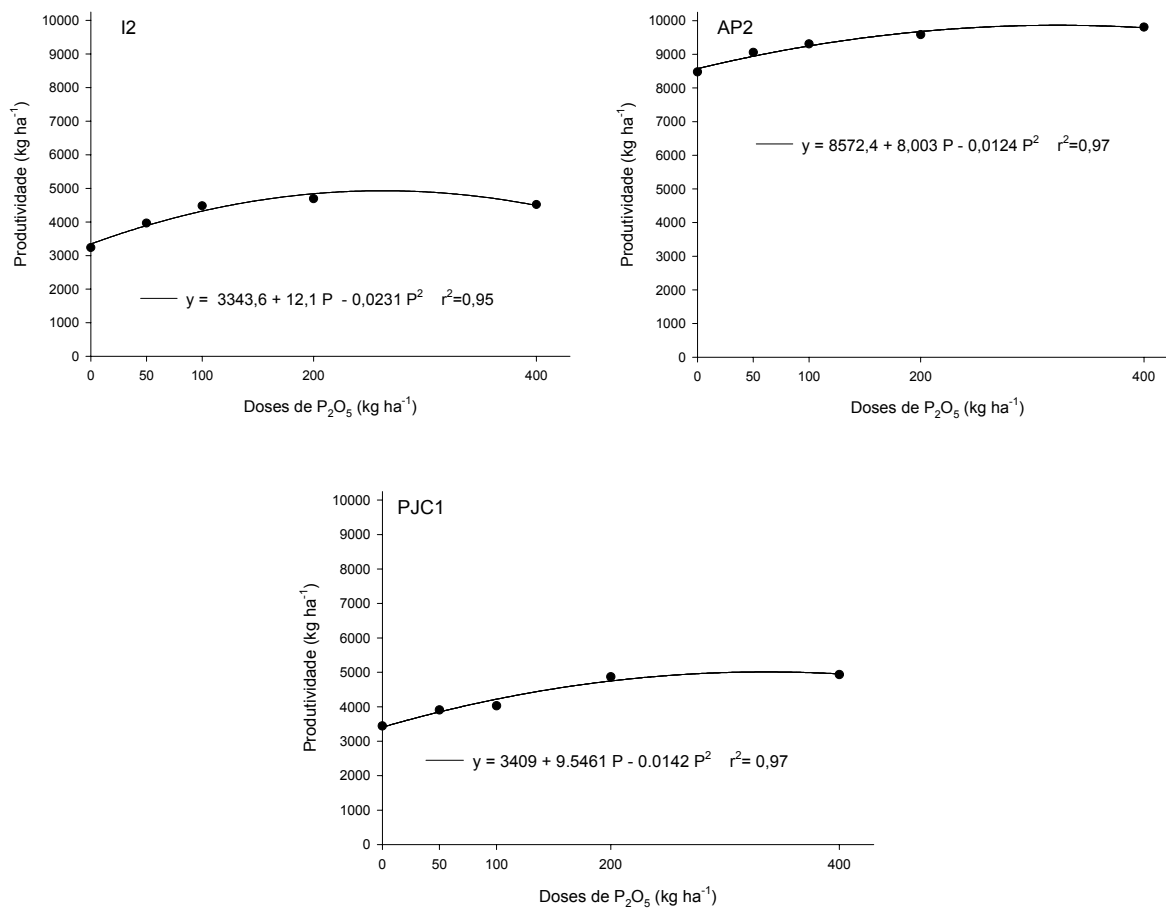


FIGURA 8. Produtividade de grãos de milho nos experimentos Itapúa 2 (I2), Alto Paraná (AP2) e Pedro Juan Caballero 1 (PJC1), Paraguai 2004.

A alta produtividade verificada no experimento de Alto Paraná 2, na parcela testemunha (8572 kg ha^{-1}), expressa o potencial de rendimento da cultura neste Departamento da Região Oriental do País, com solos de elevado potencial produtivo, devido a condições físicas e biológicas do solo.

Acredita-se que devido ao fato que todas as aplicações das adubações terem sido aplicadas a lanço, a resposta da cultura à adubação talvez tenha sido afetada, principalmente nos solos de Itapúa 2 e Pedro Juan Caballero 1, em virtude da ocorrência de déficit hídrico, o que pode ter desfavorecido ainda mais absorção de P pela planta.

4.1.3 Produtividade da Soja na safra 2003/04 em função da adubação fosfatada

Na cultura da soja foi conduzido experimentos em sete diferentes locais da Região Oriental do país (Misiones 1, Misiones 2, Itapúa 1, Itapúa 2, Alto Paraná 1, Alto Paraná 2 e Pedro Juan Caballero 1), aumentando desta forma a base de dados para interpretação de resultados.

Na maioria dos locais investigados verificou-se resposta à adubação fosfatada, exceção ao solo de Itapúa 1 (Tabelas 7 a 9)

As equações de regressão polinomial de resposta da cultura à adição de fertilizantes estão descritas nas Tabelas 7 a 9. Foram utilizados os rendimentos médios dos tratamentos nas avaliações de regressão.

Na maioria dos locais investigados verificou-se resposta à adubação fosfatada, exceção ao solo de Itapúa 1. Observa-se que o Misiones 1 não apresentou resposta à adubação nos níveis de fertilidade criados com 100 e 200 kg de P_2O_5 adicionados anteriormente (rendimento relativo acima de 99%), devido ao fato que as faixas na qual se enquadra são de classe alta de fertilidade (Tabela 7). A mesma observação foi verificada para Itapúa 1, com faixas de fertilidade alta (Tabela 8), no entanto este experimento não apresentou resposta nenhuma mesmo a partir do nível 0 (maior que 93% de rendimento relativo). Desta forma evidenciando a baixa probabilidade de resposta das culturas em faixas altas de fertilidade.

Já nos experimentos de Itapúa 2, Alto Paraná 1, Alto Paraná 2 e Pedro Juan Caballero 1, houve resposta ao incremento de fósforo aplicado, com 60, 66, 77 e 68% de rendimento relativo respectivamente.

A produtividade da soja nas parcelas testemunha (nível 0) aumentou em média, $8,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos para cada kg de P_2O_5 adicionado ao solo. No entanto, considerando todos os tratamentos estudados, o aumento médio foi de $5,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos para cada kg de P_2O_5 adicionado ao solo.

4.1.3.1 Misiones

As condições climáticas foram anormais, com alguns meses de déficit hídrico, além disto o manejo cultural como o controle de plantas daninhas e pragas principalmente, não foram bem atendidas.

No experimento M1 e M2, as faixas de fertilidade inicial eram classificadas como média e baixa, respectivamente, porém, após a adubação de criação de P_2O_5 (0, 50, 100 e 200), foram criadas duas novas faixas de nível alto para M1 e uma faixa media fertilidade para M2 (Tabela 7).

Em Misiones 1 verificou-se um incremento de $9,6 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo (Tabela 7) com as doses de criação. Por outro lado, o Misiones 2 apresentou um maior poder tampão a elevação dos teores de P no solo. Assim, a elevação do teor de P no solo foi de $4,7 \text{ mg dm}^{-3}$, ou seja, 49 % inferior ao M1. Este resultado está coerente com o teor inicial e sítios mais ávidos por adsorção P, que será melhor discutida no item 4.6. As produtividades entre os solos M1 e M2 foram semelhantes.

TABELA 7. Faixas de fertilidade, dose e produtividade máxima e econômica da soja nos experimentos Misiones 1 e Misiones 2, em função das doses de P₂O₅ aplicadas sob sistema plantio direto, Paraguai, 2004.

Experimento	Dose de criação P ₂ O ₅	Fósforo no solo	Faixas de fertilidade	Equação	r ²	RR*	Dose MET**	Produt. MET**	Dose MEE***	Produt. MEE***
	--kg ha ⁻¹ --	---mg dm ⁻³ ---				---%---	----- kg ha ⁻¹ -----			
Misiones 1	0	12,0	Médio	Y= 1908 + 11,35 P - 0,082 P ²	0,53	83	69	2300	64	2070
	50	14,6	Médio	Y= 2083 + 5,76 P - 0,025 P ²	0,33	86	115	2414	104	2172
	100	16,1	Alto	Y= 2355 + 2,75 P - 0,006 P ²	0,01	99	56	2371	0	2134
	200	21,6	Alto	Y= 2597 - 4,98 P - 0,012 P ²	0,75	100	0	2597	0	2337
Misiones 2	0	5,9	Baixo	Y= 1326 + 6,58 P	0,90	63	120	2116	108	1905
	50	8,1	Baixo	Y= 1547 + 4,63 P	0,90	74	120	2103	108	1893
	100	9,5	Baixo	Y= 1749 + 10,31 P - 0,057 P ²	0,80	79	90	2212	72	1991
	200	10,6	Médio	Y= 1892 + 3,33 P	0,97	83	120	2292	108	2063

*Rendimento Relativo **Máxima eficiência técnica *** Máxima eficiência econômica

A Tabela 7 apresenta os diferentes níveis de fertilidade criados nos experimentos de Misiones, com as doses de criação aplicadas no inverno de 2003, assim como a dose e a produtividade máxima e econômica da cultura da soja com a adubação de manutenção (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) em cada nível.

Para Misiones 1 a dose de máxima eficiência técnica variou para os diferentes níveis de fertilidade, com uma produtividade superior a 2300 kg ha⁻¹.

No Misiones 2 para as faixas baixo e médio, foi necessário aplicar 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na adubação de manutenção, para produzir mais de 2100 kg ha⁻¹ de grãos de soja.

Na Figura 9 observa-se graficamente a superfície de resposta da soja nos experimentos Misiones 1 e Misiones 2, em função das doses de manutenção aplicadas sob diferentes doses de P₂O₅ criados no inverno de 2003.

No Misiones 1 foi melhor ajustada uma equação quadrática onde a máxima eficiência técnica (MET) chegou até a dose de 115 kg ha⁻¹. A produção de grãos de soja aumentou de 1600 kg ha⁻¹, no tratamento na dose de criação e dose de manutenção 0, até 2600 kg ha⁻¹ aproximadamente, na aplicação de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na dose 200 de criação (Figura 9), uma diferença de 1000 kg ha⁻¹.

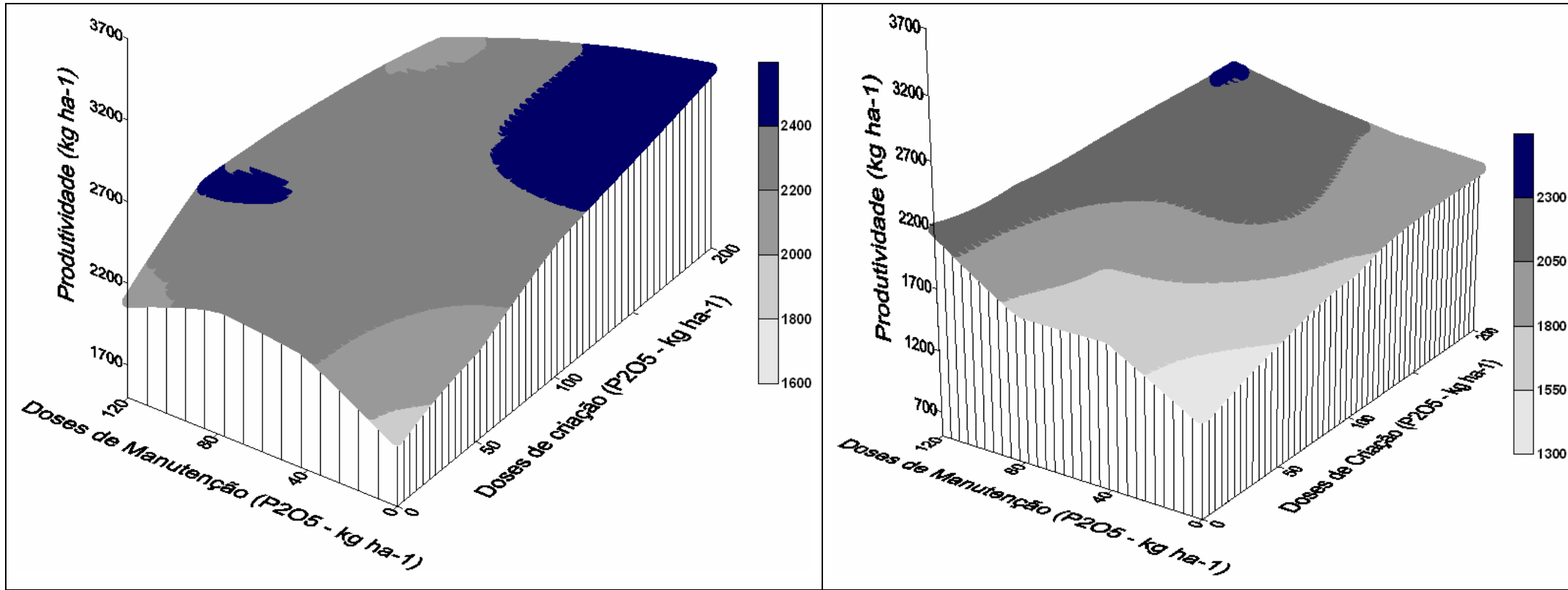


FIGURA 9. Produtividade de grãos de soja no experimento Misiones 1 (esquerda) e Misiones 2 (direita), superfície de resposta da cultura em função das doses de P_2O_5 criados no inverno de 2003 e doses de manutenção na cultura, Paraguai 2004.

Observa-se que no experimento de Misiones 2 a curva de resposta a adubação de manutenção foi maior a medida que foi reduzida a adubação de criação ou mesmo quando não foi utilizada essa adubação. Este resultado está coerente com a faixa de fertilidade (baixa), na qual existe uma alta probabilidade de resposta à adubação. No entanto, a resposta à adubação fosfatada foi acentuada, a produtividade da soja aumentou de aproximadamente 1300 kg ha^{-1} , no tratamento na dose 0 de criação, até 2300 kg ha^{-1} aproximadamente, na dose 200 de criação com dose 120 de manutenção (Figura 9), uma diferença de 1000 kg ha^{-1} . A equação que melhor se ajustou aos dados foi uma linear.

Os efeitos residuais da adubação de criação de níveis foram observados no Misiones 1, principalmente, quando a adubação de manutenção foi 0.

Existe uma interação entre a adubação de criação e a de manutenção. Assim, produtividades semelhantes podem ser alcançadas em diferentes combinações das duas adubações.

4.1.2.2 Itapúa 1

As condições climáticas foram anormais, com alguns meses de seca.

Experimento Itapúa 1, com teor inicial de fósforo alto, houve pequena resposta à adubação fosfatada (Tabela 8). Em virtude disso, percebe-se que a dose de MET na manutenção foi até 44 kg ha^{-1} de P_2O_5 nas diferentes doses de criação aplicadas no inverno de 2003. Assim as produtividades máximas da cultura de soja foram similares. Observou-se que no nível 200 da adubação de criação, foram necessários $18 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ para elevar 1 mg dm^{-3} de P no solo, verificando um incremento de 11 mg dm^{-3} de P no solo (Tabela 8). Valor semelhante foi encontrado no Misiones 1

TABELA 8. Faixas de fertilidade, dose e produtividade máxima da soja no experimento Itapúa 1 em função das doses de P₂O₅ aplicadas sob sistema plantio direto, Paraguai, 2004.

Experimento	Dose de criação P ₂ O ₅	Fósforo no solo	Faixas de fertilidade	Equação	r ²	RR*	Dose MET**	Produt. MET**	Dose MEE***	Produt. MEE***
	--kg ha ⁻¹ --	---mg dm ⁻³ ---				---%---	----- kg ha ⁻¹ -----			
Itapúa 1	0	12,8	Alto	Y= 2996 + 9,67 P - 0,110 P ²	0,99	93	44	3.207	0	2.887
	50	15,4	Alto	Y= 3402 + 1,31 P - 0,05 P ²	0,95	100	13	3.411	0	3.070
	100	16,3	Alto	Y= 2979 + 7,21 P - 0,083 P ²	0,73	95	43	3.136	0	2.822
	200	23,8	Alto	Y= 3211 - 3,44 P	0,56	100	0	2.797	0	2.517

*Rendimento Relativo **Máxima eficiência técnica *** Máxima eficiência econômica

Na Figura 10 é apresentada a superfície de resposta da soja em função das doses de manutenção aplicadas sob diferentes doses de P_2O_5 (faixas de fertilidade) criados no inverno de 2003. Observa-se que a resposta à adubação de manutenção foi muito baixa. Esta observação está de acordo com a faixa de fertilidade (alta), na qual a probabilidade de resposta à adubação é pequena. Verifica-se que a soja atingiu a máxima produtividade (3400 kg ha^{-1} aproximadamente) na dose 50 de criação com a dose de 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 . A cultura varia de 2600 kg ha^{-1} até 3450 kg ha^{-1} nas diferentes combinações de adubação.

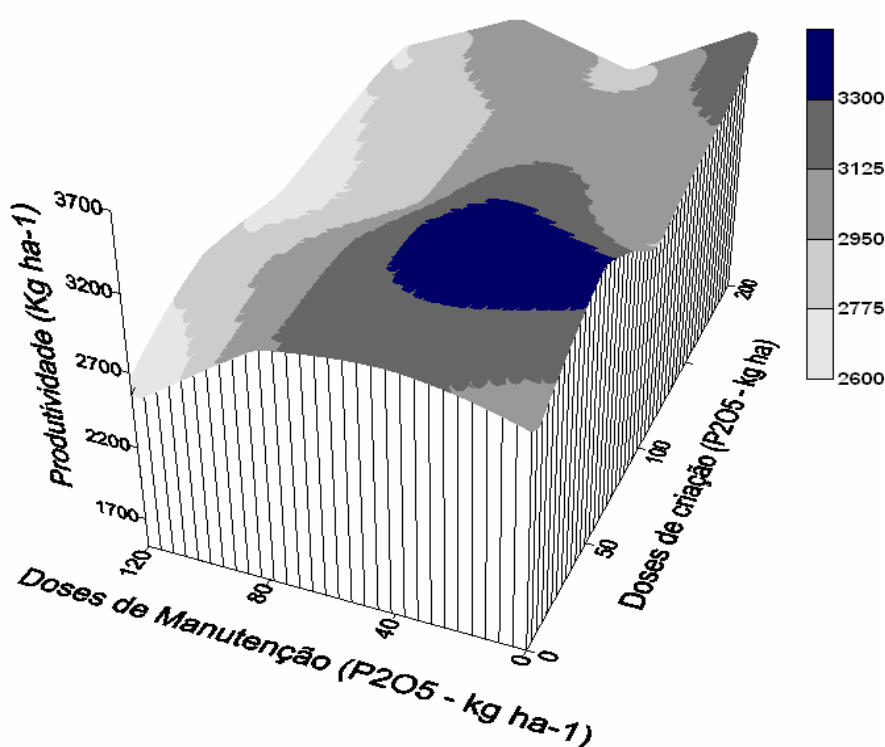


FIGURA 10. Produtividade de grãos de soja no experimento Itapúa 1, superfície de resposta da cultura em função das doses de P_2O_5 criados no inverno de 2003 e doses de manutenção na cultura, Paraguai 2004.

4.1.2.3 Itapúa 2, Alto Paraná 1, Alto Paraná 2 e Pedro Juan Caballero 1.

Na Tabela 9 são apresentados os diferentes níveis de fertilidade iniciais, assim como a dose e a produtividade máxima e econômica da cultura da soja com a adubação de criação.

TABELA 9. Faixas de fertilidade, dose e produtividade máxima da soja no experimento Itapúa 2, Alto Paraná 1, Alto Paraná 2 e Pedro Juan Caballero 1, em função das doses de P₂O₅ aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2004.

Experimento	Dose de criação P ₂ O ₅	Fósforo no solo	Faixas de fertilidade	Equação	r ²	RR*	Dose MET**	Produt. MET**	Dose MEE***	Produt. MEE***
	--kg ha ⁻¹ --	---mg dm ⁻³ ---			---	---	----- kg ha ⁻¹ -----			
Itapúa 2	0	3,5	Muito Baixo	Y= 3344 + 12,10 P - 0,023 P ²	0,95	68	231	2077	122	1869
Alto Paraná 1	0	7,6	Baixo	Y= 2742 + 10,56 P - 0,020 P ²	0,82	66	269	4165	156	3749
Alto Paraná 2	0	7,9	Baixo	Y= 3518 + 8,15 P - 0,016 P ²	0,90	77	260	4577	179	4119
P.J.Caballero 1	0	5,2	Baixo	Y= 1761 + 5,93 P - 0,011 P ²	0,89	68	277	2588	160	2330

*Rendimento Relativo **Máxima eficiência técnica *** Máxima eficiência econômica

A resposta da soja ao fósforo foi distinta nos experimentos como pode ser observado na Figura 11. Nos experimentos de Itapúa 2 e Pedro Juan Caballero, a produtividade de grãos foi bem inferior, aproximadamente 2000 kg ha⁻¹, em comparação a Alto Paraná 1 e 2. A justificativa para este resultado é a diferença de manejo do solo e histórico entre as áreas, como também o potencial produtivo superior para a cultura da soja nas áreas no Alto Paraná, importante Departamento da Região Oriental do País.

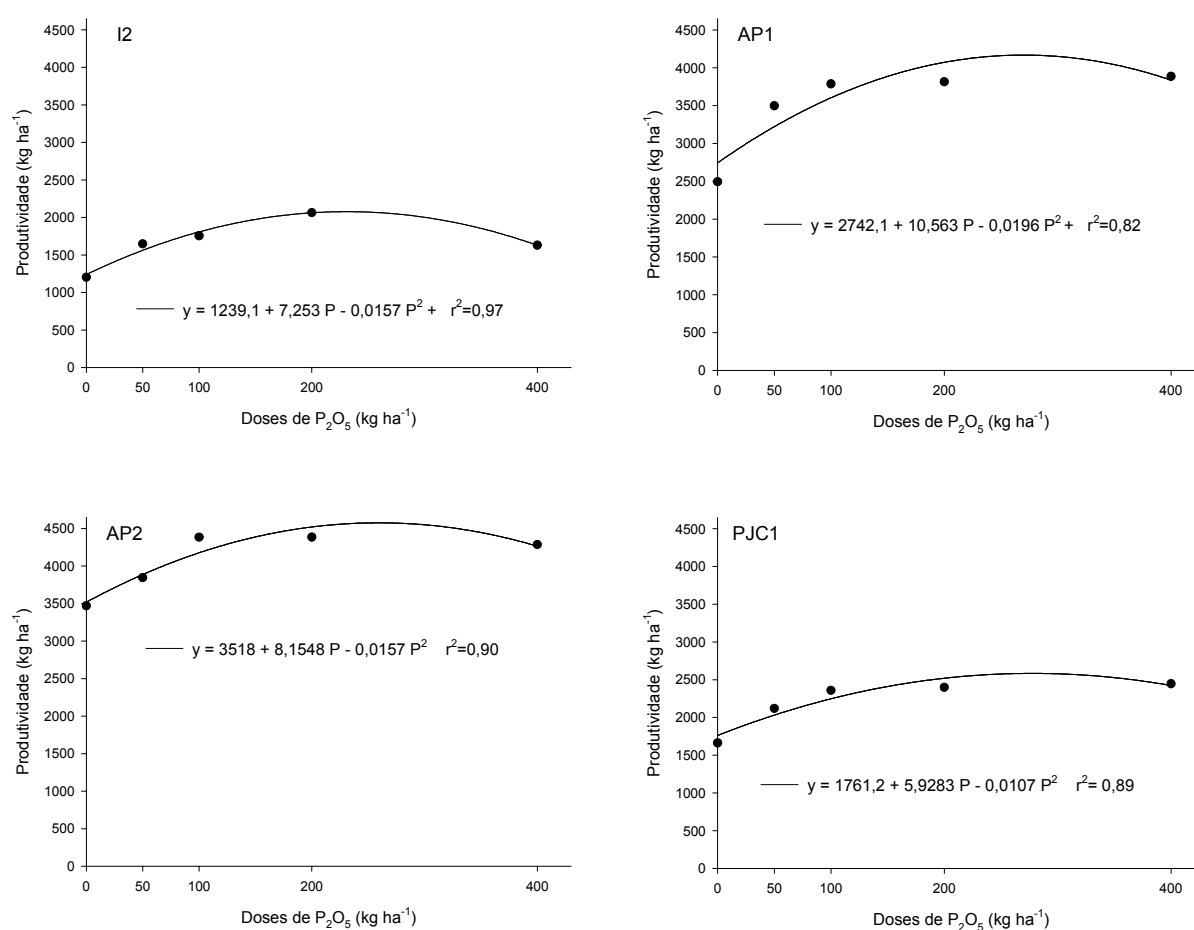


FIGURA 11. Produtividade de grãos de soja em função das doses de fósforo adicionadas nos experimentos Itapúa 2, Alto Paraná 1, Alto Paraná 2 y Pedro Juan Caballero 1, Paraguai 2004.

4.2 Produtividade de trigo após milho e soja na safra 2004 em função da adubação fosfatada.

As equações de regressão polinomial de resposta da cultura do trigo à adição de fertilizantes estão descritas na Tabela 10. Foram utilizados os rendimentos médios dos tratamentos nas avaliações de regressão.

TABELA 10. Equação de regressão polinomial, coeficiente de correlação e rendimento relativo de trigo após milho e soja em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2005.

Experimento	Cultura anterior	Doses criação P_2O_5	Equação	r^2	Rendimento Relativo
----- Trigo safra 2004 -----					
					-----%-----
Misiones 1	Após milho	0	$Y = 1672 + 4,85 P - 0,016 P^2$	0,92	83
Misiones 1	Após milho	50	$Y = 1746 + 7,17 P - 0,039 P^2$	0,78	84
Misiones 1	Após milho	100	$Y = 2040 + 2,58 P - 0,032 P^2$	0,92	97
Misiones 1	Após milho	200	$Y = 1791 + 8,35 P - 0,071 P^2$	0,56	88
Misiones 1	Após milho	400	$Y = 1638 + 8,13 P - 0,065 P^2$	0,80	87
Misiones 1	Após soja	0	$Y = 1867 + 5,55 P - 0,031 P^2$	0,75	88
Misiones 1	Após soja	50	$Y = 1985 + 1,69 P$	0,15	91
Misiones 1	Após soja	100	$Y = 2210 + 2,27 P$	0,76	100
Misiones 1	Após soja	200	$Y = 2159 + 1,15 P - 0,028 P^2$	0,26	99
Misiones 1	Após soja	400	$Y = 2202 + 3,48 P$	0,50	100
Itapúa 1	Após milho	0	$Y = 1735 + 6,83 P - 0,049 P^2$	0,99	88
Itapúa 1	Após milho	50	$Y = 1790 + 1,18 P$	0,91	93
Itapúa 1	Após milho	100	$Y = 1743 + 3,88 P - 0,018 P^2$	0,90	89
Itapúa 1	Após milho	200	$Y = 1714 + 2,25 P$	0,84	86
Itapúa 1	Após milho	400	$Y = 1611 + 1,07 P$	0,42	93
Itapúa 1	Após soja	0	$Y = 2496 + 13,42 P - 0,121 P^2$	0,94	87
Itapúa 1	Após soja	50	$Y = 2438 + 9,44 P - 0,084 P^2$	0,52	90
Itapúa 1	Após soja	100	$Y = 2740 + 6,25 P - 0,079 P^2$	0,86	96
Itapúa 1	Após soja	200	$Y = 2717 + 3,68 P - 0,045 P^2$	0,94	97
Itapúa 1	Após soja	400	$Y = 2464 + 8,33 P - 0,086 P^2$	0,73	92

Experimento	Cultura anterior	Doses criação P ₂ O ₅ ----kg ha ⁻¹ ----	Equação	r ²	Rendimento Relativo
			-----Trigo safra 2004 -----		----%----
Itapúa 2	Após milho	0	Y= 1790 + 12,28 P - 0,027 P ²	0,99	62
Itapúa 2	Após milho	50	Y= 2180 + 16,29 P - 0,066 P ²	1,00	68
Itapúa 2	Após milho	100	Y= 2623 + 5,91 P - 0,023 P ²	0,70	87
Itapúa 2	Após milho	200	Y= 2757 + 2,11 P	0,84	92
Itapúa 2	Após milho	400	Y= 3026 + 1,03 P	0,26	96
Itapúa 2	Após soja	0	Y= 1986 + 8,58 P	0,97	66
Itapúa 2	Após soja	50	Y= 2305 + 6,91 P	0,99	74
Itapúa 2	Após soja	100	Y= 2620 + 4,17 P	0,97	84
Itapúa 2	Após soja	200	Y= 2872 + 1,07 P - 0,049 P ²	0,70	100
Itapúa 2	Após soja	400	Y= 2910 - 2,41 P	0,13	100
Alto Paraná 1	Após soja	0	Y= 1163 + 20,09 P - 0,136 P ²	0,81	61
Alto Paraná 1	Após soja	50	Y= 1359 + 3,43 P	0,97	77
Alto Paraná 1	Após soja	100	Y= 1736 + 5,83 P - 0,033 P ²	0,99	85
Alto Paraná 1	Após soja	200	Y= 1833 + 1,01 P - 0,005 P ²	0,90	97
Alto Paraná 1	Após soja	400	Y= 1784 - 1,04 P	0,36	100
Alto Paraná 2	Após milho	0	Y= 2105 + 5,99 P	1,00	75
Alto Paraná 2	Após milho	50	Y= 2284 + 5,19 P	1,00	79
Alto Paraná 2	Após milho	100	Y= 2661 - 0,24 P	0,11	100
Alto Paraná 2	Após milho	200	Y= 2741 - 0,27 P	0,05	100
Alto Paraná 2	Após milho	400	Y= 2816 - 0,17 P	0,93	100
Alto Paraná 2	Após soja	0	Y= 2172 + 4,73 P	0,99	79
Alto Paraná 2	Após soja	50	Y= 2503 + 2,81 P	0,91	88
Alto Paraná 2	Após soja	100	Y= 2765 + 0,23 P	0,01	99
Alto Paraná 2	Após soja	200	Y= 2914 - 1,52 P	0,59	100
Alto Paraná 2	Após soja	400	Y= 2700 - 1,07 P	0,05	100
P.J. Caballero 1	Após milho	0	Y= 406 + 4,67 P - 0,013 P ²	1,00	52
P.J. Caballero 1	Após milho	50	Y= 407 + 6,66 P - 0,034 P ²	1,00	56
P.J. Caballero 1	Após milho	100	Y= 598 + 1,15 P	0,51	81
P. J. Caballero 1	Após milho	200	Y= 735 + 0,91 P - 0,003 P ²	0,94	92
P. J. Caballero 1	Após milho	400	Y= 786 - 0,79 P - 0,001 P ²	0,10	91
P.J. Caballero 1	Após soja	0	Y= 541 + 1,67 P	0,98	73
P.J. Caballero 1	Após soja	50	Y= 603 + 1,24 P	0,93	80
P. J. Caballero 1	Após soja	100	Y= 716 + 1,48 P	0,75	80
P. J. Caballero 1	Após soja	200	Y= 854 + 0,49 P	0,10	94
P.J. Caballero 1	Após soja	400	Y= 999 - 1,63 P	0,77	100
Media	Geral	Todos	Y= 1891 + 4,05 P - 0,049 P²	0,67	74
Media	Após milho	0	Y= 1542 + 6,90 P - 0,026 P²	0,74	72
Media	Após soja	0	Y= 1704 + 9,01 P - 0,096 P²	0,67	76
Media	Geral	0	Y= 1623 + 7,95 P - 0,049 P²	0,67	74

As equações polinomiais (lineares e quadráticas) foram as que melhor se ajustaram, no entanto, a equação linear foi ajustada à maioria dos dados das curvas de resposta do trigo à adição das doses de P_2O_5 . Colwel (1966) também obteve um melhor ajuste com as funções quadrática e linear, se comparado ao obtido com as de Mitcherlich e da raiz quadrada em experimentos de calibração de fósforo na cultura do trigo. O autor concluiu que a equação quadrática é adequada para expressar a curva de resposta das culturas à aplicação de fósforo.

O trigo após milho respondeu menos à aplicação de fósforo, que aumentou em média 6,9 kg de grãos para cada kg de P_2O_5 adicionados ao solo, seguido do trigo após soja que aumentou em média 9,0 kg de grãos para cada kg de P_2O_5 adicionados ao solo. Este resultado provavelmente esteja relacionado ao efeito de sinergismo da rotação leguminosa / gramínea em relação à sucessão gramínea / gramínea.

Em média o trigo aumentou nas parcelas testemunha, $7,95 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos para cada kg de P_2O_5 adicionado ao solo, no entanto, para todos os tratamentos estudados, o aumento foi em média de $4,05 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos para cada kg de P_2O_5 adicionado ao solo.

Ao comparar a produtividade das culturas (trigo, milho e soja), observou-se variabilidades nos rendimentos, tanto na ausência do fertilizante em estudo (coeficiente de regressão "a"), como no aumento do rendimento por kg do fertilizante em estudo adicionado (coeficiente de regressão "b"). Esta variabilidade deve estar associada às diferenças nas características químicas e mineralógicas dos solos estudados, à eficiência de utilização do fertilizante adicionado, ao clima e ao histórico de manejo das áreas. Outros fatores que podem justificar estes resultados são o modo de adubação e as quantidades aplicadas que influenciam o efeito residual do P (Scholles et al., 1978; Yost et al., 1979; Rodrigues et al., 1985). Assim, o P adicionado a uma cultura continua a beneficiar as culturas dos anos subsequentes, este é o chamado efeito residual do P, que pode ser tanto maior quanto maior for a quantidade de P adicionada. Deve-se destacar que o efeito residual é maior logo após sua aplicação e vai diminuindo com o transcorrer do tempo.

Observa-se na maioria dos experimentos, a baixa resposta à adubação nos níveis de fertilidade criados com 100, 200 e 400 kg de P_2O_5 adicionados anteriormente, onde a maioria se enquadra numa classe alta e muita alta de fertilidade, evidenciando assim, o elevado efeito residual deste nutriente.

A baixa resposta das culturas em alguns locais deve-se, em parte, ao déficit hídrico durante a condução dos experimentos, ao histórico do manejo do solo e da adubação fosfatada empregadas nas áreas, ao modo de adubação dos tratamentos e aos níveis originais de fertilidade. Isso influenciou na escolha da função para ajuste dos dados, pois a resposta à aplicação do fertilizante, em muitos casos, foi linear.

Os rendimentos de grãos de milho e soja obtidos nos experimentos em parcelas testemunha do fertilizante em estudo (sem adubação fosfatada), são em média 4685 e 2213 kg ha⁻¹ para milho e soja, respectivamente. Estes valores são superiores aos rendimentos médios do Paraguai nas últimas safras, 2545 e 2020 kg ha⁻¹ para milho e soja, respectivamente (CAPECO e Ministério de Agricultura, 2005). Isso indica que, as áreas utilizadas para os experimentos são representativas, do estado de fertilidade dos solos da Região Oriental do Paraguai.

O trigo foi a cultura que menos respondeu, na média geral de todos os tratamentos com adição do adubo fosfatado, o aumento foi em média de 4,05 kg de grãos para cada kg de P_2O_5 adicionado (Tabela 10). O milho teve respostas intermediárias, e aumentou em média 4,74 kg de grãos para cada kg de P_2O_5 adicionado ao solo e a soja teve o maior aumento, em média 5,40 kg de grãos para cada kg de P_2O_5 adicionado ao solo. A soja demanda mais P_2O_5 para a produção de 1 tonelada de grãos do que necessitam as culturas de trigo e milho. Estes dados estão de acordo com Rajj et al. (1997), que demonstrou que as plantas inteiras, precisam de P_2O_5 nas quantidades de 36,6, 13,7 e 11,4 kg ha⁻¹ de grãos da soja, trigo e milho, respectivamente. A quantidade exportada de P_2O_5 pelos grãos também é maior para cultura da soja, se comparada às quantidades para o trigo e para o milho (Rajj, et al., 1997; Comissão, 2004).

4.3 Calibração de fósforo determinado pelo método Mehlich-1 para cada solo pesquisado

A calibração dos valores de fósforo dos experimentos determinado pelo método Mehlich-1 em amostras de solo dos tratamentos sem fósforo, com os rendimentos relativos das culturas trigo, milho e soja, sob sistema plantio direto foi obtida pela equação que melhor ajustou os dados (maior coeficiente de correlação). A calibração pode ser dividida basicamente em duas etapas, que são, segundo Evans (1987), Fixen & Grove (1990) e Sims (1999) as seguintes: a) a identificação de um teor crítico do nutriente acima do qual a probabilidade de resposta é muito pequena ou nula e, b) a dose estimativa da quantidade a ser adicionada do nutriente em estudo para se obter um rendimento esperado para cada faixa de fertilidade.

O teor crítico é um estado de fertilidade do solo em que acima deste, a probabilidade de resposta à aplicação do fertilizante é baixa, assim quando menor o teor do nutriente no solo em relação ao teor crítico estabelecido, maior será a probabilidade de resposta das culturas a adubação.

Na estimativa do teor crítico, o critério considerado é a resposta máxima da cultura à aplicação do nutriente, e o valor numérico é subjetivo, pois pode mudar com uso de funções alternativas. O valor do teor crítico utilizado nas tabelas de recomendação pode ser definido pelo cálculo econômico, determinando-se o ponto de máxima da função lucro, ou arbitrariamente, escolhendo-se um valor de rendimento relativo. Neste trabalho foi considerado como ponto de maior retorno econômicos aproximadamente 90% de rendimento relativo ou 90% da máxima eficiência técnica. O teor crítico foi estimado pelo cálculo do valor de X no valor de 90% de Y para a função estabelecida (Mielniczuk et al., 1969 a, b; Universidade..., 1973; Tabelas..., 1976; Manual..., 1981; Anghinoni & Volkweiss, 1984; Siqueira et al., 1987; Comissão..., 1989, 1995; Rajj et al., 1997).

Os resultados assim obtidos para fósforo nos solos amostrados na camada 0-10 cm de profundidade estão nas Tabelas 12 a 15. As equações de regressão que deram origem aos rendimentos relativos estão representadas nas Tabelas 3, 7 e 11.

TABELA 11. Local de condução do experimento, rendimento relativo do trigo após milho em função das doses de P₂O₅ aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2005.

Experimento	Fósforo no solo	Rendimento testemunha (sem P)	Rendimento Máximo (MET)*	Rendimento Relativo ⁽¹⁾
	--mg dm ⁻³ --	---kg ha ⁻¹ ---	----kg ha ⁻¹ ----	---%---
M 1	9,2	1672	2022	83
	12,7	1746	2075	84
	14,1	2040	2093	97
	17,9	1791	2035	88
	28,2	1638	1893	87
I 1	14,4	1735	1974	88
	15,6	1790	1932	93
	18,8	1743	1949	89
	20,4	1714	1984	86
	37,0	1611	1738	93
I 2	3,1	1790	2877	62
	6,4	2180	3184	68
	7,0	2623	3002	87
	9,4	2757	3010	92
	15,4	3026	3149	96
AP 2	6,9	2105	2824	75
	9,1	2284	2906	79
	11,9	2661	2661	100
	17,0	2741	2741	100
	31,4	2816	2816	100
PJC 1	4,6	405	773	52
	5,3	406	725	56
	8,0	598	736	81
	15,1	735	801	92
	21,3	786	860	91

* Máxima eficiência técnica

$$(1) \quad RR (\%) = \frac{\text{Rendimento da cultura na parcela testemunha (sem P)}}{\text{Rendimento máximo ou Máxima eficiência técnica da cultura}} \times 100$$

TABELA 12. Local de condução do experimento, faixas de fertilidade e rendimento relativo do trigo após soja em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2005.

Experimento	Fósforo no solo	Rendimento testemunha (sem P)	Rendimento Máximo (MET)*	Rendimento Relativo
	--mg dm ⁻³ --	---kg ha ⁻¹ ---	---kg ha ⁻¹ ---	---%---
		----- safra 2003 -----		
M 1	11,9	1466	1563	94
I 1	12,7	3602	3825	94
		----- safra 2004 -----		
	10,8	1867	2120	88
	14,9	1985	2188	91
M1	18,1	2210	1937	100
	24,4	2159	2171	99
	34,9	2202	1785	100
	14,1	2495	2863	87
	16,8	2438	2702	90
I 1	18,8	2740	2864	96
	23,4	2717	2792	97
	36,5	2463	2666	92
	3,3	1986	3016	66
	5,3	2305	3134	74
I 2	7,3	2620	3121	84
	9,2	2871	2877	100
	17,3	2910	2910	100
	7,1	1163	1907	61
	9,2	1359	1771	77
AP 1	11,5	1736	2035	85
	19,3	1833	1886	97
	33,1	1784	1784	100
	7,3	2172	2739	79
	9,3	2503	2840	88
AP 2	10,5	2766	2794	99
	18,8	2914	2731	100
	28,3	2700	2571	100
	4,8	541	741	73
	7,1	603	752	80
PJC 1	9,2	716	893	80
	12,8	854	912	94
	16,9	999	999	100

TABELA 13. Local de condução do experimento, faixas de fertilidade e rendimento relativo do milho em função das doses de P_2O_5 aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2005.

Experimento	Fósforo no solo	Rendimento testemunha (sem P)	Rendimento Máximo (MET)*	Rendimento Relativo ⁽¹⁾
	--mg dm ⁻³ --	---kg ha ⁻¹ ---	----kg ha ⁻¹ -----	---%---
M 1	11,3	3836	5112	75
	13,8	3893	4875	80
	14,4	4693	4693	100
	20,5	4938	4938	100
M 2	8,0	2946	4410	67
	7,8	4222	4961	85
	10,2	4190	4532	92
	13,5	4762	4885	97
I 1	12,1	5999	5999	100
	15,0	5932	5932	100
	16,8	6046	6046	100
	21,0	6555	6555	100
I 2	3,5	3344	4928	68
AP 2	7,9	8573	9864	87
PJC 1	5,2	3409	5013	68

* Máxima eficiência técnica

$$(1) \quad RR (\%) = \frac{\text{Rendimento da cultura na parcela testemunha (sem P)}}{\text{Rendimento máximo ou Máxima eficiência técnica da cultura}} \times 100$$

TABELA 14. Local de condução do experimento, faixas de fertilidade e rendimento relativo soja em função das doses de P₂O₅ aplicadas sob sistema plantio direto. Paraguai, 2005.

Experimento	Fósforo no solo	Rendimento testemunha (sem P)	Rendimento Máximo (MET)*	Rendimento Relativo ⁽¹⁾
	--mg dm ⁻³ --	---kg ha ⁻¹ ---	----kg ha ⁻¹ ----	---%---
M 1	12,0	1908	2300	83
	14,6	2083	2414	86
	16,1	2355	2371	99
	21,6	2597	2597	100
M 2	5,9	1326	2116	63
	8,1	1547	2103	74
	9,5	1749	2212	79
	10,6	1892	2292	83
I 1	12,8	2996	3207	93
	15,4	3402	3411	100
	16,3	2979	3136	95
	23,8	3211	2797	100
I 2	3,5	1239	2077	60
AP 1	7,6	2742	4165	66
AP 2	7,9	3518	4577	77
PJC 1	5,2	1761	2588	68

* Máxima eficiência técnica

$$(1) \quad RR (\%) = \frac{\text{Rendimento da cultura na parcela testemunha (sem P)}}{\text{Rendimento máximo ou Máxima eficiência técnica da cultura}} \times 100$$

No Brasil costuma-se utilizar o valor de 90% do rendimento relativo máximo com referência para a dose de máxima eficiência econômica, estabelecendo-se nesse ponto o teor crítico do nutriente (Mielniczuk et al., 1969 a, b; Universidade..., 1973; Tabelas..., 1976; Comissão..., 1981; Siqueira et al., 1987; Comissão..., 1989, 1995; Raij et al., 1997). Este valor de 90% de rendimento relativo ajustou-se bem as condições da Região Oriental do Paraguai e por isto foi utilizado neste trabalho.

A equação de Mitscherlich foi a que melhor se ajustou aos resultados experimentais (Figuras 12 a 18). Esta equação foi descrita por Raij (1981), que descreveu a lei dos retornos decrescentes, ou seja, com o aumento da quantidade do insumo aumenta a produtividade, porém reduz o incremento de produto pelo incremento de insumo chegando a uma quantidade máxima de produtividade.

A seguir são apresentadas as figuras que deram origem aos teores críticos de cada experimento. No caso do experimento Itapúa 1, foi feita uma estimativa uma vez que os dados não permitem determinar com precisão o teor crítico já que o solo apresentou teores altos do nutriente em estudo (possivelmente este seja menor do que 12 mg dm^{-3}) (Figura 14).

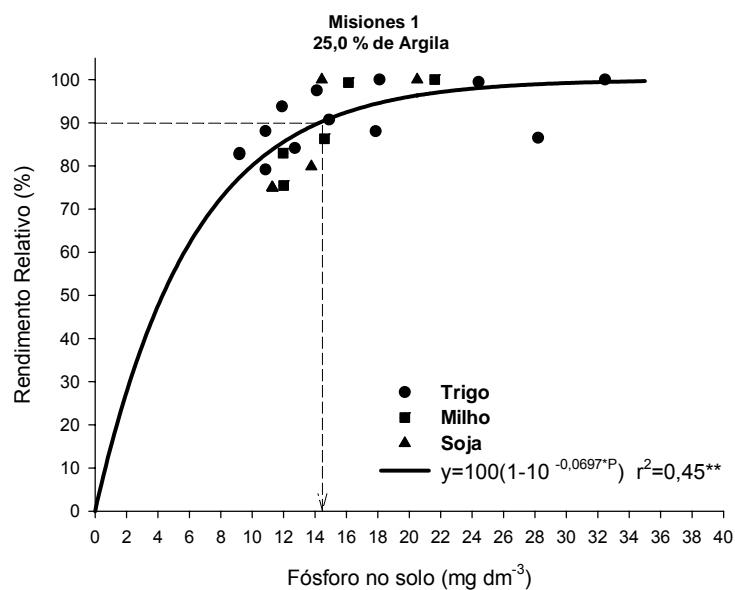


Figura 12. Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Misiones 1. ** Significativo ($P < 0,01$).

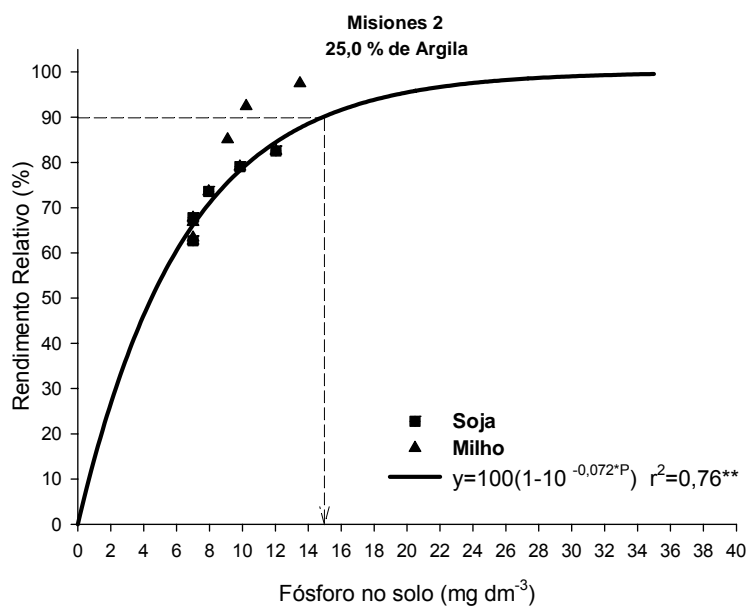


Figura 13. Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Misiones 2. ** Significativo ($P < 0,01$).

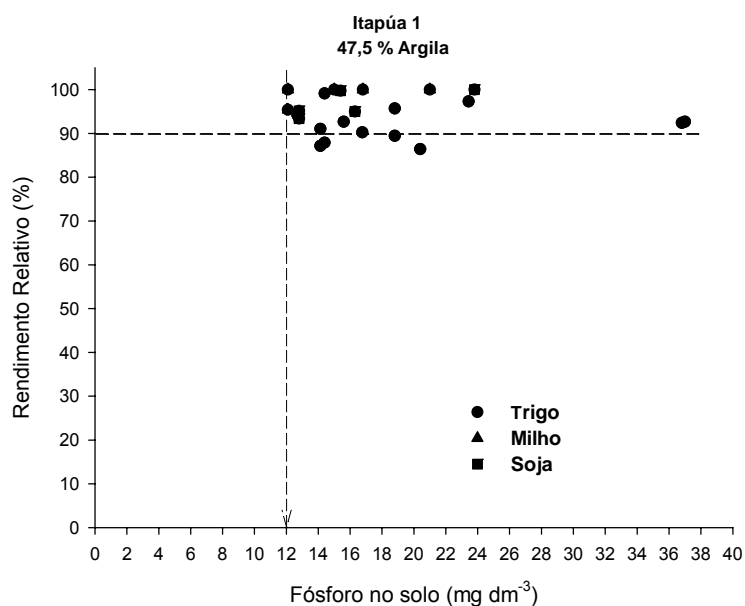


Figura 14. Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Itapúa 1.

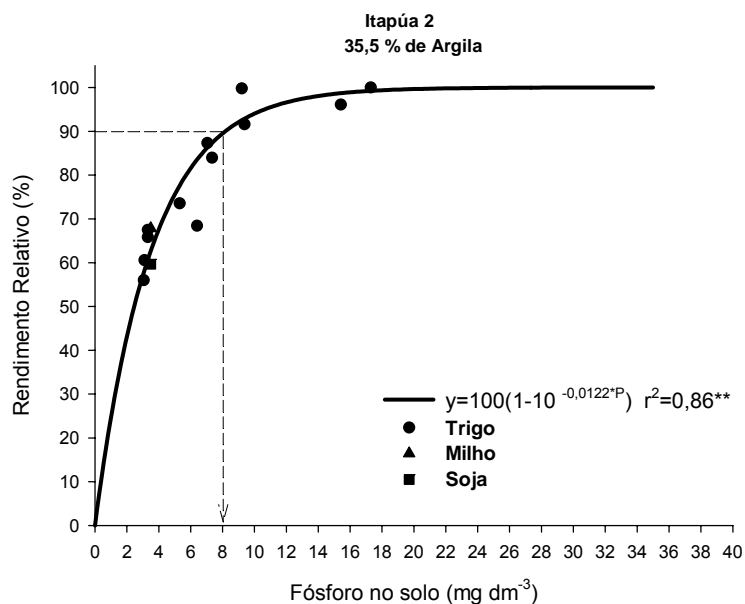


Figura 15. Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Itapúa 2. ** Significativo ($P < 0,01$).

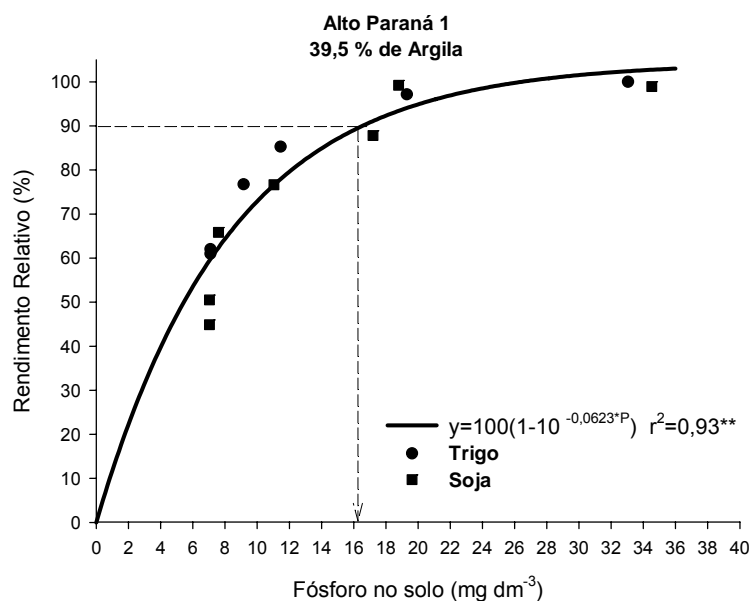


Figura 16. Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Alto Paraná 1. ****Significativo ($P < 0,01$).**

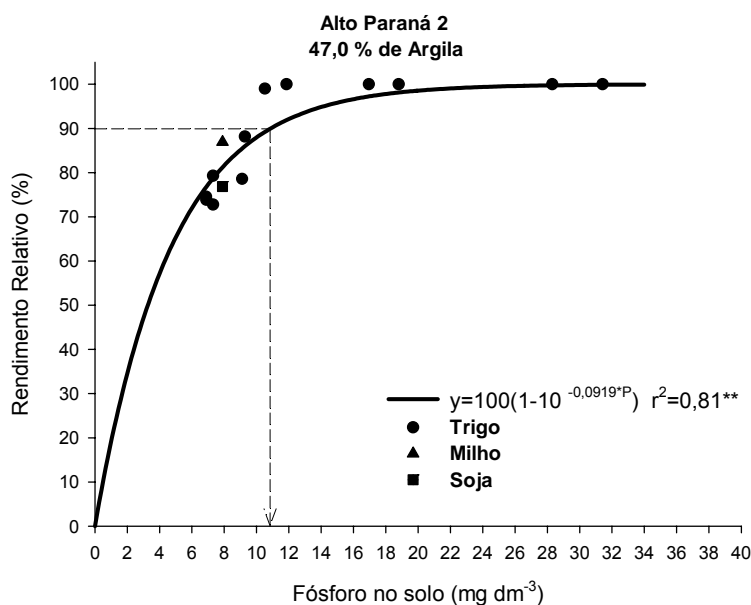


Figura 17. Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Alto Paraná 2. ****Significativo ($P < 0,01$).**

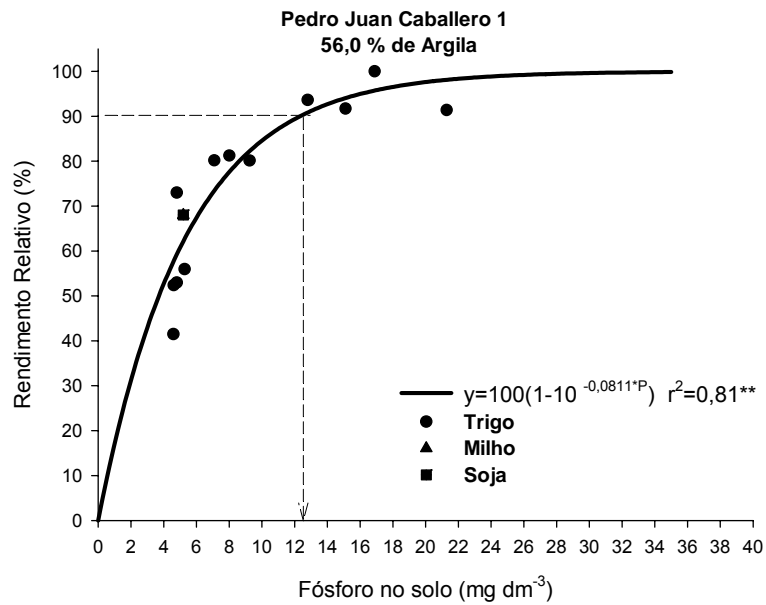


Figura 18. Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, em Pedro Juan Caballero 1. ** Significativo ($P < 0,01$).

4.4 Determinação do teor crítico de fósforo para o conjunto de solos investigados

A obtenção do teor crítico de fósforo no solo extraído pelo método de análise Mehlich-1 foi determinado a partir da equação exponencial Mitscherlich, que foi a que melhor se ajustou aos dados de rendimento relativo com os teores extraídos do solo.

O teor de argila do solo, devido a sua influência na extração do fósforo disponível às plantas pelo método Mehlich-1, é o principal fator considerado na elaboração das tabelas de recomendação de adubação fosfatada para os estados do RS e SC (Mielniczuk et al., 1969 a, b; Universidade..., 1973; Tabelas..., 1976; Manual..., 1981; Siqueira et al., 1987; Comissão..., 1989, 1995). A Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004), agruparam os solos em 4 classes texturais. De igual forma para os estados de Mato Grosso, Minas Gerais e Paraná (EMBRAPA Soja, 2005; Boletim de Pesquisa de Soja da Fundação MT, 2005).

Neste trabalho os solos investigados foram agrupados em apenas duas classes texturais, no entanto recomenda-se em futuros trabalhos de pesquisa no Paraguai incluir outros solos com textura diferente da utilizada no presente trabalho.

Com base nos dados experimentais, obtiveram-se dois teores críticos de fósforo no solo, determinado pelo método Mehlich-1, correspondendo as duas classes de textura dos solos estudados, de 210 a 400 g kg⁻¹ de argila determinou-se um teor crítico de 15 mg dm⁻³ e de 410 a 600 g kg⁻¹ de argila determinou-se um teor crítico de 12 mg dm⁻³, correspondendo a um rendimento relativo de 90% (Figura 19 e 20). Segundo a Comissão (2004), o nível crítico de P no solo para a classe de 210 a 400 g kg⁻¹ de argila é de 12 mg dm⁻³ e para a classe de 410 a 600 g kg⁻¹ é de 9 mg dm⁻³. No entanto, os valores de teor críticos encontrados nos solos do Paraguai aproximam-se desses valores, sendo 3 mg dm⁻³ mais elevados para as mesmas classes utilizadas pela Comissão.... (2004). Já para a região de Mato Grosso, num trabalho realizado recentemente pela Fundação MT (Boletim de Pesquisa de Soja, 2005), determinaram para as classes de 210 a 400 g kg⁻¹ e de 410 a 600 g kg⁻¹ de argila, um teor crítico de 18 mg dm⁻³ e 12 mg dm⁻³, respectivamente, desta forma

confirmando o resultado da classe mais argilosa encontrado neste trabalho, que foi igual a 12 mg dm^{-3} .

Sch lindwein (2003) encontrou o teor crítico de fósforo nas camadas de 0-10 cm e 0-20 cm de profundidade, para o método Mehlich-1, maior em solos sob SPD do que sob SCC (Comissão..., 1995, 2004). Os resultados de Sch lindwein & Anghinoni (2000) mostram uma concentração de fósforo aproximadamente 50% maior na camada 0-10 cm do que na 0-20 cm de profundidade, em experimentos de longa duração cultivados sob SPD.

Os resultados obtidos nesta pesquisa, mostram que o teor crítico de fósforo no solo para o método Mehlich-1, para rendimentos de aproximadamente 90% do rendimento máximo das culturas cultivadas sob SPD, é maior do que o teor crítico estabelecido pela Comissão... (2004), com base nas calibrações realizadas entre 1969 e 1980 (Sch lindwein, 2003) sob SCC. Isto pode ser devido ao maior potencial de rendimento das culturas, ao melhoramento genético e/ou à seleção de cultivares visando a aumentos de produtividade. Portanto, os valores encontrados para os solos investigados foram 25 e 30% maiores, respectivamente, para solos da primeira e segunda classe textural.

Para determinação destes teores foram utilizados os dados das três culturas em estudo dos experimentos Misiones 1, Misiones 2 e Alto Paraná 1, para 210 a 400 g kg^{-1} de argila e Itapúa 1, Alto Paraná 2 e Pedro Juan Caballero 1 para 410 a 600 g kg^{-1} de argila. O experimento Itapúa 2 (355 g kg^{-1} de argila), teria que ser enquadrado na classe 2, mas teve um comportamento similar a solos mais argilosos, apresentando um teor crítico de 8 mg dm^{-3} (Figura 15). A EMBRAPA Cerrados (Cerrado, correção do solo e adubação, 2004) e a EMBRAPA Soja (Sistemas de Produção, 2004) na última recomendação, determinam os níveis críticos de P iguais a 4, 8, 14 e 18 mg dm^{-3} para os solos de textura muito argilosa ($>600 \text{ g kg}^{-1}$ de argila), argilosa (360 a 600 g kg^{-1} de argila), média (160 a 350 g kg^{-1} de argila) e arenosa ($\leq 150 \text{ g kg}^{-1}$ de argila), respectivamente para o Cerrado e o Paraná. No entanto, o experimento Itapúa 2 se enquadraria exatamente como um solo argiloso nesta classificação do Cerrados e do Paraná, com 8 mg dm^{-3} de P. Isto requer dos institutos de pesquisa regional do país, determinar a classe mineralógica dos solos da região e estudar mais detalhadamente o comportamento do P nestes solos.

Sabe-se que nesta região existe uma transição de solos e estão entre os solos mais degradados do país, pelo uso irracional dos mesmos.

Quando os solos foram separados por classes de textura, os coeficientes de correlação aumentaram (Figura 19 e 20) em relação à obtida com todos os solos juntos (Figura 21).

Mielniczuk et al. (1969, 1971) separaram em 2 classes os solos de sequeiro do RS com diferentes teores críticos, para a classe argiloso encontraram o valor 8 mg dm^{-3} , enquanto para a classe franco argiloso a arenoso encontraram 20 mg dm^{-3} . Os autores reforçaram a necessidade de avaliar com maior detalhe os diversos tipos de solos. A separação dos solos argilosos dos franco argilosos a arenosos, deve-se a maior reserva de fósforo (não expresso pela análise, mas lentamente disponível para a cultura) nos solos argilosos, resultando em um teor crítico menor. No caso dos solos de textura franco argilosa a arenosa, o nível crítico proposto era 18 mg dm^{-3} para a cultura do trigo, segundo Mielniczuk et al. (1969b). Por outro lado, o valor de 18 mg dm^{-3} para a textura de 200 a 400 g kg^{-1} de argila, foi utilizado como nível crítico até 1987 (Mielniczuk et al., 1969a, b; Universidade..., 1973; Tabelas..., 1976; Manual..., 1981; Siqueira, 1987; Siqueira et al., 1987). A partir da recomendação de Siqueira et al. (1987) foi adotado o valor de 14 mg dm^{-3} para uma textura de 260 a 400 g kg^{-1} de argila, mantida até a recomendação da Comissão (1995), valor próximo a encontrado neste trabalho.

A recomendação do Paraguai proposta por Fatecha (1999), independe da classe textural para todos os solos da região oriental e o teor médio é 12 mg dm^{-3} , calibrado com o método Bray. Neste trabalho, este valor corresponde ao teor crítico proposto para solos com textura de 410 a 600 g kg de argila (Figura 19), ou mesmo quando todos os solos foram reunidos independente da textura (Figura 21), o que mais uma vez confirma os dados desta pesquisa.

O rendimento médio das culturas tem aumentado ao longo dos anos nas lavouras no Paraguai (CAPECO, 2005; Ministério de Agricultura, 2005) e no RS (Emater/RS, 2003; IBGE, 2003), conseqüentemente pode ser necessário um teor crítico de nutrientes maior do que o estabelecido anteriormente por Fatecha (1999). Assim, a quantidade de fertilizante a aplicar para um rendimento de 90% do máximo também seria aumentada.

Sch lindwein (2003), na calibração do método Mehlich 1 encontrou um nível crítico de P no solo de 10,5, 19,9 e 30,8 mg dm^{-3} , para as classes 1 ($>550 \text{ g kg}^{-1}$), 2 ($410\text{-}550 \text{ g kg}^{-1}$) e 3+4 ($110\text{-}400 \text{ g kg}^{-1}$) respectivamente, na camada de 0-10 cm de profundidade, para o mesmo método. Portanto, este autor encontrou também um maior teor crítico em solos sob SPD do que sob SCC (Comissão..., 1995, 2004).

Sugere-se que futuramente o cálculo econômico para comparar com os teores críticos encontrados neste trabalho.

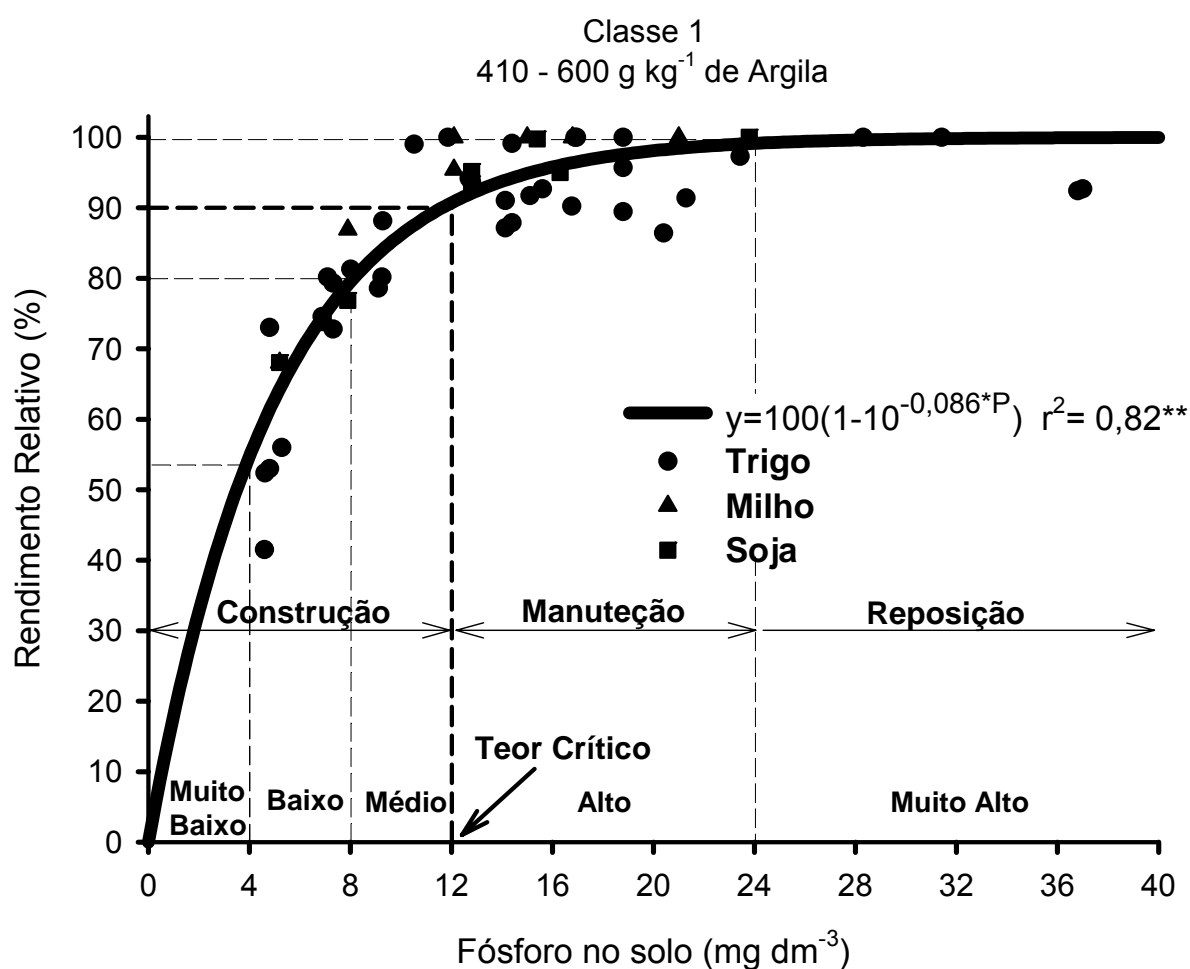


FIGURA 19. Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, Classe 1 (Experimentos Itapúa 1, Alto Paraná 2 e Pedro Juan Caballero 1). ** Significativo ($P < 0,01$).

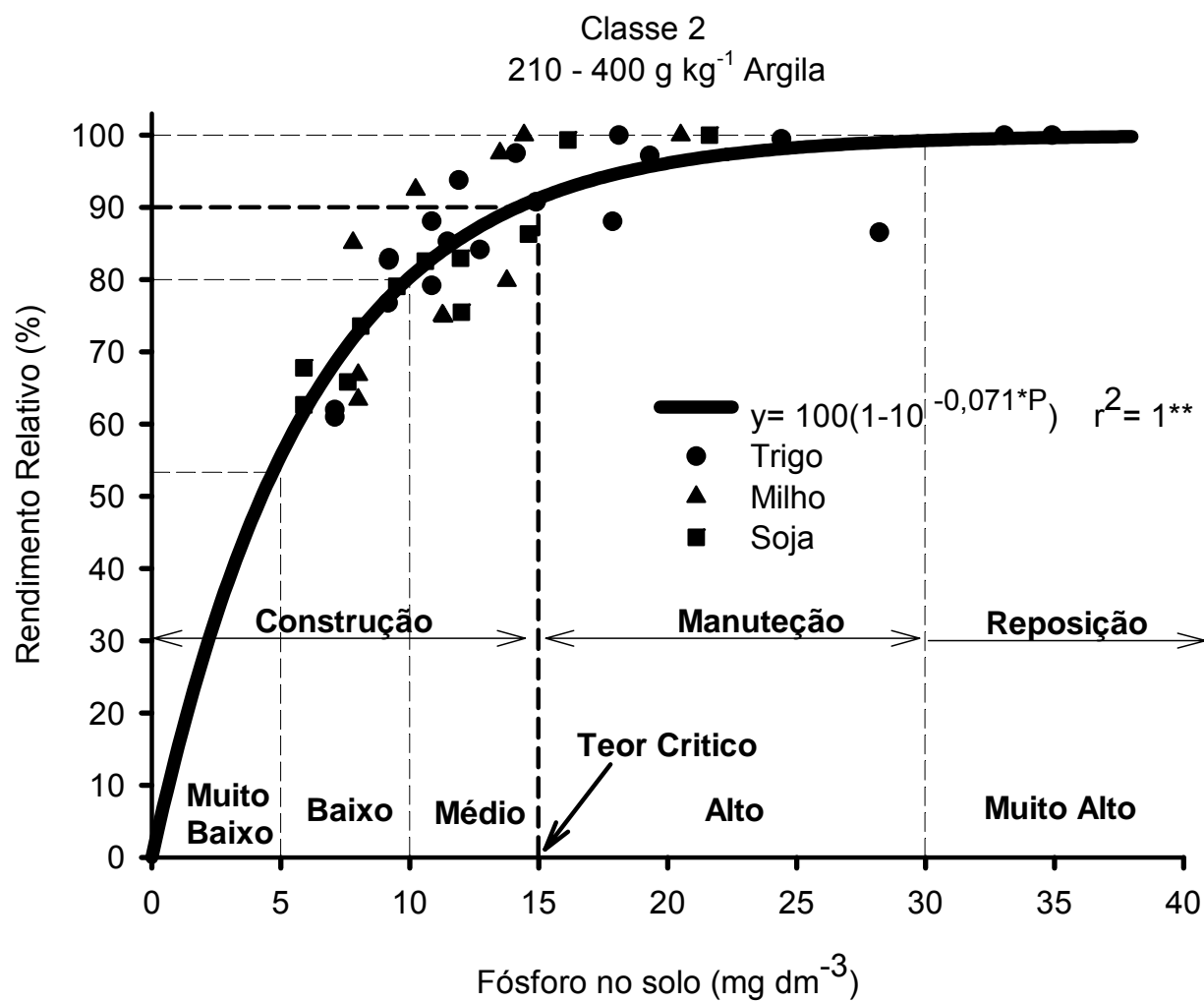


FIGURA 20. Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, Classe 2 (experimentos Misiones 1, Misiones 2 e Alto Paraná 1). ** Significativo ($P < 0,01$).

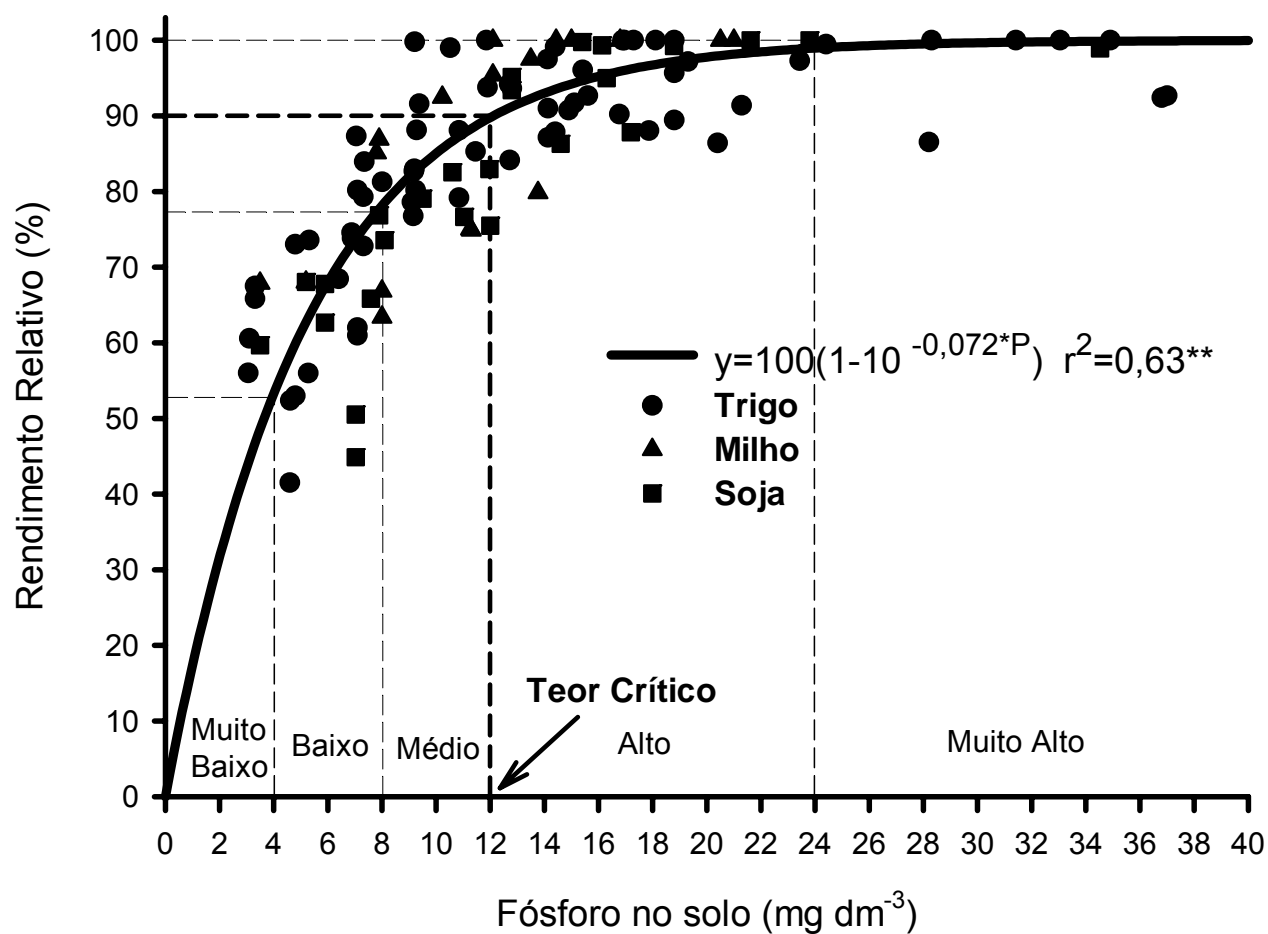


FIGURA 21. Teor crítico de fósforo no solo, determinado por Mehlich-1, na média de rendimentos de trigo, milho e soja sob sistema plantio direto, amostrado na profundidade de 0-10 cm, Todos os experimentos (Misiones 1, Misiones 2, Itapúa 1, Itapúa 2, Alto Paraná 1, Alto Paraná 2 e Pedro Juan Caballero 1). ** Significativo ($P < 0,01$).

4.5 Determinação de faixas de fertilidade do solo para o nutriente fósforo

Uma vez definido o teor crítico de fósforo, para o método de análise escolhido e a profundidade de amostragem, pode-se detalhar melhor cada porção da curva, estabelecendo-se as faixas de fertilidade. As faixas de fertilidade podem ser subdivididas a partir do rendimento relativo, como foi estabelecido nas Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo (Raij et al., 1997), ou em teores no solo em quantidades eqüidistantes, tal como estabelecido no RS (Mielniczuk et al., 1969 a, b; Universidade..., 1973; Tabelas..., 1976; Manual..., 1981; Siqueira et al., 1987; Comissão..., 1989, 1995). Neste trabalho optou-se por estabelecer faixas de fertilidade do solo com valores de teor no solo que facilitassem a divisão em faixas eqüidistantes, denominadas de muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto (Tabela 15). A partir da determinação do teor crítico de P no solo pela equação de Mitcherlich, ajustou-se o valor encontrado para 12 mg dm^{-3} (classe 1) e 15 mg dm^{-3} (classe 2), representando o limite superior da classe “médio”, sendo este dividido por três para obter classes eqüidistantes, chamadas “muito baixo”, “baixo” e “médio” e multiplicado por dois para obter o limite entre as classes “alto” e “muito alto”. As Tabelas 16 e 17 descrevem as faixas de disponibilidade de P para as duas classes texturais do Paraguai.

TABELA 15. Interpretação do teor de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila.

Interpretação	Classe de solo conforme o teor de argila ⁽¹⁾	
	1	2
	-----mg dm ⁻³ -----	
Muito baixo	≤ 4,0	≤ 5,0
Baixo	4,1 - 8,0	5,1 - 10
Médio	8,1 - 12,0	10,1 - 15,0
Alto	12,1 - 24,0	15,1 - 30,0
Muito alto	> 24	> 30

⁽¹⁾ Classe 1 de 410 - 600 g kg⁻¹; Classe 2 de 210 - 400 g kg⁻¹

TABELA 16. Classes de disponibilidade de P para as culturas, teor de P extraível por Mehlich-1 em cada faixa, rendimento relativo esperado e probabilidade de resposta das culturas à aplicação de fertilizantes fosfatados, Paraguai 2005.

Classe 1	P Mehlich-1 (mg dm ⁻³)	RR ⁽¹⁾	Probabilidade de resposta
Muito baixo	≤ 4,0	Menor 55%	Alta
Baixo	4,1 - 8,0	56-80%	Média
Médio	8,1 - 12,0	81-90%	Baixa
Alto	12,1 - 24,0	90-100%	Muito baixa
Muito alto	> 24	100%	Inexistente ou casual

⁽¹⁾RR = rendimento relativo

TABELA 17. Classes de disponibilidade de P para as culturas, teor de P extraível por Mehlich-1 em cada faixa, rendimento relativo esperado e probabilidade de resposta das culturas a aplicação de fertilizantes fosfatados. Paraguai 2005.

Classe 2	P Mehlich-1 (mg dm ⁻³)	RR	Probabilidade de resposta
Muito baixo	≤ 5,0	Menor 55%	Alta
Baixo	5,1 - 10	56-80%	Média
Médio	10,1 - 15,0	81-90%	Baixa
Alto	15,1 - 30,0	90-100%	Muito baixa
Muito alto	> 30	100%	Inexistente ou casual

4.6 Construção de níveis de fósforo sob sistema plantio direto.

Neste item são apresentados os dados de elevação dos níveis de fósforo sob SPD submetido a doses de adubação fosfatada nos diferentes solos da Região Oriental do Paraguai. Com eles foram calculadas as necessidades em kg de P_2O_5 ha^{-1} para elevar 1 mg dm^{-3} de P no solo e a partir destes valores estimar a necessidade de P_2O_5 para correção do solo até um nível de suficiência para as plantas (teor crítico).

Observa-se que em todos os solos estudados houve um aumento nos teores de fósforo no solo com o aumento das doses de P_2O_5 aplicadas (Figuras 22, 23, e 24). Isso se deve ao fato de quando adiciona-se P ao solo este induz um aumento no P-sólido e também no P-solução. O aumento no P-solução será tanto maior quanto for a quantidade de P adicionado, atingindo um máximo. Este máximo é chamado de capacidade de adsorção máxima de P sendo característica de cada solo (Anghinoni & Bissani, 2004).

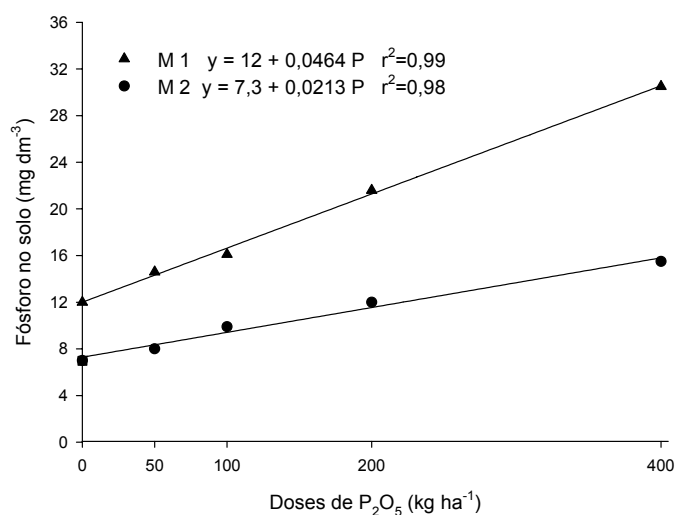


FIGURA 22. Teor de fósforo no solo extraído por Mehlich-1 em função da aplicação de diferentes doses de P_2O_5 : Experimentos Misiones 1 (M1) e Misiones 2 (M2) possuem textura de 250 g kg^{-1} . Paraguai, 2005.

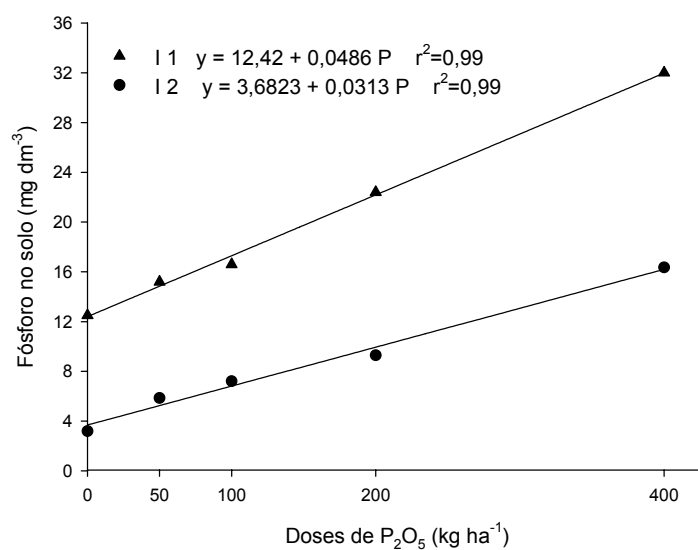


FIGURA 23. Teor de fósforo no solo extraído por Mehlich-1 em função da aplicação de diferentes doses de P₂O₅. Experimentos Itapúa 1 (I1), possui 475 g kg⁻¹ de argila e Itapúa 2 (I2) possui 360 g kg⁻¹ de argila. Paraguai, 2005.

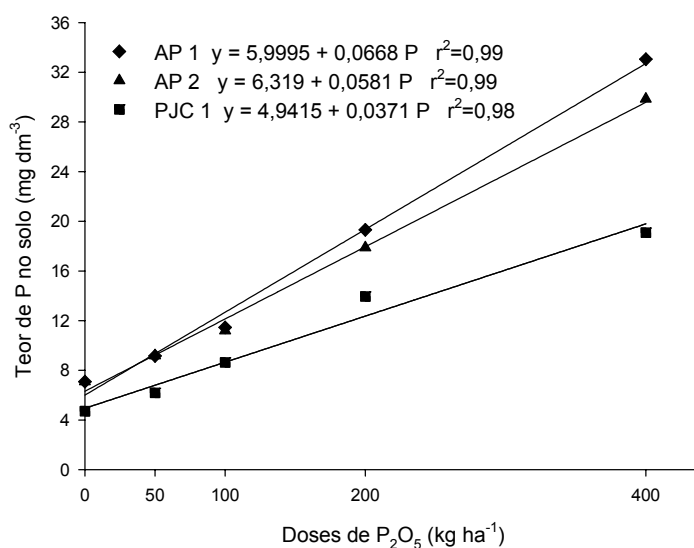


FIGURA 24. Teor de fósforo no solo extraído por Mehlich-1, em função da aplicação de diferentes doses de P₂O₅, Experimentos Alto Paraná (AP1), possui 395 g kg⁻¹ de argila, Alto Paraná 2 (AP2) possui 470 g kg⁻¹ de argila e Pedro Juan Caballero (PJC1) possui 560 g kg de argila⁻¹. Paraguai, 2005.

Observa-se que, embora, os solos tenham textura semelhante na região de Misiones (Figura 22) eles se comportam de forma diferenciada quanto à elevação dos teores de P no solo. Nos solos mais argilosos o comportamento também foi similar entre eles (Figura 23 e 24). Convém destacar que não houve a incorporação do P aplicado ao solo, a não ser pela semeadora, depois de feita a adubação a lanço. Assim, o efeito da textura foi pequeno.

Na Figura 22, observou-se que para cada 100 kg de P_2O_5 aplicado nos dois solos (M1 e M2), houve acréscimos de $4,6 \text{ mg dm}^{-3}$ e $2,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo, respectivamente. Assim, a elevação do teor de P no M2 foi menos da metade do M1. Nos solos I1 e I2 (Figura 23), para cada 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 aplicados, houve acréscimos de $4,8 \text{ mg dm}^{-3}$ e $3,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo, respectivamente. Assim no I1 apresentou incremento de 35% no teor de P superior ao I2. Na Figura 24 observou-se que para cada 100 kg de P_2O_5 aplicados nos solos AP1, AP2 e PJC1 houve acréscimos de 6,7, 5,8 e $3,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo, respectivamente, sendo que no PJC1 o valor foi 45 e 36% inferior ao AP1 e AP2, respectivamente.

Nos experimentos M1, I1, AP1 e AP2 o comportamento da criação dos níveis foi muito similar, e superiores aos de M2, I2 e PJC1. Este fato pode ser explicado parcialmente, pelo teor inicial de P no solo, onde o primeiro grupo de solos (M1, I1, AP1 e AP2) partem de um teor inicial maior, ou seja, seus sítios mais ávidos pela adsorção de P já se apresentam mais preenchidos que nos experimentos M2, I2 e PJC, que possuíam teores iniciais baixos e, conseqüentemente, apresentaram uma menor resposta à construção dos níveis de P no solo. Assim, boa parte do fósforo adicionado ao solo se liga aos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, ficando adsorvido aos mesmos e não expressando um aumento tão acentuado dos níveis de fósforo no solo.

Por tanto, os experimentos M1, I1, AP1 e AP2, expressam uma maior elevação nos teores de fósforo no solo por unidade de P_2O_5 aplicado do que os experimentos M2, I2 e PJC1.

Outro fato importante a levar em consideração neste estudo é o histórico e o manejo de adubação fosfatada das áreas, onde os experimentos M2, I2 e PJC1, provêm de áreas de manejo inadequado do solo ou sem histórico de adubação fosfatada, ou seja, ao longo dos anos foram aplicadas doses muito baixas ou quase

não receberam fósforo, mantendo o fósforo muito pouco disponível. Em contraste as áreas dos experimentos M1, I1, AP1 e AP2 que vêm sendo conduzidas com SPD a mais de 12 anos em média e com uma utilização racional de adubos fosfatados.

Devido a isto os solos das áreas estudadas foram separados em dois grupos, com histórico de adubação e sem histórico de adubação (Figura 25) visando estimar a quantidade de P_2O_5 a ser adicionado para elevar 1 mg dm^{-3} no solo, conforme pode ser observado nas Tabelas 18 e 19.

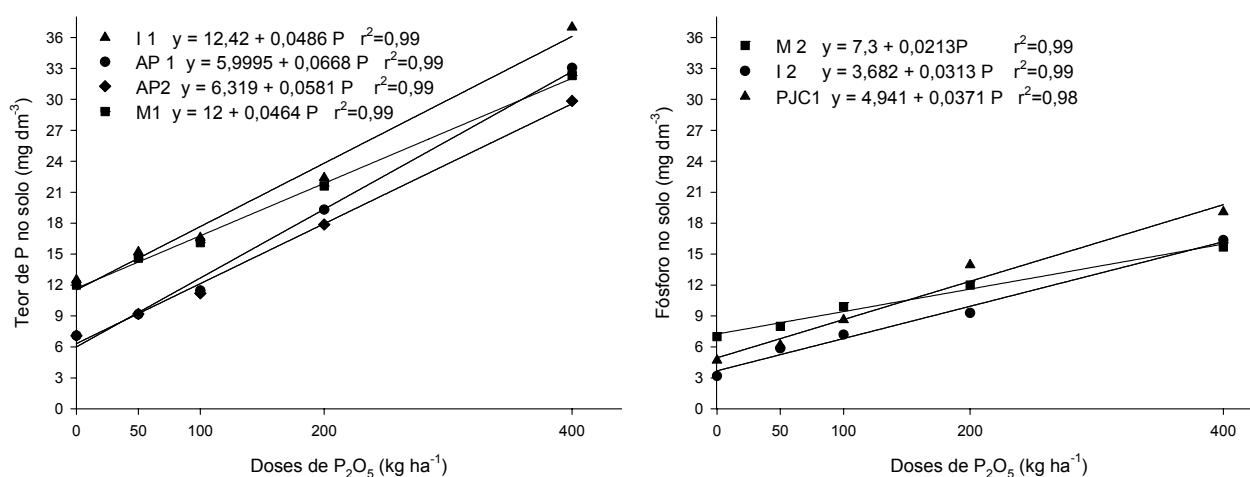


FIGURA 25. Teor de fósforo no solo extraído por Mehlich-1 em função da aplicação de doses de P_2O_5 nos experimentos com histórico de adubação fosfatada, à esquerda, (M1, I1, AP1 e AP2) e sem histórico de adubação fosfatada, à direita, (M2, I2 e PJC1). Paraguai, 2005.

Observa-se que para os solos sem histórico de adubação, houve um aumento médio de $3,0 \text{ mg dm}^{-3}$ para cada 100 kg de P_2O_5 aplicados (Figura 25). Enquanto, para os solos com histórico de adubação houve um aumento médio, $5,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de P para cada 100 kg de P_2O_5 . Portanto, este último incremento foi 46% superior que ao anterior.

Observou-se que os solos mesmo com diferente textura variando de 250 g kg⁻¹ a 560 g kg⁻¹ de argila apresentaram comportamento semelhante quanto à criação de níveis de fósforo, quando foram separados em solos com e sem histórico de adubação fosfatada.

Estes resultados sugerem que a maior ou menor resposta no incremento dos níveis de fósforo no solo induzida por taxas de adubação fosfatada aplicada a lanço, foi influenciada mais pelo teor inicial de fósforo no solo e o histórico de adubações das áreas, do que pelos teores de argila presentes em cada solo (Tabelas 18 e 19).

TABELA 18. Quantidade necessária de P₂O₅ em kg ha⁻¹ para elevar 1 mg dm⁻³ de P em solos com histórico de adubação fosfatada sob SPD. Paraguai, 2005.

Experimento	Teor argila --g kg ⁻¹ --	r ²	Equação	Necessidade de P ₂ O ₅ para elevar 1 mg dm ⁻³ de P -----Kg ha ⁻¹ -----
M 1	250	0,99	Y = 12,0 + 0,046 P	21,6
I 1	470	0,99	Y = 12,4 + 0,048 P	20,6
AP 1	395	0,99	Y = 5,99 + 0,067 P	15,0
AP 2	470	0,99	Y = 6,32 + 0,058 P	17,2
Media	396	0,99	Y = 9,18 + 0,055 P	18,6

Nota-se que são necessários em média 18,6 kg de P₂O₅ para elevar 1 mg dm⁻³ nos experimentos conduzidos com histórico de adubação (Tabela 18). No entanto, se estes solos forem separados em duas classes texturais, de 250 a 400 g kg⁻¹ de argila (M1 e AP1) e 410 a 600 g kg⁻¹ de argila (I1 e AP2) observa-se que os solos de maior teor de argila precisariam da adição de 18,9 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e os de menor teor de 18,3 kg de P₂O₅ por ha⁻¹ para elevar 1 mg dm⁻³ no solo. A diferença é menos de 1 kg de P₂O₅ em função da classe textural.

TABELA 19. Quantidade adicionada de P_2O_5 em $kg\ ha^{-1}$ para elevar $1\ mg\ dm^{-3}$ de P em solos sem histórico de adubação fosfatada sob SPD. Paraguai, 2005.

Experimento	Teor argila --g kg ⁻¹ --	r ²	Equação	Necessidade de P_2O_5 para elevar $1\ mg\ dm^{-3}$ de P -----Kg ha ⁻¹ -----
M 2	250	0,99	$Y = 7,30 + 0,021 P$	46,9
I 2	355	0,99	$Y = 3,68 + 0,031 P$	31,9
PJC 1	560	0,98	$Y = 4,94 + 0,037 P$	27,0
Media	380	0,99	$Y = 5,20 + 0,030 P$	35,3

Através da Tabela 19 observa-se que são necessários em média, 35,3 kg de P_2O_5 para elevar $1\ mg\ dm^{-3}$ nos experimentos conduzidos sem histórico de adubação (M2, I2 e PJC1). Novamente o efeito da textura na criação dos níveis foi pequeno. Efetuando-se o raciocínio de separar em duas classes texturais, de 250 a 400 $g\ kg^{-1}$ de argila (M2 e I2) e 410 a 600 $g\ kg^{-1}$ de argila (PJC1), constata-se que os solos de menor teor de argila, necessitam 39,4 kg de $P_2O_5\ ha^{-1}$ e o de maior teor de argila, necessita 27,0 kg de $P_2O_5\ ha^{-1}$ para elevar $1\ mg\ dm^{-3}$ no solo. Uma diferença de 31,5 % entre a quantidade de P_2O_5 requerida para elevação dos níveis no solo. Este resultado não era esperado, uma vez que com o aumento do teor de argila pressupõem-se uma maior necessidade de P_2O_5 para elevação do teor de P no solo. Este fato, provavelmente deve-se ao reduzido número de solos trabalhados nesta pesquisa. Assim, especula-se que outros fatores de manejo ao longo dos anos possa estar influenciando os resultados e interferindo no efeito da textura.

Como média geral de todos os experimentos conduzidos, observa-se que são necessários 27 kg de $P_2O_5\ ha^{-1}$ para elevar $1\ mg\ dm^{-3}$ de P no solo.

Desta forma, fica evidenciado com estes resultados, a pouca influência do teor de argila na elevação do fósforo no solo em áreas sob plantio direto e com histórico de adubação, e por outro lado, a importância do teor inicial de P de cada solo (Figura 26).

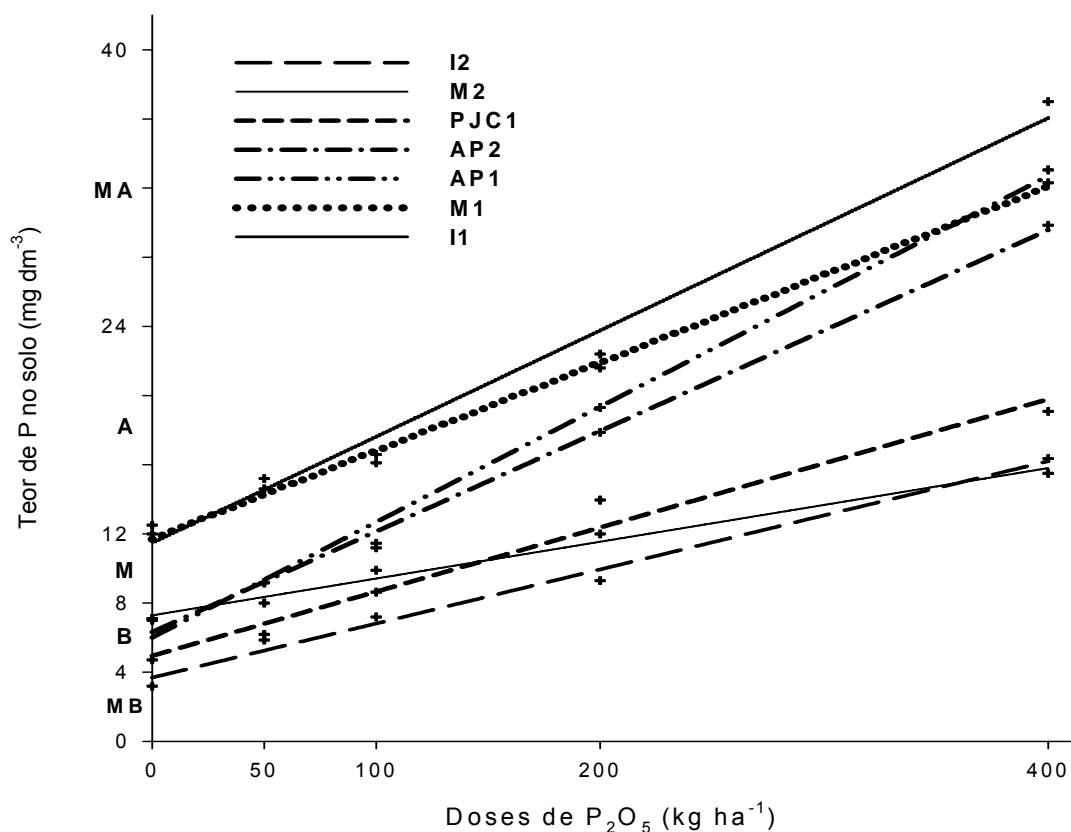


Figura 26. Incremento do teor de fósforo no solo extraído por Mehlich-1 em função de doses de P₂O₅ aplicado. Faixas de fertilidade do solo: Muito Baixo (MB), Baixo (B), Alto (A) e Muito Alto (MA). Paraguai, 2005.

Nesta figura observa-se que a maioria dos experimentos sob SPD (M2, I2, AP1, AP2 e PJC1) partem de um teor inicial de fertilidade baixo (B) com respostas lineares à criação dos níveis de P. Já os experimentos de AP1 e AP2, que possuíam teores de fósforo iniciais similares a M2 e maiores em comparação a I2 e PJC1, apresentaram uma maior resposta na construção dos níveis de P ao aumento nas doses de P₂O₅ aplicadas ao solo. Possivelmente, este comportamento se deva ao maior preenchimento prévio ou pré-existente dos sítios de adsorção de fósforo e a partir disto, o P₂O₅ aplicado será adsorvido com menor energia resultando em uma elevação mais rápida nos teores de P no solo por unidade de P₂O₅ aplicado.

Estes resultados indicam que existe uma fase inicial de adoção do SPD no qual a construção de níveis de P exige uma maior quantidade de adubo fosfatado.

Porém, com o transcorrer dos anos a saturação dos sítios mais ávidos por P permite que a construção dos níveis ocorra de forma mais rápida e intensa. Além dos aspectos relacionados à química do solo não devem ser desprezados outros relacionados a atividade biológica, incremento da MO, ciclagem de nutrientes e de redução das perdas de P. Este fato é relevante e merece destaque, pois já não são raros casos de produtores que mantêm a mesma dose de P sob plantio direto por longo período de tempo resultando em teores superiores a 40 mg dm^{-3} de P no solo.

Conseqüentemente, a textura e a concentração de óxidos de Fe e Al exercerão papel decisivo na disponibilidade deste nutriente, sob sistemas com revolvimento do solo. Sob SPD, os fertilizantes são adicionados na superfície, sem revolvimento do solo, o que aliado à deposição dos resíduos vegetais também na superfície, favorece sua ciclagem nessa camada do solo, diminuindo as perdas de P e determinando seu acúmulo na camada superficial (Muzilli, 1983). Nesta camada sua sorção é menor (Guertal et al., 1983), causada pela saturação dos sítios de adsorção e pela diminuição da energia de ligação do fosfato com os colóides do solo, propiciando aumento do P em formas mais lábeis. Portanto, teoriza-se que a concentração superficial de P pode favorecer a saturação dos sítios aumentando a disponibilidade, e neste caso a textura e a concentração de óxidos de Fe e Al terão menor influencia na disponibilidade deste nutriente às plantas.

4.6.1. Aplicação de P_2O_5 nos diferentes níveis de fertilidade construídos.

Neste item são apresentadas as necessidades de P_2O_5 para atingir o teor crítico para cada solo investigado.

Para cada solo foi calculada uma equação de incremento do teor de P_2O_5 no solo em função das doses 0, 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 aplicadas na adubação de manutenção das culturas.

A partir das equações foram calculadas as necessidades para atingir o teor crítico naqueles solos que se encontravam com teor inicial abaixo deste.

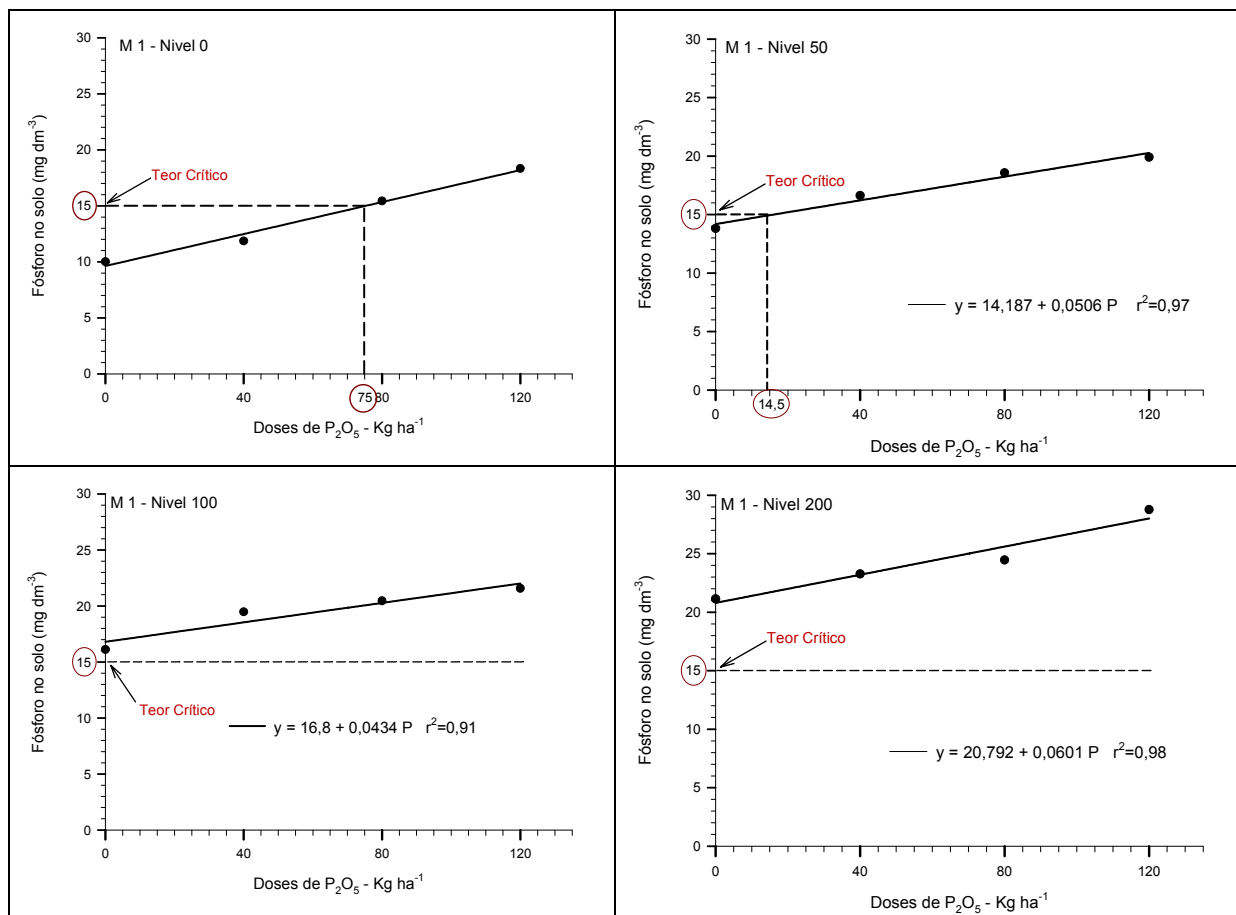


FIGURA 27. Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P₂O₅ nos diferentes níveis criados, experimento Misiones 1 (M1). Paraguai 2005.

Observa-se na Figura 27, que no nível 0 com teor inicial de 9,6 mg dm⁻³ de P no solo (faixa baixa de fertilidade) foram necessários 75 kg ha⁻¹ para atingir o teor crítico, já no nível 50 com um teor inicial de 14,2 mg dm⁻³ (faixa média de fertilidade) a necessidade diminui para 14,5 kg ha⁻¹. A partir do nível 100 e 200 (faixa alta de fertilidade) não foram necessários a adição da dose de manutenção para atingir o teor crítico, pois o teor de P no solo já encontrava-se acima deste. Nota-se que a medida que aumenta o teor inicial do P no solo, a necessidade de adição do adubo diminui para atingir o teor crítico.

Na condição estudada, o experimento M1, aumentou em média, 5,6 mg dm⁻³ de P no solo, para cada 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados.

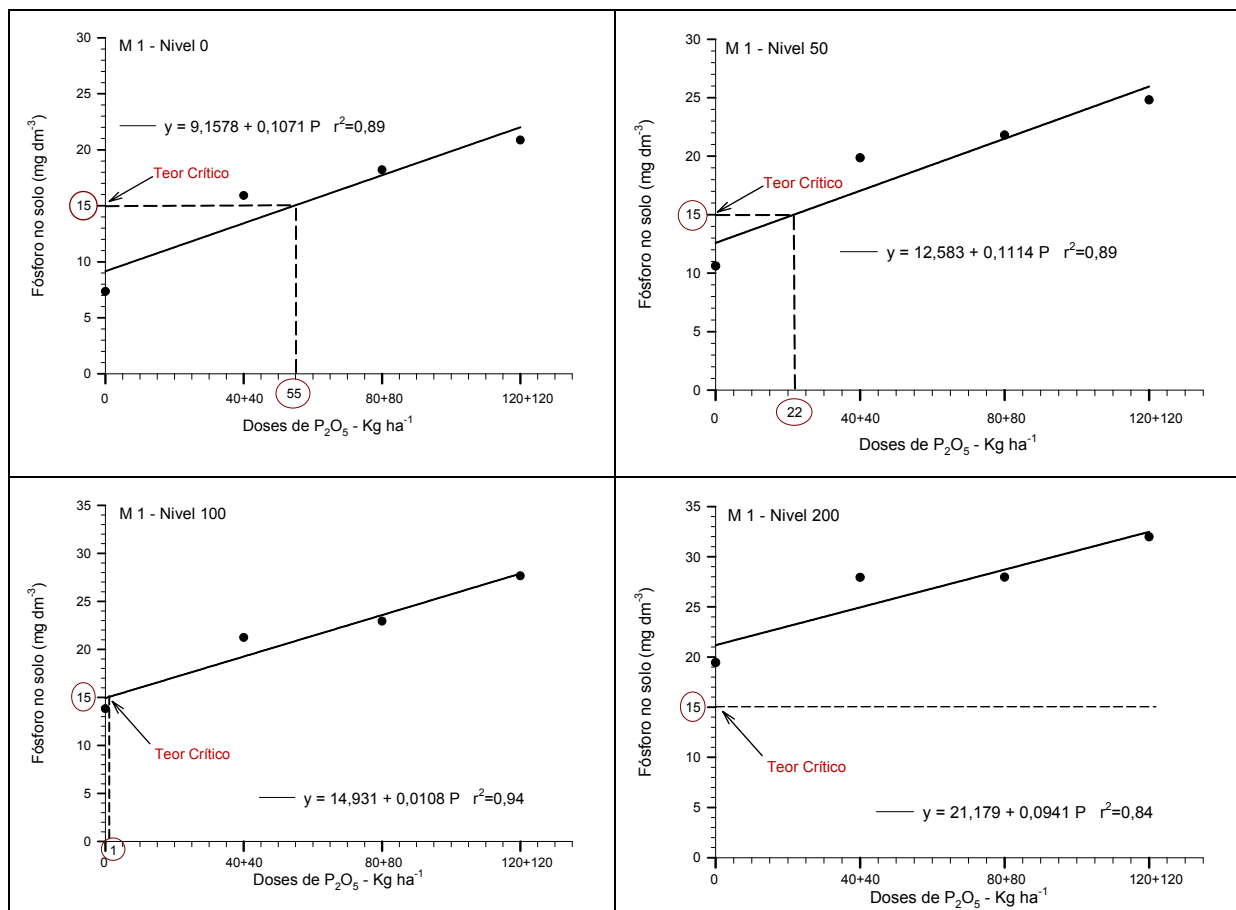


FIGURA 28. Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a reaplicação de P₂O₅ nos diferentes níveis criados, experimento Misiones 1 (M1). Paraguai 2005.

Na reaplicação das doses de P₂O₅, no mesmo experimento (Figura 28), observa-se uma maior inclinação da reta, e, portanto um maior aumento no teor de P no solo a cada 100 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados. Houve um aumento, em média de 8 mg dm⁻³ de P no solo para cada 100 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, ou seja, 30% superior da primeira aplicação. No nível 0 com teor de 9,2 (faixa baixa de fertilidade) foi preciso 95 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para atingir o teor crítico, 20 kg ha⁻¹ a mais que a primeira aplicação. No nível 50 com teor de 12,6 (faixa média de fertilidade) foram necessários 22 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para atingir o teor crítico, 7,5 kg ha⁻¹ a mais que a primeira aplicação. No nível 100 com teor de 14,9 mg dm⁻³, observa-se que é necessário ainda 1 kg ha⁻¹ para atingir o teor crítico. Possivelmente este aumento em

comparação a primeira aplicação é devido a que o teor inicial parte de um valor menor. No nível 200, o teor inicial do solo encontra-se acima do teor crítico.

Conclui-se que a medida que aumenta o teor inicial no solo (faixa de fertilidade maior) é preciso de menos adição de P para atingir o teor crítico, já que seus sítios mais ávidos pela adsorção de P se apresentam mais preenchidos.

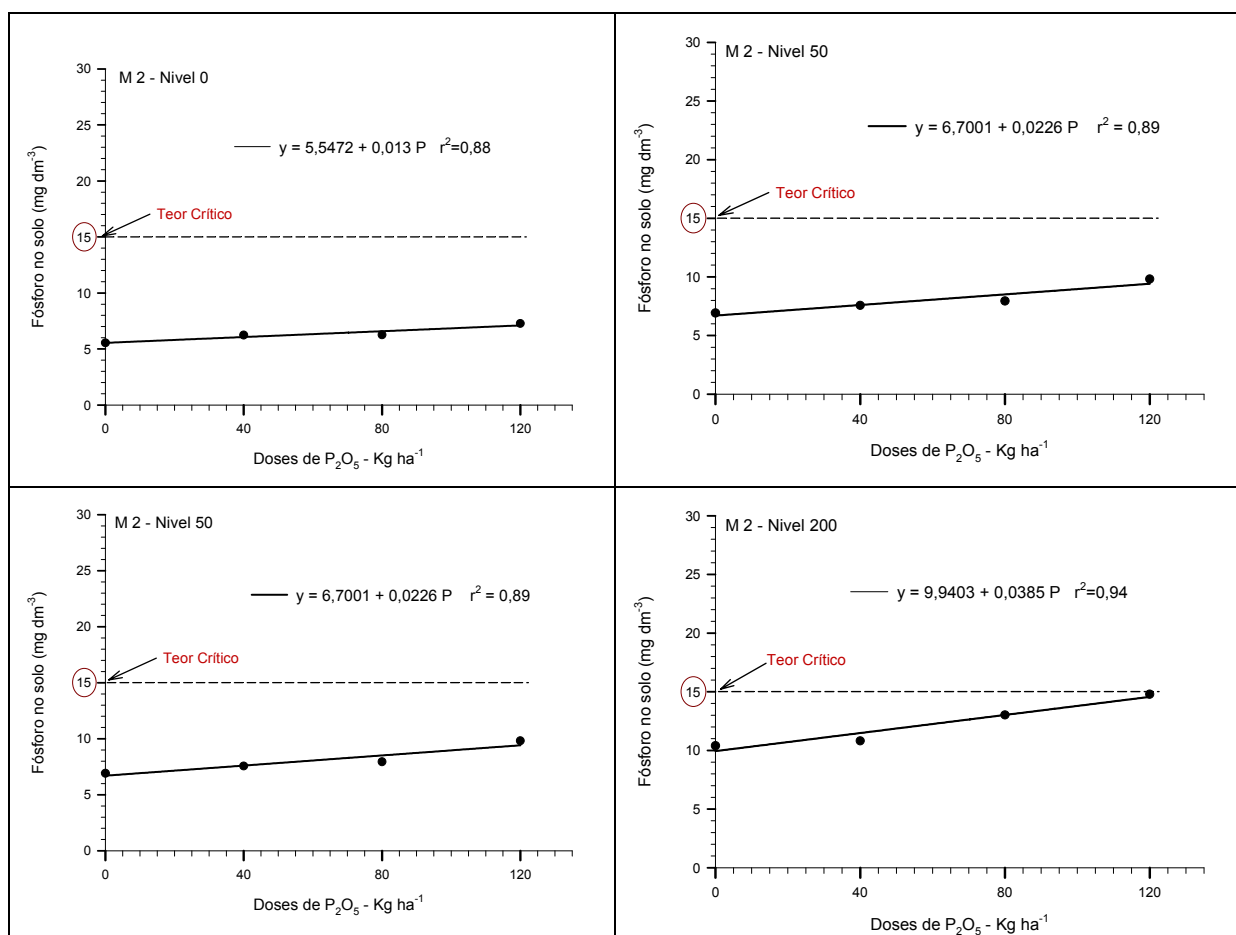


FIGURA 29. Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P₂O₅ nos diferentes níveis criados, experimento Misiones 2 (M2). Paraguai 2005.

No experimento M2 observa-se que em nenhuma das doses de manutenção foi atingido o teor crítico (Figura 29). Este solo apresenta um maior poder tampão em comparação com M1, desta forma a necessidade de P₂O₅ para elevar o teor de P no

solo é bem superior. A cada 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aumenta 2,4 mg dm⁻³ de P no solo, ou seja, um incremento de 50% inferior ao de M1.

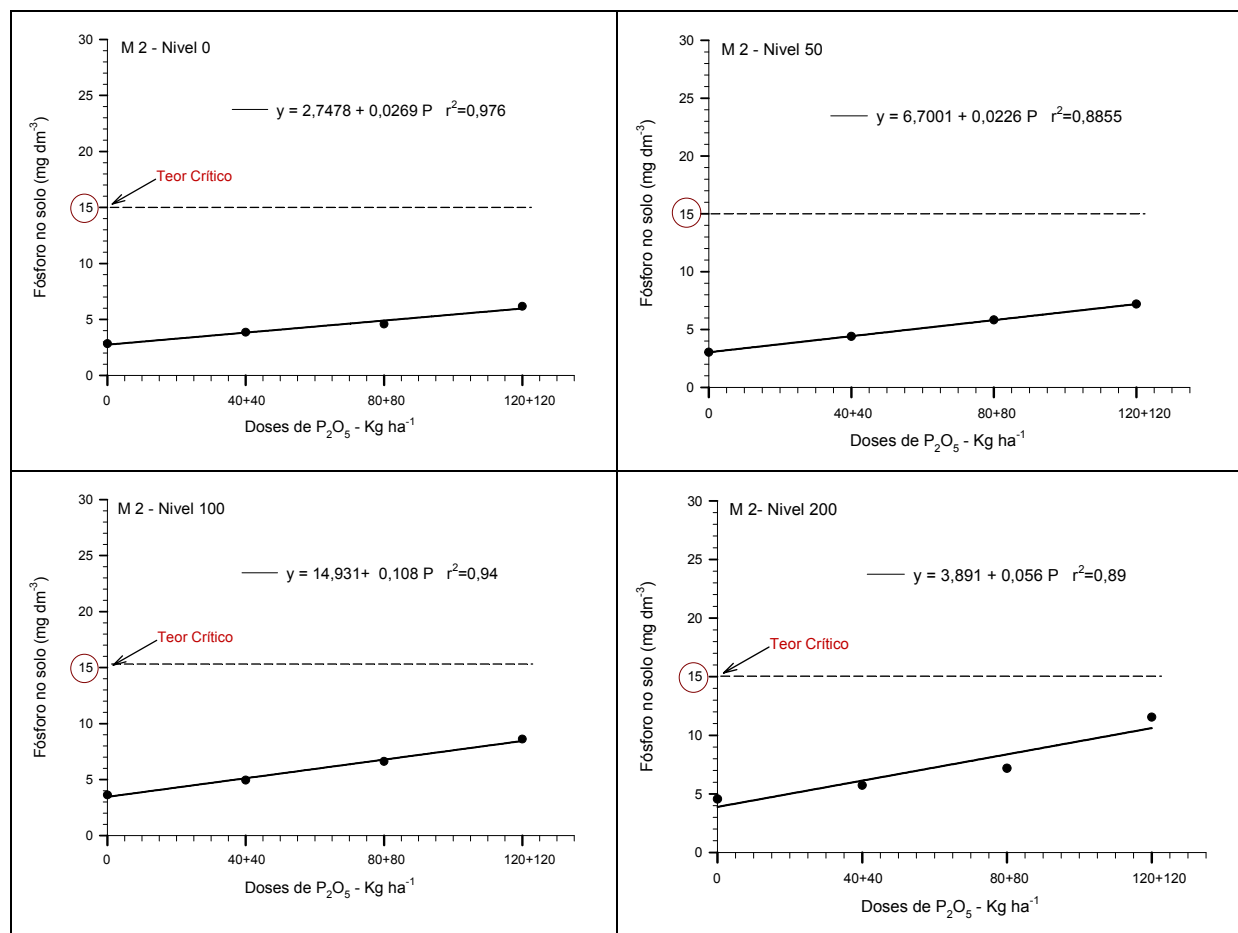


FIGURA 30. Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a reaplicação de P₂O₅ nos diferentes níveis criados, experimento Misiones 2 (M2). Paraguai 2005.

Na reaplicação das doses de P₂O₅ de manutenção no experimento M2, não se observou que a elevação dos teores de P no solo em nenhum dos níveis criados tenha atingido o teor crítico (Figura 30). Houve em media um aumento de P no solo de 2,9 mg dm⁻³ a cada 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, evidenciando o alto poder de tamponamento deste solo. Em comparação com M1 (Figura 28) foi 72% superior a este no que diz respeito ao incremento de P no solo. Convém lembrar que, os dois experimentos apresentam o mesmo teor de argila (250 g kg⁻¹), porém o teor inicial de P no solo e o histórico de adubação são bem diferentes.

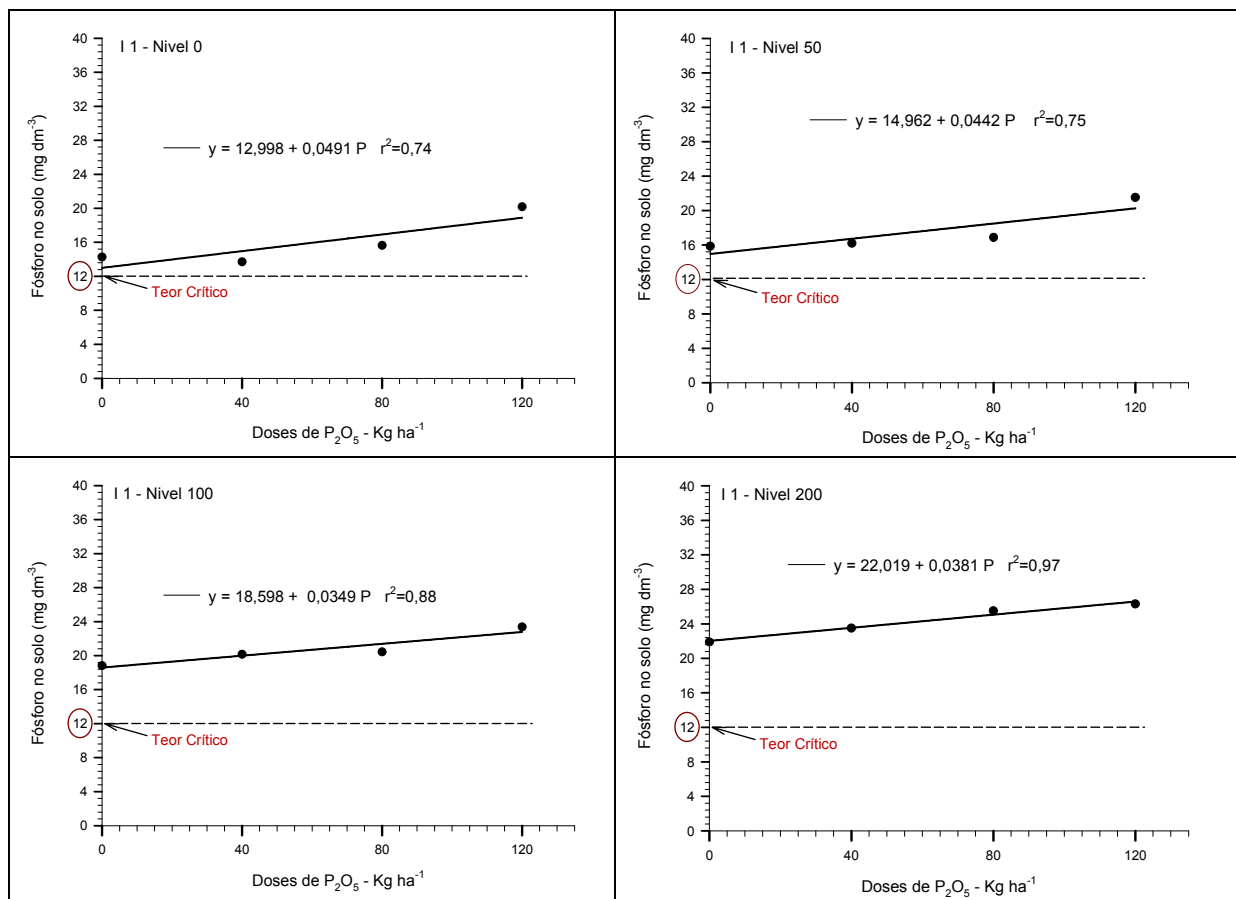


FIGURA 31. Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P_2O_5 nos diferentes níveis criados, experimento Itapúa 1 (I1). Paraguai 2005.

No experimento I1, em virtude do teor inicial de P no solo já se encontrava acima do teor crítico ($12\ mg\ dm^{-3}$), não foi preciso de nenhuma aplicação de P_2O_5 para atingir o mesmo (Figura 31). Em média houve um incremento de P no solo de $4,1\ mg\ dm^{-3}$ para cada $100\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 aplicados. Valor similar foi encontrado para o M1. Este solo contém $475\ g\ kg^{-1}$ de argila, evidenciando o pequeno efeito da textura quando comparado com o solo de menor teor de argila.

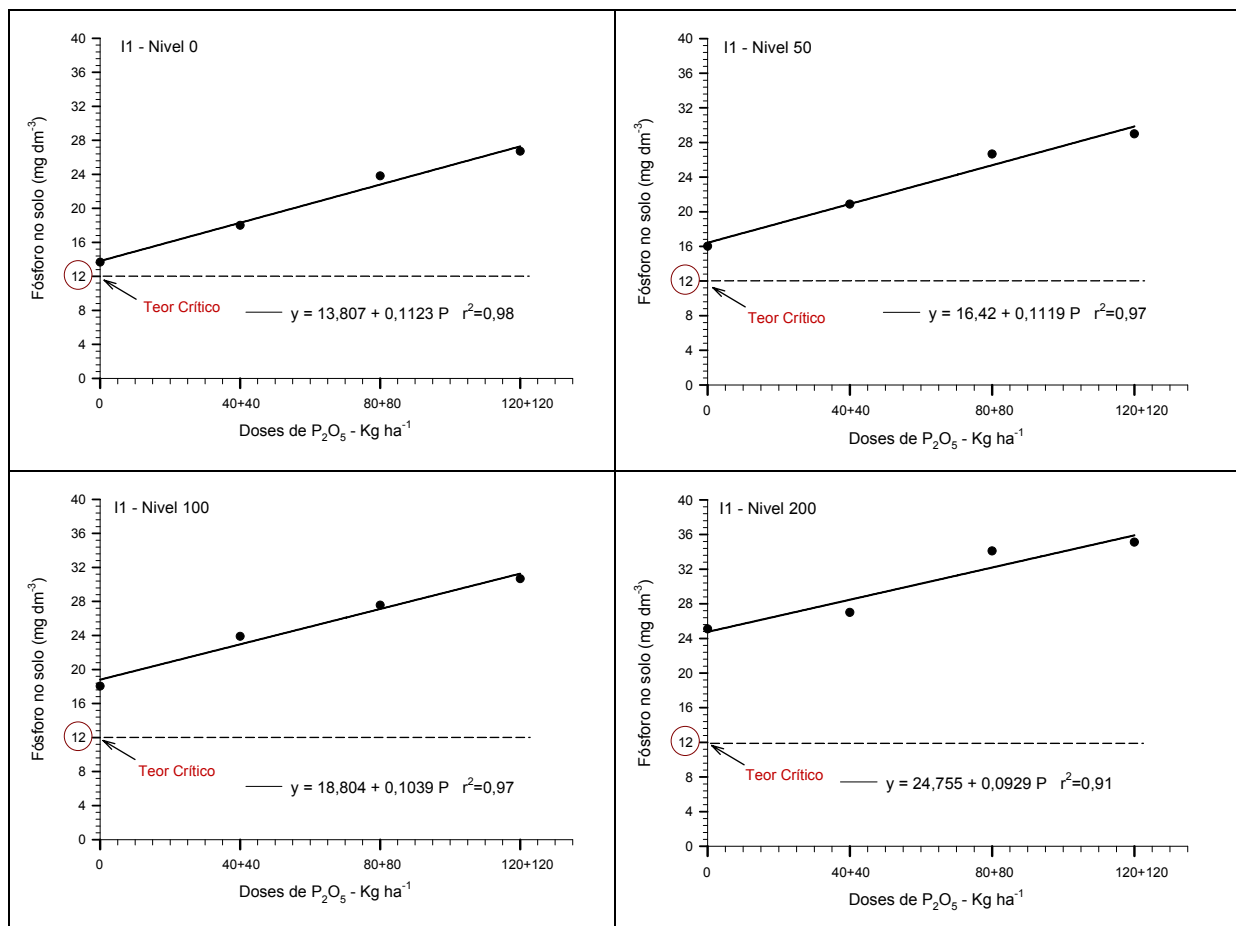


FIGURA 32. Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a reaplicação de P₂O₅ nos diferentes níveis criados, experimento Itapúa 1 (I1). Paraguai 2005.

Na reaplicação das doses de manutenção no I1 (Figura 32), observa-se a mesma tendência da reaplicação, já que o teor inicial de P no solo, encontra-se acima do teor crítico. No entanto, nota-se uma maior inclinação da reta, portanto um maior aumento de P no solo, para cada 100 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ reaplicado, aumenta em média 10,3 mg dm⁻³ de P no solo, ou seja, 60% superior a primeira aplicação.

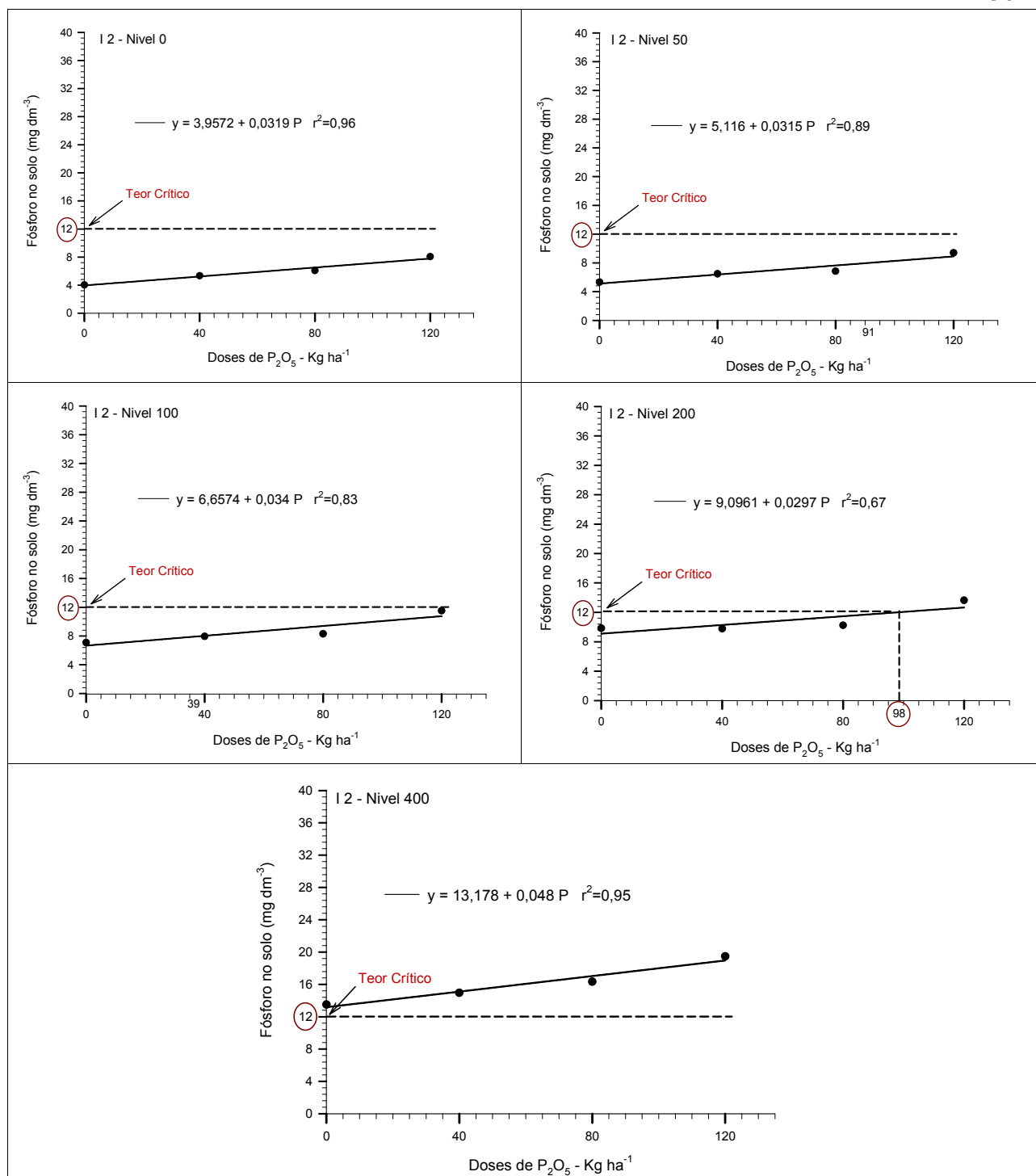


FIGURA 33. Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P₂O₅ nos diferentes níveis criados, experimento Itapúa 2 (I2). Paraguai 2005.

No experimento I2, verifica-se que no nível 0, com o teor inicial de $3,9 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo (faixa muito baixa de fertilidade), a aplicação de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 não foram suficientes para atingir o teor crítico (Figura 33). A mesma tendência foi observada para os níveis 50 e 100 (faixa baixa de fertilidade). No entanto, no nível 200, com um teor inicial de 9 mg dm^{-3} de P no solo (faixa media de fertilidade), a necessidade para atingir o teor crítico foi de $98,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 . A partir do nível 400 (faixa alta de fertilidade) não foi preciso a adição da dose de manutenção para atingir o teor crítico, pois o teor de P no solo já se encontrava acima deste.

Novamente estes dados confirmam, que a medida que aumenta o teor inicial do P no solo, a necessidade de adição do adubo diminui para atingir o teor crítico.

Na condição estudada, o I2 apresentou um aumento em media, de $3,2 \text{ mg dm}^{-3}$ para cada 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 aplicados no solo como adubação de manutenção, evidenciando o alto poder de tamponamento deste solo.

Verifica-se através da Figura 34, o bom comportamento do solo de AP1 às diferentes adubações. No nível 0 com teor inicial de $8,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo (faixa baixa de fertilidade) foram necessários 89 kg ha^{-1} para atingir o teor crítico. No nível 50 com um teor inicial de $12,6 \text{ mg dm}^{-3}$ (faixa media de fertilidade) a necessidade diminui para 35 kg ha^{-1} de P_2O_5 . A partir do nível 100 (faixa alta de fertilidade) não foi preciso a adição da dose de manutenção para atingir o teor crítico, pois já se encontrava o teor de P no solo acima deste. A mesma tendência foi observada para o nível 200 (faixa alta de fertilidade) e nível 400 (faixa muito alta de fertilidade).

Na condição estudada, o AP1 apresentou um aumento em media, de $6,2 \text{ mg dm}^{-3}$ para cada 100 kg de P_2O_5 aplicados no solo como adubação de manutenção.

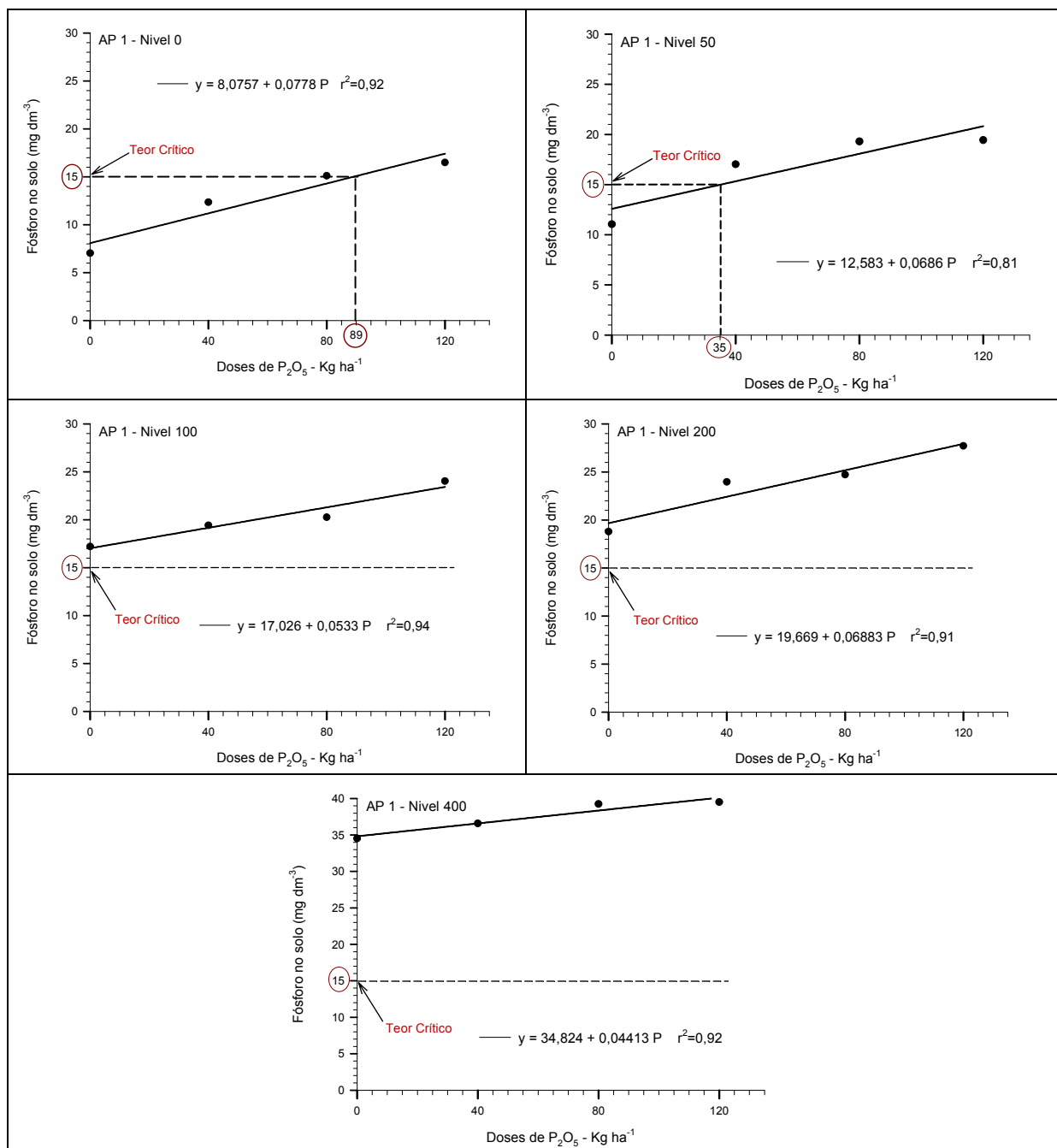


FIGURA 34. Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P₂O₅ nos diferentes níveis criados, experimento Alto Paraná 1 (AP1). Paraguai 2005.

Na Figura 35, observa-se o comportamento similar do solo AP2 ao AP1, onde a cada 100 kg de P₂O₅ aplicados no solo com as adubações de manutenção, aumentou em media, 6,9 mg dm⁻³, 10% superior ao anterior. No entanto este solo

apresenta um maior teor de argila (470 g kg^{-1}), assim apresentando um teor crítico menor (12 mg dm^{-3}).

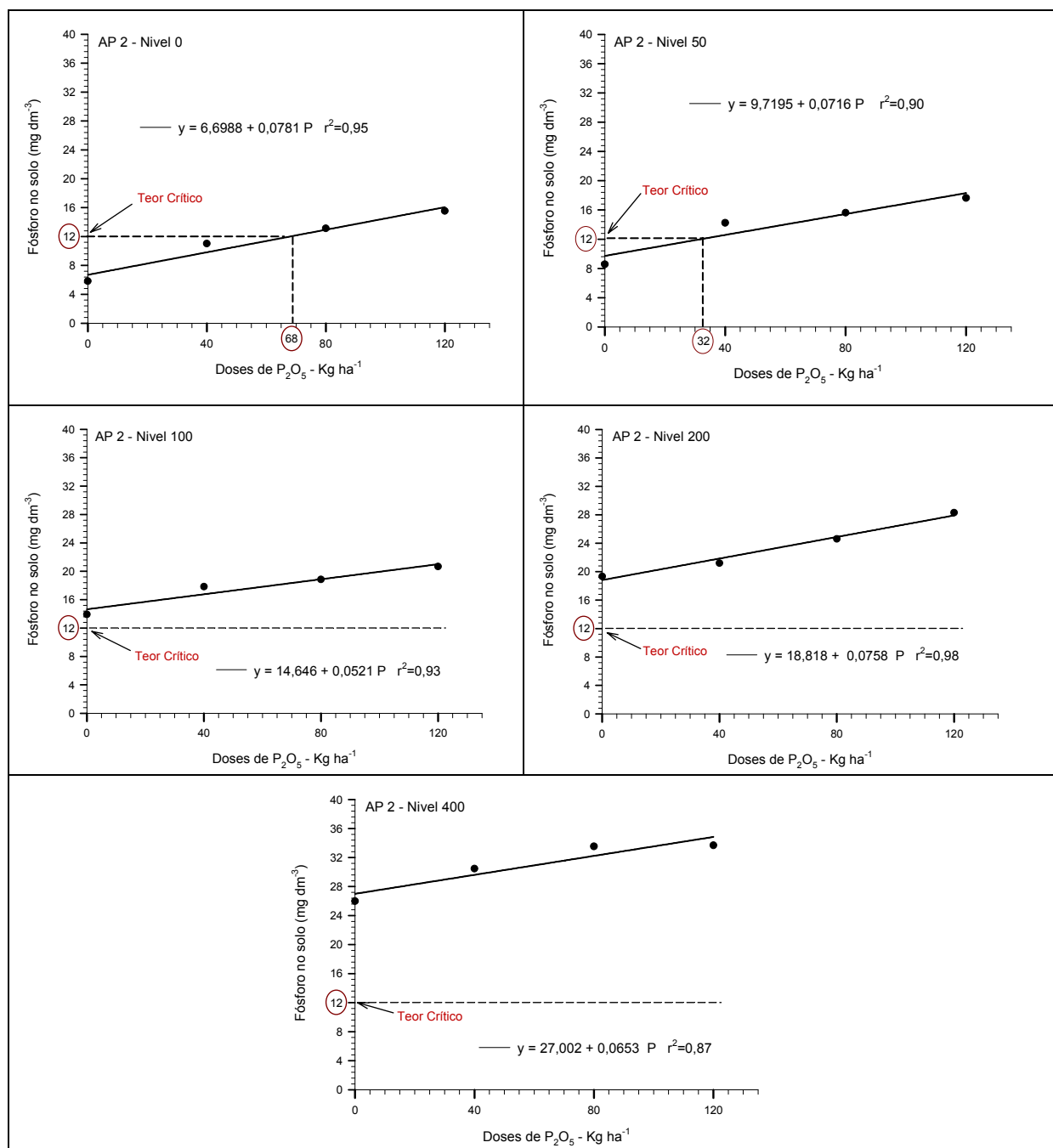


FIGURA 35. Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P₂O₅ nos diferentes níveis criados, experimento Alto Paraná 2 (AP2). Paraguai 2005.

No nível 0 do AP 2, com teor inicial de $6,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo (faixa baixa de fertilidade) foram necessários 68 kg ha^{-1} para atingir o teor crítico. No nível 50, com um teor inicial de $9,7 \text{ mg dm}^{-3}$ (faixa media de fertilidade), a necessidade diminui para 32 kg ha^{-1} de P_2O_5 . A partir do nível 100 com um teor de $14,6$ (faixa alta de fertilidade) não foi preciso adição da dose de manutenção para atingir o teor crítico, devido o teor de P no solo já se encontrava acima deste. A mesma tendência foi observada para o nível 200 (faixa alta de fertilidade) e nível 400 (faixa muito alta de fertilidade).

No último experimento a ser apresentado (PJC1) observa-se um poder tampão maior em comparação ao AP1 e AP2, onde a cada 100 kg de P_2O_5 aplicados no solo com as adubações de manutenção, aumentou em média, $4,8 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 36), 23 e 30% inferior aos anteriores, respectivamente. Convém lembrar que este solo foi o que apresentou maior teor de argila (560 g kg^{-1}) entre todos.

Verifica-se através da Figura 36, que no nível 0, com o teor inicial de $5,4 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo (faixa baixa de fertilidade), a aplicação de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 não foram suficientes para atingir o teor crítico. A mesma tendência foi observada para o nível 50 com um teor de $5,8 \text{ mg dm}^{-3}$ (faixa baixa de fertilidade). No nível 100, com um teor inicial de $7,4 \text{ mg dm}^{-3}$ (faixa media de fertilidade), a necessidade para atingir o teor crítico foi de 115 kg ha^{-1} de P_2O_5 . A necessidade para atingir o teor crítico no nível 200 foi de 55 kg ha^{-1} de P_2O_5 o qual apresentou um teor inicial de $9,2 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo (faixa média de fertilidade). Entretanto, no nível 400, não foi preciso adição da dose de manutenção para atingir o teor crítico, pois com um teor inicial de $12,8 \text{ mg dm}^{-3}$ (faixa alta de fertilidade), já se encontrava acima deste.

Este solo teve um comportamento muito similar ao I2 e M2, desta forma evidenciando a importância do histórico do manejo da adubação e o teor inicial de P no solo para a adição do nutriente.

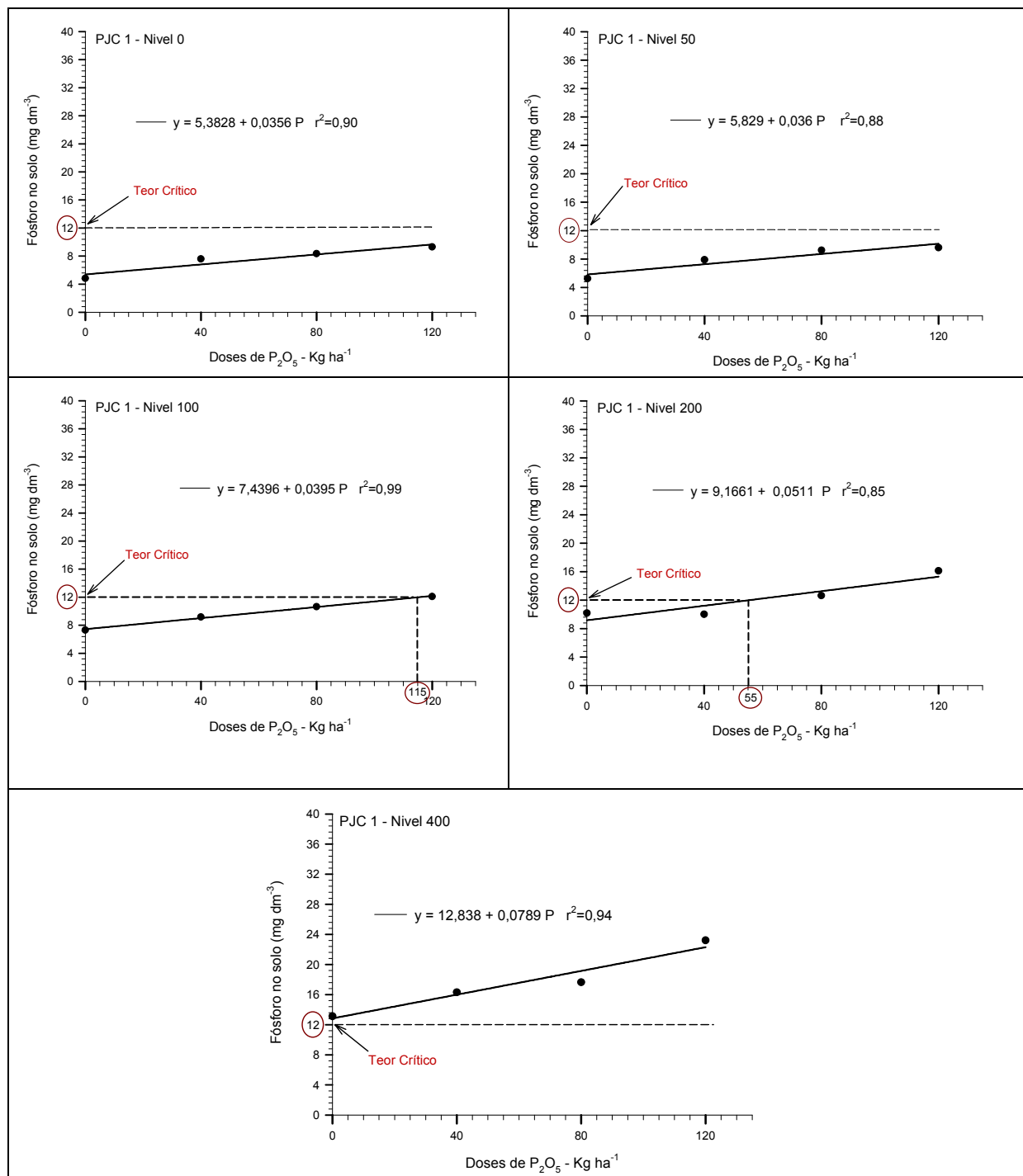


FIGURA 36. Teor de P extraído por Mehlich-1, equações de resposta do solo a aplicação de P₂O₅ nos diferentes níveis criados, experimento Pedro Juan Caballero 1 (PJC1). Paraguai 2005.

Estes resultados evidenciam a desnecessidade da adição de fósforo para correção do solo, uma vez que o solo apresente teores do nutriente que se enquadrem nas faixas altas e muito altas de fertilidade.

4.7. Recomendações Preliminares

TABELA 20. Proposta preliminar de recomendação de adubação fosfatada corretiva em kg de P_2O_5 ha^{-1} , de acordo com o teor de argila.

Teor de argila g kg^{-1}	Teor de P ($mg\ dm^{-3}$) - Mehlich - 1		
	Muito Baixo	Baixo	Médio
410 - 600	200	100	25
210 - 400	150	75	15

Foi estimado a partir dos resultados obtidos no estudo, a quantidade de 25 kg de P_2O_5 para elevar $1\ mg\ dm^{-3}$ o teor de P no solo para a Classe 1 (410 - 600) e para a classe 2 (210 - 400) foi estimado a quantidade de 15 kg de P_2O_5 para elevar $1\ mg\ dm^{-3}$ no solo.

TABELA 21. Proposta preliminar de recomendação de adubação fosfatada corretiva em kg de P_2O_5 ha^{-1} , de acordo com o histórico de adubação.

Teor de argila g kg^{-1}	Teor de P ($mg\ dm^{-3}$) - Mehlich - 1		
	Muito Baixo	Baixo	Médio
Sem histórico	280	140	35
Com histórico	160	80	20

Foi estimado a quantidade de 35 kg de P_2O_5 para elevar 1 mg dm^{-3} o teor de P no solo para os solos sem histórico e para os solos com histórico foi estimado a quantidade de 20 kg de P_2O_5 para elevar 1 mg dm^{-3} no solo.

Acima do teor crítico a probabilidade de resposta das plantas é muito baixa ou nula, enquanto que abaixo, ela aumenta à medida que o teor no solo se afasta do teor crítico. Neste contexto o limite inferior da classe “alto” coincide com o teor crítico e onde se obtém rendimentos próximos a máxima eficiência econômica das culturas. O teor “muito alto” corresponde a teores acima do dobro do teor crítico, apresentando alta reserva do nutriente para o desenvolvimento das plantas. O teor mais adequado para o desenvolvimento das culturas e a produtividade das mesmas encontra-se na classe “alto”. Quando esta classe é alcançada, a adubação corresponderá a de manutenção, devendo ser o suficiente para repor as quantidades exportadas (grãos, massa seca, etc), mais um determinado valor para eventuais perdas do sistema que possam ocorrer (erosão, lixiviação, etc). Quando o teor no solo está na classe muito alto, as adubações poderão ser somente de arranque ou então poderão ser dispensadas em algumas situações de expectativas de preços baixos ou então investir em outros nutrientes que possam estar prejudicando as produtividades. Quando o teor no solo se encontra na classe “médio”, “baixo” ou “muito baixo”, a dose deverá suprir as necessidades das culturas mais uma porcentagem para atingir o teor crítico no solo, desta forma alcançando o teor ideal para o desenvolvimento das culturas que ocorre na classe “alto” de P no solo.

TABELA 22. Proposta preliminar de recomendação de fósforo para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai, Paraguai, 2005.

Classe	Recomendação para três cultivos		
	1º cultivo	2º cultivo	3º cultivo
	-----kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ -----		
Muito baixo	100 + M	70 + M	30 + M
Baixo	50 + M	30 + M	20 + M
Médio	25 + M	M	M
Alto	M	M	M
Muito alto	R	R	R

M = manutenção (taxa de exportação das culturas + perdas)

R = reposição (exportação das culturas) Trigo: 10 kg de P₂O₅, Milho: 8 kg de P₂O₅ por tonelada e soja: 12 kg de P₂O₅ por tonelada de grãos exportados.

As culturas de trigo e milho exportam em média 10 e 8 kg de P₂O₅ por tonelada de grãos retirados da cultura, respectivamente. A soja apresenta uma taxa superior de exportação por tonelada produzida, chegando a 14 kg de P₂O₅ por tonelada (Comissão, 2004), no entanto, para o Boletim de pesquisa de Soja (Fundação MT, 2005) o valor em média de exportação para soja é de 10,1 kg de P₂O₅ ha⁻¹ (COAMO/CODETEC, 1998; Pauletti, 1998; EMBRAPA - Soja, 2002; Altman & Pavinato, 2001). Para este trabalho se fez uma média desses valores (Fundação MT, 2005 e Comissão, 2004) para a reposição, chegando a 12 kg de P₂O₅ ha⁻¹ exportado. A partir desses valores se calculou as doses de manutenção, multiplicando-os por 1,25. Desta forma a dose para manutenção ficará de 10 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para trigo, para milho 12,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 15 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para a soja por tonelada de grãos exportados.

O objetivo da recomendação, quando os teores no solo estão abaixo do teor crítico, é a construção da fertilidade até a classe “alto” onde a probabilidade de resposta é baixa. Quando o teor no solo se encontra na classe “alto” o objetivo da recomendação é manter o teor nesta classe, ou seja, estar acima do teor crítico onde a probabilidade de resposta é muito baixa. Quando o teor no solo esta na

classe “muito alto”, pode-se permanecer por determinado período sem aplicação, ou aplicação de pequenas doses, desta forma economizando e construindo a fertilidade de outros nutrientes e corrigindo demais problemas que podem estar limitando a produtividade da lavoura.

Quando os teores de P no solo extraído por Mehlich-1 se enquadram acima do teor crítico, às adubações podem ser feitas tanto a lanço como na linha pois apresentaram a mesma eficiência (Klepker & Anghinoni, 1996; Wietholter et al., 1998, Ceretta & Pavinato, 2003).

Depois de três cultivos é necessário fazer outra análise para identificar se o objetivo foi atingido. Quando este foi atingido, passa-se a adotar a filosofia da manutenção do teor onde deve ser adicionados o total exportado pela cultura e possíveis e prováveis perdas que possam acontecer, estas perdas variam em torno de 25%. Quando o objetivo não for atingido, deve-se elaborar uma nova recomendação visando atingi-lo. O solo é um sistema aberto e que sofre inúmeras interferências, sendo que dessa forma, atingir os objetivos não é tarefa fácil.

5. CONCLUSÕES

A textura não foi tão importante na construção de níveis como o teor inicial e histórico de adubação das áreas.

Em solos com baixo teor de P e sem histórico de adubação foi necessário aplicar $35,3 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ para elevar 1 mg dm^{-3} de P no solo e para solos com teor médio a alto com histórico de adubação foi necessário aplicar $18,6 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ para elevar 1 mg dm^{-3} de P no solo.

O teor crítico para fósforo determinado pelo método Mehlich-1 foi superior ao estabelecido pela ROLAS e a influência da textura foi inferior em relação à prevista pela ROLAS.

O teor crítico para solos de 410 a 600 g kg^{-1} de argila (Classe 1) foi de 12 mg dm^{-3} e para solos de 210 a 400 g kg^{-1} de argila (Classe 2) foi de 15 mg dm^{-3} .

O teor crítico de fósforo em solos sob sistema plantio direto de cultivo com trigo, milho e soja, é maior do que no atual programa de recomendações do RS/SC, e do Paraguai, em função da profundidade de amostragem (0-10 cm).

As classes de fertilidade de fósforo no solo são “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto”, correspondendo respectivamente a menos de 4,0, de 4,1 a 8,0, de 8,1 a 12,0, de 12,1 a 24,0 e maior que 24 mg dm^{-3} de P no solo, para a Classe 1, e; a menos de 5,0, de 5,1 a 10, de 10,1 a 15, de 15,1 a 30, e maior que 30 para a Classe 2.

É recomendada aplicação de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 para atingir o teor crítico na Classe textural 1, quando se encontra na classe “muito baixo”, 100 kg ha^{-1} quando se encontra na classe “baixo” e 25 kg ha^{-1} quando se encontra na classe “médio”, já para a Classe textural 2, para atingir o teor crítico, recomenda-se 150 kg ha^{-1} quando

se encontra na classe “muito baixo”, 75 kg ha⁻¹ quando se encontra na classe “baixo” e 15 kg ha⁻¹ quando se encontra na classe “médio”, feitas em três cultivos.

Quando o solo se enquadra na classe de fertilidade “alto” a recomendação de manutenção, é 10 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para trigo, para milho 12,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 15 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para a soja, por tonelada de grãos exportados.

A aplicação de fósforo é opcional quando o solo se enquadra na faixa “muito alto” de fertilidade, no entanto recomenda-se a aplicação de reposição objetivando o arranque inicial das plantas.

Maiores rendimentos foram atingidos com o trigo após a soja em relação ao milho sob sistema plantio direto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATE, J. **La situación ambiental del Paraguay**. Asunción, Py, 2000. Disponible em www.paraguaysp.com.py/htm.

ABRÃO, J.J.R.; GRIMM, S.S. Avaliações do efeito residual da calagem e da adubação fosfatada num oxissolo, durante três anos de cultivo. **Agronomia Sulriogradense**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 105-107, 1975

ANDERSON, A.J. & MORGENSEN, T. A comparison of various laboratory methods for determining the phosphate conditions in soils. **Acta Agric. Scand.**, 12 : 315-323, 1962.

ANGHINONI, I. & WOLKWEISS, J.S. Recomendações de uso de fertilizantes. In: Simpósio sobre fertilizantes na Agricultura Brasileira, 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA/DEP, 1984. p.179-204.

ANGHINONI, I. SALET, L.R. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Núcleo Regional Sul/SBCS, 1998. p.27-52.

ANGHINONI, I. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília, DF. Planaltina: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: Universidade de Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999, 5p. 1 **CD-ROM**.

BARBER, S.A. A diffusion and mass-flow concept of soil nutrient availability. **Soil Science**, Baltimore, v.93, p.39-49, 1962.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. 2. ed. Toronto: J. Willey, 1995. 414p.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.; CAMARGO, F.; Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. Porto Alegre: Genesis, 2004. p.117-151.

BOLETIN DE PESQUISA DE SOJA. Fundação Mato Grosso. Nº 09 – 2005.

BORGES, G.O. Resumo histórico do plantio direto no Brasil. In: EMBRAPA-CNPT; FECOTRIGO-FUNDACEP; FUNDAÇÃO ABC. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, 1993. p.13-17.

BORKERT, C.M. Ganhos em produtividade de culturas anuais com micronutrientes na Região Sul. In: CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, V. Guarapuava, PR. 2002. resumos de palestras. Passo Fundo, Aldeia Norte, 2002. p 81-96

BRAY, R.H. Confirmation of the nutrient mobility concept of soil plant relationships. **Soil Science**, Baltimore, v.95, p.124-130, 1963.

CAPECO – **Camara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas**, site internet, www.capeco.org.py. 2005.

CATE, R.B. Jr. & NELSON, L.A. **A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data**. North Carolina Agric. Exp. STN., Internacional Soil Testing Series Tech. Bull. nº 1, 1965.

CATE, R.B. Jr. & NELSON, L.A. **Discontinuous models for rapid correlation, interpretation and utilization of soil analysis and fertilizer response data**. International soil fertility evaluation and improvement program. North Carolina, 1973. 77p. (Technical Bulletin, 7).

CERRATO, M.E.; BLACKMER, A.M. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, p.138-143, 1990.

CERETTA, C. A. & PAVINATO, P. S. Adubação em linha ou a lanço no plantio direto. In. VI CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 2003. Trabalhos publicados... Ibirubá. p. 23-35.

COLWELL, J.D. Calibration and assessment of soil tests for estimating fertilizer requirements- I Statistical models and tests of significance. **Australian Journal of Soil Research**, Canberra, v.5, p.275-293. 1966.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 2. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul: EMBRAPA/CNPT, 1989. 128p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul: EMBRAPA/CNPT, 1995. 224p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2004. 394p.

CONTE, E.; ANGUINONI, I.; RHEINHERMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.27, p.893-900, 2003.

COREY, R.B. Soil test procedures: correlation. In: BROWN, J.R. (Ed) **Soil testing: sampling, correlation, calibration and interpretation**. Medison: SSSA, 1987. p. 15-22. (Special Publication, 21).

CUBILLA, L. & MORIYA, K. Avances sobre la siembra directa en Paraguay. I Seminario Internacional de Plantio Direto. Dourados – Mato Grosso do Sul – Brasil, **CD Rom** 2001.

DANKE, W.C.; OLSON, R.A. Soil test correlation, calibration and recommendation. In: WESTWERMANN, R.L. (Ed). **Soil Testing and Plant Analysis**. 3. ed. Madison: SSSA, 1990. p.45-73.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1991. 272 p. (Sonderpublikation der GTZ, 245).

DIJKSTRA, F. Porque utilizo o plantio direto. Basf, 1983. 34p.

DRESCHER, M.; BISSANI, C.A. GIASSON, E. **Avaliação da fertilidade dos solos do Estado do Rio Grande do Sul e necessidades de adubos e corretivos**. Porto Alegre: Departamento de Solos, 1995. 24p. (Boletim Técnico de Solos, 7).

ELTZ, F. L.F. , GRIMM, S.S. & FOLE, D.A. Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a produtividade da soja, em oxissolo da unidade de mapeamento Santo Ângelo. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 37-44, 1975.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.13, p.259-267, 1989.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1997. 212p.

FATECHA, A. **Guía para la fertilización de cultivos anuales e perennes de la región oriental del Paraguay.** Ministerio de Agricultura y Ganadería, Subsecretaría de Estado de Agricultura, Dirección de Investigación Agrícola. Caacupe, Paraguay, 1999.

FATECHA, D.A. **Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay.** Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Tesis como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. San Lorenzo, Paraguay, 2004.

FITTS, J.W. Research + extension = bigger farmer profit. **Plant Food Review Journal**, Atlanta, v.5, p.10-12, 1959.

FECOAGRO/RS – Federação das Cooperativas Agropecuárias do Rio Grande do Sul LTDA. **Custo de produção, lavouras em plantio direto.** Porto Alegre, 2002. n.61, 32p.

GALRÃO, E.Z. & WOLKWEISS, S.J. Disponibilidade de fósforo do solo para as plantas. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.5, p. 114-118, 1981.

LÓPEZ, O. E.; GONZALEZ, E.; DE LLAMAS, P.A.; MOLINAS, A.S.;FRANCO, E.S.; GARCIA, S.; RIOS, E. **Reconocimiento de Suelos y Capacidad de Uso de las Tierras; Región Oriental.** Paraguay. MAG /Dirección de Ordenamiento Ambiental. Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra. Convenio 3445 P.A– Banco Mundial, 1995. 28 p.

KOCHHANN, R.; ANGHINONI, I.; MIELNICZUK, J. **Adubação fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** In: ADUBAÇÃO fosfatada no brasil. Brasília: [s.n.], 1982. P.29-60.

KLEPER, D.; ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.2 p.79-86, 1996.

KLEPKER, D. **Distribuição de fósforo e raízes e sua relação com o estresse hídrico e o crescimento do milho**. 1996. 187 f. Tese (Doutorado) -Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

MALAVOLTA, E. Manual de calagem e adubação das principais culturas, São Paulo, Agronomica Ceres, 1987. 496p.

MANUAL de adubação e calagem para cultivos agrícolas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Trigo e Soja**, Porto Alegre, v.56, p.1-34, 1981.

MERTEN, G. H., MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo do solo. R.Bras.Ci.Solo, Campinas, v.15, p.369-374,1991.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; BOHNEN, H. Métodos de análise do Laboratório de Análise de solo In: **Recomendações de adubo e calcário para as principais culturas do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS, 1969a. 39p. (Boletim Técnico, 2).

MIELNICKZUK, J. **Seminario Taller, Padronización de análisis de suelos y conducción de experimentos de calibración visando recomendación de fertilizantes en Paraguay**. Informe de CAPECO y del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Asunción-Paraguay, 2002.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; VOLKWEIS, S. et al. **Estudos iniciais de calibração de análises para fósforo e potássio do solo com a cultura do trigo.** Porto Alegre: Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS, 1969b. 10p. (Mimeografado).

MIELNICZUK, J. Análise de solo e sua interpretação. In: GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; TEDESCO, M.J. **Princípios de fertilidade de solo,** Porto Alegre: Departamento de solos da UFRGS, 1995. p.33-46.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; BOHNEN, H. **Recomendações de adubo e calcário para as principais culturas do Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS, 1969a. 36p. (Boletim Técnico, 2).

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; VOLKWEIS, S. et al. **Estudos iniciais de calibração de análises para fósforo e potássio do solo com a cultura do trigo.** Porto Alegre: Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS, 1969b. 10p. (Mimeografado).

MOHR, W. Análises de solos para fins de assistência aos agricultores: sua técnica e interpretação. In: Reunião Brasileira de Ciência do Solo, 1. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1950. p. 185-215.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. R. Bras. Ci. Solo, Campina, v. 7, p.95-102, 1983.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; SALET, R.L.; HENNIGEN, F.J. Rendimento de grãos e nutrição da soja sob diferentes doses de calcário e fósforo no sistema plantio

direto em Latossolo Vermelho distrófico. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Fertbio 2002, 26. Rio de Janeiro, RJ, 2002.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Atividade e especiação iônica da solução do solo afetadas por acidez e fósforo no sistema plantio direto. In: Congresso Brasileiro de ciência do Solo. Resumos Expandidos. Ribeirão Preto: SBCS/UNESP, 2003. 4 p.

OLSON, R.A.; ANDRESON, F.N.; FRANK, K.D.; et al. Soil testing interpretation: sufficiency vs. build-up and maintenance. In: BROWN, J.R. (ED) **Soil testing: sampling, correlation, calibration and interpretation**. Madison: SSSA, 1987. p.41-52. (Special Publication, 21).

PAVINATO, P. S. **Adubação em sistemas de culturas com milho em condições de sequeiro ou irrigado por aspersão**. 2004. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

PEREIRA, Nonô. Importancia do Plantio Direto. Revista Plantio Direto. Edição nº 77 – Setembro-Outubro, 2003. Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, p. 8.

PÖTTKER, D. **Aplicação de fósforo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 32p. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa, 2).

RAIJ, B.van. **Avaliação da fertilidade do solo**. POTAFOS, Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, Piracicaba, 1981.

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

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.L. **Recomendação de adubação e de calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; ROBAINA, A.D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C. & HORN, D. **Situação da fertilidade dos solos no estado do Rio Grande do Sul**. Santa Maria- RS, Departamento de Solos, UFSM, 2001. 41p. (Boletim Técnico nº 2).

ROLAS. Manual de adubação e calagem para cultivos agrícolas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Trigo e Soja**, 56:5-34. 1981.

ROUSE, R.D. **Soil test theory and calibration for cotton, corn, soybean and coastal Bermuda grass**. Auburn: Agricultural Experiment Station Auburn University, 1968. 65p. (Technical Bulletin, 375).

RUIZ DIAZ, R. Influência de sistemas de preparo do solo sobre algumas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilo-arenosa, e sobre a produção de soja, trigo e aveia. 115p. (Tese de Doutorado)Viçosa, UFV, 1998.

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. Castro: Fundação ABC, 1993. 96p.

SCHLINDWEIN, J.A. ; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.4, p.611-617, 2000.

SCHLINDWEIN, J.A. **Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto**. Porto Alegre – UFRGS, 2003. 169f. Tese doutorado.

SHERER E.E.; Doses e modos de aplicação de adubos fosfatado e potássico na cultura da soja. Revista Agropecuária Catrinense, v. 11, n.2, jun. 1998 p. 57-61.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas. **R. Bras. Ci. Solo**, 26:157-162, 2002.

SINGH, T.A.; THOMAS, G.W; MOSSCHLER, W.W.; MARTENS, D.C. Phosphorus uptake by corn (*Zea mays* L.) under no-tillage conventional practices. **Agronomy Journal**, Madison, v.58, p.147-148, 1996.

SIQUEIRA, O.J.F de; SCHERER, E.E.; TASSINARI,G. et al. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1987. 100p.

TABELAS de adubação corretiva e adubação de manutenção para solos e culturas dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Trigo e Soja**, Porto Alegre, v.10, p.15-23, 1976.

TEDESCO, M.J. **Método rápido para determinação do teor de argila do solo**. XVI Reunião da ROLAS, Florianópolis, SC, 1984.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; GOEPFERT, C.F. et al. Acidez e necessidade de calcário dos solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Departamento de Solos, 1985. 16p. (Boletim Técnico de Solos, 3).

TEDESCO, M.J.; BOHNEN, H.; COELHO DE SOUZA, L.F. PATELLA, J.F. A Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina – passado e presente. In: Reunião Sul-Brasileira de Fertilidade do Solo, 1. **Anais...** Pelotas: Núcleo Regional Sul – SBCS/UFPel – FAEM, 1994. p. 1-4.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Faculdade de Agronomia. Departamento de Solos. Tabelas de adubação corretiva e adubação de manutenção para os solos e culturas dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, 1973. 11p. (Boletim Técnico).

VIDOR, C.; FREIRE, J.R.J.; GONÇALVES, H.M.; GOMES, J.E.; GUTERRES, J.P.; GONÇALVES, J. Análise de um grupo de experimentos de adubação com fósforo, potássio e calcário em *Glycine max* (L) Merrill. Agron. Sulriogr. IX (1): 33-39, 1973.

WAGONER, P.E.; NORVELL, W.A. Fitting de law of the minimum to fertilizer application and crop yields. **Agronomy Journal**, Madison, v.71, p.352-354, 1979.

WIETHÖLTER, S. Uso dos teores de potássio e de argila do solo na recomendação de potássio para a cultura do trigo. In: Reunião Sul-Brasileira de Ciência do solo, 1. Manejo de solo em sistemas conservacionistas. **Resumos expandidos**, Lages: SBCS-NRS, 1996. p. 108-109.

WIETHÖLTER, S.; BEN, J. R.; KOCHHANN, R. A. & PÖTTKER, D. Fósforo e potássio no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. SBCA/NRS. Lages, SC.1998. 160p.

WILCOX, O.W. Verification of the Mitscherlich effect law. **Agronomy Journal**, Madison, v.42, p.225-229, 1949.

ANEXOS

Anexo 1. Cultivares utilizadas nos respectivos locais e safras, Paraguai, 2005.

Experimento	Trigo/2003	Milho/2003/04	Soja/2003/04	Trigo/2004
M1	Itapúa 40	AS 3466/Agroeste	RR 5409	Itapúa 40
M2	-----	As 3466/Agroeste	RR 5409	Itapúa 40
I1	Itapúa 50	Caseiro *	Guapa 5.5	Itapúa 40
I2	-----	9010/Monsanto	Nidera 8000	Itapúa 40
AP1	-----	-----	Codetec 215	Itapúa 40
AP2	-----	9010 Monsanto	Nidera 4910	Itapúa 45
PJC1	-----	BR 106	Codetec 205	Itapúa 45

* Semente produzida na propriedade.

Anexo 2. Análise de significância dos experimentos de fósforo em trigo, milho e soja (Paraguai, 2005).

Experimento	Cultura anterior	Níveis de P ₂ O ₅	Equação	Signif
----- Trigo, safra 2003 -----				
M1	Soja		$Y = 1456,5 + 1,1289 P - 0,0057 P^2$	NS
I1	Soja		$Y = 3602 + 2,6686 P - 0,008 P^2$	NS
----- Trigo, safra 2004 -----				
M1	Soja	0	$Y = 1867,3 + 5,5535 P - 0,0305 P^2$	NS
		50	$Y = 1985,2 + 1,6868 P$	NS
		100	$Y = 2210,1 + 2,2748 P$	NS
		200	$Y = 2159,3 + 1,1527 P - 0,0283 P^2$	NS
		400	$Y = 2202,4 + 3,4764 P$	***
I1	Soja	0	$Y = 2495,9 + 13,415 P - 0,1218 P^2$	**
		50	$Y = 2437,7 + 9,4444 P - 0,0843 P^2$	NS
		100	$Y = 2740,3 + 6,2539 P - 0,0793 P^2$	NS
		200	$Y = 2717,4 + 3,6755 P - 0,045 P^2$	NS
		400	$Y = 2463,5 + 8,3304 P - 0,0858 P^2$	NS
I2	Soja	0	$Y = 1986,3 + 8,5817 P$	*
		50	$Y = 2304,8 + 6,906 P$	*
		100	$Y = 2620,4 + 4,1719 P$	*
		200	$Y = 2871,6 + 1,073 P - 0,0494 P^2$	***
		400	$Y = 2909,7 - 2,4141 P$	
AP1	Soja	0	$Y = 1162,5 + 20,094 P - 0,1355 P^2$	*
		50	$Y = 1358,6 + 3,4331 P$	**
		100	$Y = 1735,6 + 5,8257 P - 0,0283 P^2$	NS
		200	$Y = 1832,8 + 1,012 P - 0,0048 P^2$	NS
		400	$Y = 1783,7 - 1,0394 P$	**
AP2	Soja	0	$Y = 2171,8 + 4,7283 P$	*
		50	$Y = 2503 + 2,8063 P$	NS
		100	$Y = 2765 + 0,2321 P$	NS
		200	$Y = 2913,6 - 1,521 P$	NS
		400	$Y = 2700,1 - 1,0721 P$	NS
PJC1	Soja	0	$Y = 540,52 + 1,6696 P$	**
		50	$Y = 603,31 + 1,2406 P$	NS
		100	$Y = 715,54 + 1,4807 P$	***
		200	$Y = 853,57 + 0,488 P$	NS
		400	$Y = 999,09 - 1,6306 P$	**
M1	Milho	0	$Y = 1672 + 4,8451 P - 0,0161 P^2$	NS
		50	$Y = 1746,3 + 7,1719 P - 0,0391 P^2$	NS
		100	$Y = 2040,2 + 2,5822 P - 0,0317 P^2$	NS
		200	$Y = 1791,3 + 8,349 P - 0,0716 P^2$	*
		400	$Y = 1637,6 + 8,127 P - 0,0647 P^2$	***

I1	Milho	0	$Y = 1735,4 + 6,828 P - 0,0488 P^2$	NS
		50	$Y = 1790 + 1,1829 P$	NS
		100	$Y = 1743 + 3,8823 P - 0,0183 P^2$	NS
		200	$Y = 1713,7 + 2,2503 P$	***
		400	$Y = 1610,5 + 1,0659 P$	NS
I2	Milho	0	$Y = 1789,5 + 12,275 P - 0,0268 P^2$	NS
		50	$Y = 2180,1 + 16,289 P - 0,066 P^2$	NS
		100	$Y = 2622,8 + 5,9065 P - 0,0229 P^2$	NS
		200	$Y = 2757,1 + 2,107 P$	NS
		400	$Y = 3026,4 + 1,0255 P$	NS
AP2	Milho	0	$Y = 2105,2 + 5,9875 P$	*
		50	$Y = 2283,9 + 5,185 P$	*
		100	$Y = 2660,8 - 0,2375 P$	NS
		200	$Y = 2741 - 0,27 P$	NS
		400	$Y = 2816,4 - 0,1713 P$	NS
PJC1	Milho	0	$Y = 405,47 + 4,6654 P - 0,0133 P^2$	NS
		50	$Y = 406,71 + 6,6583 P - 0,0347 P^2$	NS
		100	$Y = 598,25 + 1,1496 P$	NS
		200	$Y = 735,42 + 0,9134 P - 0,003 P^2$	NS
		400	$Y = 785,5 - 0,7904 P - 0,0013 P^2$	NS
-----Soja safra 2003/04 -----				
M1	Trigo	0	$Y = 1907,8 + 11,348 P - 0,0821 P^2$	NS
		50	$Y = 2083,4 + 5,7626 P - 0,0251 P^2$	NS
		100	$Y = 2354,6 + 2,7452 P - 0,0055 P^2$	NS
		200	$Y = 2597,1 - 4,9837 P - 0,0123 P^2$	NS
M2	Trigo	0	$Y = 1326,3 + 6,5825 P$	*
		50	$Y = 1547,1 + 4,6315 P$	**
		100	$Y = 1748,7 + 10,307 P - 0,0573 P^2$	NS
		200	$Y = 1891,9 + 3,3319 P$	NS
I1	Trigo	0	$Y = 2995,5 + 9,6663 P - 0,1102 P^2$	***
		50	$Y = 3402,2 + 1,3149 P - 0,0513 P^2$	NS
		100	$Y = 2979,2 + 7,2134 P - 0,083 P^2$	NS
		200	$Y = 3210,9 - 3,4402 P$	***
I2	Trigo	0	$Y = 1239,1 + 7,253 P - 0,0157 P^2$	*
AP1	Trigo	0	$Y = 2742,1 + 10,563 P - 0,0196 P^2$	*
AP2	Trigo	0	$Y = 3518 + 8,1548 P - 0,0157 P^2$	*
PJC	Trigo	0	$Y = 1761,2 + 5,9283 P - 0,0107 P^2$	**

-----Milho safra 2003/04 -----				
M1	Trigo	0	$Y = 3835,9 + 26,355 P - 0,1381 P^2$	NS
		50	$Y = 3892,5 + 22,37 P - 0,1273 P^2$	NS
		100	$Y = 4692,6 - 0,2293 P$	NS
		200	$Y = 4938,3 - 3,5761 P$	NS
M2	Trigo	0	$Y = 2946,9 + 23,006 P - 0,0904 P^2$	NS
		50	$Y = 4222,6 + 13,409 P - 0,0608 P^2$	NS
		100	$Y = 4189,9 - 2,851 P$	NS
		200	$Y = 4762,6 - 4,9837 P - 0,0505 P^2$	NS
I1	Trigo	0	$Y = 5677,3 - 6,599 P$	NS
		50	$Y = 5626,7 - 2,051 P$	*
		100	$Y = 6746,2 - 15,467 P$	NS
		200	$Y = 6821,5 - 11,505 P$	*
I2	Trigo	0	$Y = 3343,6 + 12,1 P - 0,0231 P^2$	*
AP2	Trigo	0	$Y = 8572,4 + 8,003 P - 0,0124 P^2$	NS
PJC	Trigo	0	$Y = 3409 + 9,5461 P - 0,0142 P^2$	NS

* Significativo a 1%; ** Significativo a 5%; *** Significativo a 10%; NS Não significativo

Anexo 3. Precipitação ocorrida no Distrito de Carmen del Paraná (CRIA, 2005).

Período/dias Mês	1-10	11-20	21-31	Total
	-----mm-----			
Safra trigo 2003				
Abril/2003	28,8	82,5	52,0	163,0
Maio/2003	0,0	0,0	20,5	20,5
Junho/2003	33,7	45,0	0,0	78,7
Julho/2003	3,0	8,0	0,5	11,5
Agosto/2003	31,0	29,5	33,2	93,7
Setembro/2003	69,0	6,5	19,0	94,5
Total da safra	165,5	171,5	125,2	462,2
Safra milho e soja 2003/04				
Outubro/2003	90,0	104,5	56,0	250,5
Novembro/2003	9,9	150,4	124,2	284,5
Dezembro/2003	27,0	169,0	135,5	331,5
Janeiro/2004	4,5	28,5	24,5	57,5
Fevereiro/2004	93,0	37,0	0,0	130,0
Março/2004	27,0	58,0	0,0	85,0
Total da safra	251,4	547,4	340,2	1139
Safra trigo 2004				
Abril/2004	28,6	39,0	100,0	167,6
Maio/2004	4,6	11,0	64,4	79,8
Junho/2004	33,4	0,0	61,4	94,8
Julho/2004	4,9	60,5	16,0	81,4
Agosto/2004	15,5	1,4	44,5	61,4
Setembro/2004	0,5	40,5	112,3	153,3
Total da safra	87,5	152,4	398,6	638,5

Anexo 4. Precipitação ocorrida no Distrito de Iguazu (CETAPAR, 2005).

Período/dias Mês	1-10	11-20	21-31	Total
	-----mm-----			
Safra trigo 2003				
Abril/2003	89	64	0	153
Maio/2003	63	0	9	72
Junho/2003	66	14	0	80
Julho/2003	28	12	0	40
Agosto/2003	43	6	18	67
Setembro/2003	110	0	162	272
Total da safra	399	96	189	684
Safra milho e soja 2003/04				
Outubro/2003	193	15	239	447
Novembro/2003	0	156	72	228
Dezembro/2003	31	310	210	551
Janeiro/2004	25	0	60	85
Fevereiro/2004	9	19	5	33
Março/2004	68	8	0	76
Total da safra	326	508	586	1420
Safra trigo 2004				
Abril/2004	31	36	95	162
Maio/2004	60	160	207	427
Junho/2004	12	0	119	131
Julho/2004	61	158	16	235
Agosto/2004	0	0	16	16
Setembro/2004	0	54	13	67
Total da safra	164	408	466	1038

Anexo 5. Colheita de trigo 2004, maquina austríaca marca Wintersteiger.

