

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

**BALANÇO E EVOLUÇÃO TEMPORAL DE FÓSFORO
E POTÁSSIO EM TRÊS SOLOS SOB SISTEMA
PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Diego Augusto Fatecha Fois

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**BALANÇO E EVOLUÇÃO TEMPORAL DE FÓSFORO E
POTÁSSIO EM TRÊS SOLOS SOB SISTEMA PLANTIO
DIRETO NO PARAGUAI**

por

Diego Augusto Fatecha Fois

Dissertação apresentada ao 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: Prof. Telmo Jorge Carneiro Amado

Santa Maria, RS, Brasil

2010

F659b

Fois, Diego Augusto Fatecha, 1978-

Balço e evolução temporal de fósforo e potássio em três solos sob sistema plantio direto no Paraguai / Diego Augusto Fatecha Fois. – Santa Maria, 2010.

112 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2010.

“Orientador: Prof. Telmo Jorge Carneiro Amado”

1. Ciência do solo 2. Cultura de grãos 3. Plantio direto 4. Fósforo 5. Potássio I. Amado, Telmo Jorge Carneiro II. Título

CDU: 631.543

Ficha catalográfica elaborada por
Patrícia da Rosa Corrêa – CRB 10/1652
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**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

**BALANÇO E EVOLUÇÃO TEMPORAL DE FÓSFORO E POTÁSSIO
EM TRÊS SOLOS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI**

elaborada por
Diego Augusto Fatecha Fois

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Jackson Ernani Fiorin, Dr. (FUNDACEP)

Rodrigo da Silveira Nicoloso, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2010

DEDICATÓRIA

À meus pais: Augusto Fatecha Acosta e
Teresita Fois del Castillo (†).

À minha irmã: Maria Montserrat Fatecha Fois.

A essas pessoas maravilhosas, grandes amores da minha vida, a quem devo tudo, em especial pela compreensão, apoio, convívio e incentivo constante.

AGRADECIMENTOS

À Deus e a Virgem de Caacupé, pela fortaleza para enfrentar os problemas, pela presença em todas as horas e por guiar meus passos e abençoar meu caminho.

A meus pais Augusto e Teresita (+), pessoas que devo tudo, que auxiliaram no meu sustento durante todos estes anos e por acreditarem em mim para prosseguir na vida, pisando sempre firme e crescendo forte.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Centro de Ciências Rurais e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela possibilidade da realização do curso de mestrado.

Ao professor Telmo Jorge Carneiro Amado em especial, pela dedicação na orientação e ensinamentos, companheirismo, estímulo e mão amiga.

Aos Professores Thomé Lovato, Flavio Eltz e Carlos Ceretta pelo companheirismo e auxílio prestimoso, pelas horas de confraternização e sobre tudo, pelo exemplo de trabalho profissional.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e ao Programa PEC-PG (Programa Convênio Estrangeiros - Brasil), pela concessão da bolsa de estudo.

À Universidade Nacional de Assunção, ao Reitor Pedro Gonzalez, à Faculdade de Ciências Agrárias, ao Decano Lorenzo Meza, e aos colegas e amigos do Departamento de Solos e Ordenamento Territorial, pelo apoio e incentivo constante.

Aos meus amigos paraguaios Federico Barreto, Martin Cubilla e Jimmy Rasche e aos brasileiros Ademir Wendling, Paulo Albo e Miriam Rodrigues, pela

ajuda muito importante na realização deste trabalho, que sem eles não teria sido possível.

Ao meu amigo Ramiro Samaniego, pelo convívio, amizade, horas de estudo, futebol, churrascos e ajuda constante em tudo.

Aos compatriotas paraguaios Enrique Hahn, José Volpe, Enma Ortiz, Athahualpa Ayala e Enrique Benitez, pela amizade e companheirismo.

Aos colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFSM, Vitor Girardello, Jardes Bragagnolo e Marta da Rocha pelo apoio e ajuda inestimável em todas horas.

Aos bolsistas de iniciação científica e amigos do Setor de Manejo e Conservação do Solo, à Diego Schossler que voluntariamente auxiliou na execução deste trabalho, ao Júnior Kunz, Thiago Horbe, Fernando Hansel, Thiago Teixeira e Fabiano Tabaldi, pela amizade, viagens, horas de trabalho e pelo companheirismo.

Aos meus amigos Rodrigo Marques, Matheus Goes, Marcos Goes e Antero M., pela amizade, pelos churrascos e bons momentos compartilhados na vida.

Um agradecimento especial a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigado.

RESUMO

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

BALANÇO E EVOLUÇÃO TEMPORAL DE FÓSFORO E POTÁSSIO EM TRÊS SOLOS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI

Autor: Diego Augusto Fatecha Fois
Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado
Local e data da Defesa: Santa Maria, 26 de fevereiro de 2010.

As culturas de soja, milho e trigo ocupam atualmente 70% da área agrícola no Paraguai, com crescente consumo de fertilizantes, surgindo a necessidade do uso eficiente deste insumo. O objetivo deste trabalho foi analisar o balanço e evolução temporal de fósforo e potássio em três solos no sistema plantio direto no Paraguai. Os experimentos foram conduzidos nos departamentos de Itapúa, Alto Paraná e Misiones, com diferentes texturas e níveis de fertilidade, no período de 2003 a 2006. O delineamento foi de blocos ao acaso, com três repetições. Para P, aplicaram-se 0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ como doses de criação e, 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ como de manutenção. Para K foram utilizadas as doses de 0, 25, 75 e 100 kg ha⁻¹ de K₂O. Determinaram-se a produtividade das culturas, os rendimentos relativos, o balanço e a evolução temporal de P e K no solo. Itapúa e Misiones não apresentaram respostas em função às diferentes doses de P₂O₅ aplicadas, a exceção de Alto Paraná. Itapúa, Alto Paraná e Misiones não tiveram respostas significativas às doses de K₂O. A soja e o milho foram às culturas maiores extratoras de P e K em media com 40 e 46% do total exportado. Houve correlação entre as produtividades das culturas e o saldo de P em Alto Paraná e Misiones, a exceção de Itapúa. Não houve correlação entre os rendimentos relativos e o saldo de K em nenhum dos locais estudados. Em media dos três locais avaliados as parcelas de P e K sem adubação sofreram reduções de 2,7 e 8,7 mg dm⁻³ com taxas de 0,6 e 1,8 mg dm⁻³ respectivamente. Os teores de P e K se mantiveram constantes com doses acumuladas de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O. Foram necessários aplicar 11,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para elevar 1 mg dm⁻³ de P no solo e extrair 36,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para diminuir 1 mg dm⁻³ de P no solo, assim como aplicar 3,1 kg ha⁻¹ de K₂O para elevar 1 mg dm⁻³ de K e extrair 28,5 kg ha⁻¹ de K₂O para diminuir 1 mg dm⁻³ de K no solo.

Palavras chave: culturas de grãos, plantio direto, fósforo, potássio.

ABSTRACT

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

PHOSPHORUS AND POTASSIUM BALANCE AND TEMPORAL EVOLUTION IN THREE NO-TILL SOILS OF PARAGUAY

Author: Diego Augusto Fatecha Fois
Adviser: Telmo Jorge Carneiro Amado
Defense place and date: Santa Maria, February 26, 2010

Soybean, corn and wheat crops occupy actually 70% of the agricultural areas of Paraguay, with increasing fertilization consumption, suggesting the necessity of an efficient use of this input. The objectives of this work were to analyze the balance and temporal evolution of phosphorus and potassium in three no-till soils from Paraguay. The experiments were carried out in Itapua, Alto Parana and Misiones departments over soils with different textures and fertility levels from 2003 to 2006. The treatments followed a random blocks design with three replications. Phosphorus treatments had five fertility creation rates of 0, 50, 100, 200, and 400 kg P₂O₅ ha⁻¹ and four maintenance rates of 0, 40, 80, and 120 kg P₂O₅ ha⁻¹. Potassium treatments were four rates of 0, 25, 75, and 100 kg K₂O ha⁻¹. Crop and relative yields, P and K balance and evolution in the soil were determined. Itapua and Misiones did not present response for P₂O₅ amendment, with the exception of Alto Parana. Itapua, Alto Parana, and Misiones did not present significant responses to K₂O amendment. Soybean and corn were the major P and K extractor crops averaging 40 and 46% of the total nutrient exportation, respectively. There was correlation between crop yield and the P budget in Alto Parana and Misiones, with the exception of Itapua. There was no correlation between crops relative yields and the K budget in neither sites. At the average of the three sites the plot without fertilization decreased 2.7 and 8.7 mg dm⁻³ of P and K soil nutrient levels with rates of 0.6 and 1.8 mg dm⁻³ yr⁻¹, respectively. P and K contents were kept constant with amendments rates of 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ and 40 kg K₂O ha⁻¹. There was the necessity to apply 11 kg P₂O₅ ha⁻¹ to increase 1 mg P dm⁻³ of soil and extract 36.8 kg P₂O₅ ha⁻¹ to decrease 1 mg P dm⁻³ of soil. For potassium, 3.1 kg K₂O ha⁻¹ were necessary to increase 1 mg K dm⁻³ of soil and extract 28.5 kg K₂O ha⁻¹ to decrease 1 mg K dm⁻³ of soil.

Key words: grain crops, no tillage, phosphorus, potassium.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Caracterização da fertilidade do solo antes da instalação dos experimentos, em cada local, na camada 0-0,10 m de profundidade.....	25
Tabela 2.2	Seqüência de culturas de grãos produzidos nas áreas experimentais, no período de 2003 a 2006.....	25
Tabela 2.3	Rendimento absoluto (RA), rendimento absoluto acumulado (RAA) rendimento relativo (RR) alcançado nas seqüências T/S/T e T/M/T com doses de fósforo. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	33
Tabela 2.4	Rendimento absoluto (RA), rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado na seqüência T/S/T com doses de potássio. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	35
Tabela 2.5	Rendimento absoluto (RA) rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado na seqüência T/M/T com doses de potássio. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	35
Tabela 2.6	Quantidade de fósforo adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição- exportação) na seqüência T/S/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	38
Tabela 2.7	Quantidade de fósforo adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição- exportação) na seqüência T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	39
Tabela 2.8	Quantidade de potássio adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência T/S/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	42
Tabela 2.9	Quantidade de potássio adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	42
Tabela 2.10	Rendimento absoluto (RA), rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado nas seqüências M/T/P/T/S e S/T/P/M/T com doses de fósforo. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2004.....	46
Tabela 2.11	Rendimento absoluto (RA) rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado na seqüência M/T/P/T/S com doses de potássio. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	48

Tabela 2.12	Rendimento absoluto (RA) rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado na seqüência S/T/P/T/M com doses de potássio. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	48
Tabela 2.13	Quantidade de fósforo adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	50
Tabela 2.14	Quantidade de fósforo adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	51
Tabela 2.15	Quantidade de potássio adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) nas seqüências M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	54
Tabela 2.16	Quantidade de potássio adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) nas seqüências S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	55
Tabela 2.17	Rendimento absoluto (RA), rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado nas seqüências T/M/T/S/T com doses de fósforo. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	58
Tabela 2.18	Rendimento absoluto (RA), rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado nas seqüências T/S/T/M/T com doses de fósforo. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	59
Tabela 2.19	Rendimento absoluto (RA) rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado na seqüência T/M/T/S/T com doses de potássio. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	61
Tabela 2.20	Rendimento absoluto (RA) rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado na seqüência T/M/T/S/T com doses de potássio. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	62
Tabela 2.21	Quantidade de fósforo adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência T/M/T/S/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	65
Tabela 2.22	Quantidade de fósforo adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	66
Tabela 2.23	Quantidade de potássio adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência T/M/T/S/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	69

Tabela 2.24	Quantidade de potássio adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	69
Tabela 3.1	Quantidade de P ₂ O ₅ e K ₂ O (kg ha ⁻¹) necessários para elevar o teor de fósforo e potássio em 1 mg dm ⁻³ no solo. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	84
Tabela 3.2	Quantidade exportada necessária de P ₂ O ₅ e K ₂ O (kg ha ⁻¹) para diminuir o teor de fósforo e potássio em 1 mg dm ⁻³ no solo. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	85
Tabela 3.3	Quantidade de P ₂ O ₅ e K ₂ O necessários para elevar o teor em 1 mg dm ⁻³ de fósforo e potássio no solo nos distintos níveis e tratamentos. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	94
Tabela 3.4	Quantidade necessária exportadas de P ₂ O ₅ e K ₂ O para diminuir o teor em 1 mg dm ⁻³ de fósforo e potássio no solo, nos distintos níveis e tratamentos. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	94
Tabela 3.5	Quantidade de P ₂ O ₅ e K ₂ O necessários para elevar o teor em 1 mg dm ⁻³ de fósforo e potássio no solo nos distintos níveis e tratamentos. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	102
Tabela 3.6	Quantidade necessária exportadas de P ₂ O ₅ e K ₂ O para diminuir o teor em 1 mg dm ⁻³ de fósforo e potássio no solo, nos distintos níveis e tratamentos. Misiones, Paraguai. 2003-2006.....	102
Tabela 3.7	Quantidade de aplicação e exportação de P ₂ O ₅ e K ₂ O necessária em media para diminuir e aumentar o teor em 1 mg dm ⁻³ de fósforo e potássio no solo, nos distintos níveis e tratamentos nos três locais de avaliação. Paraguai. 2003-2006.....	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Esquema experimental com os tratamentos de fósforo e potássio.....	27
Figura 2.2	Representação das precipitações ocorridas no experimento de Itapúa durante o período de abril 2003 a outubro 2004. (Fonte: IAN-MAG, 2005).....	31
Figura 2.3	Produtividade acumulada de grãos em razão as doses de P_2O_5 acumuladas nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	34
Figura 2.4	Produtividade acumulada de grãos nos tratamentos com diferentes doses de criação e manutenção de P_2O_5 nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	34
Figura 2.5	Produtividade acumulada de grãos em razão as doses de K_2O acumuladas nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	36
Figura 2.6	Produtividade acumulada de grãos nos tratamentos com diferentes doses de manutenção de K_2O nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	36
Figura 2.7	Quantidade de P_2O_5 exportado no tratamento sem adubação de fósforo nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	39
Figura 2.8	Quantidade de P_2O_5 exportado nos diferentes tratamentos fertilizados com doses de P nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	40
Figura 2.9	Relação entre a aplicação e exportação de P_2O_5 nos diferentes tratamentos fertilizados com P nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	41
Figura 2.10	Relação entre o saldo de P_2O_5 e o rendimento relativo das culturas nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	41
Figura 2.11	Quantidade de exportação de K_2O das culturas nos tratamentos com doses de K_2O nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	43
Figura 2.12	Relação entre o saldo de K_2O e o rendimento relativo das culturas nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.....	43
Figura 2.13	Produtividade acumulada de grãos em razão as doses de P_2O_5 acumuladas nas seqüências M/T/T/S e S/T/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	47

Figura 2.14	Produtividade acumulada de grãos nos tratamentos com diferentes doses de criação e manutenção de P_2O_5 nas seqüências M/T/P/T/S e M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	47
Figura 2.15	Produtividade acumulada de grãos em razão as doses de K_2O nas seqüências M/T/P/T/S e S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006..	49
Figura 2.16	Produtividade acumulada de grãos nos tratamentos com diferentes doses de manutenção de K_2O nas seqüências M/T/P/T/S e S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	49
Figura 2.17	Quantidade de P_2O_5 exportado no tratamento sem adubação de fósforo nas seqüências S/T/P/T/M e M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	52
Figura 2.18	Quantidade de P_2O_5 exportado nos diferentes tratamentos fertilizados com doses de P nas seqüências S/T/P/T/M e M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	53
Figura 2.19	Relação entre a aplicação e exportação de P_2O_5 nos diferentes tratamentos fertilizados com P nas seqüências S/T/P/T/M e M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.....	53
Figura 2.20	Relação entre o saldo de P_2O_5 e o rendimento relativo das culturas nas seqüências S/T/P/T/M e M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006..	54
Figura 2.21	Quantidade de exportação de K_2O das culturas relacionado aos tratamentos com doses de K_2O nas seqüências S/T/P/T/M e M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2004.....	55
Figura 2.22	Representação das precipitações ocorridas no experimento de Misiones durante o período de abril 2003 a agosto 2005. Fonte: IAN-MAG. 2005.....	56
Figura 2.23	Produtividade acumulada de grãos em razão as doses de P_2O_5 acumuladas nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003 2005.....	60
Figura 2.24	Produtividade acumulada de grãos nos tratamentos com diferentes doses de criação e manutenção de P_2O_5 nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	61
Figura 2.25	Produtividade acumulada de grãos em razão as doses de K_2O aplicadas nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/S. Misiones, Paraguai. 2003-2006.....	62

Figura 2.26	Produtividade acumulada de grãos nos tratamentos com diferentes doses de manutenção de K_2O nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/S. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	62
Figura 2.27	Quantidade de P_2O_5 exportado no tratamento sem adubação de fósforo nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2006	64
Figura 2.28	Quantidade de P_2O_5 exportado nos tratamentos com doses de P nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	67
Figura 2.29	Relação entre a aplicação e exportação de P_2O_5 nos diferentes tratamentos fertilizados com P nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	68
Figura 2.30	Relação entre o saldo de P_2O_5 e o rendimento relativo das culturas nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	68
Figura 2.31	Quantidade de exportação de K_2O das culturas relacionado aos tratamentos com doses de K_2O nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.....	70
Figura 3.1	Evolução dos teores de fósforo no solo, nos diferentes níveis de criação em função as doses de P_2O_5 de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência T/S/T. Itapúa, Paraguai. 2003- 2004.....	77
Figura 3.2	Evolução dos teores de fósforo no solo nos diferentes níveis de criação em função as doses de P_2O_5 de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003- 2004.....	79
Figura 3.3	Evolução nos teores de fósforo no solo relacionados com o saldo (aplicação-exportação) de P_2O_5 nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003- 2004.....	80
Figura 3.4	Evolução dos teores de potássio no solo, em função as doses de K_2O de adubação de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência T/S/T. Itapúa, Paraguai. 2003- 2004.....	81
Figura 3.5	Evolução dos teores de potássio no solo, em função as doses de K_2O de adubação de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003- 2004.....	82
Figura 3.6	Evolução nos teores de potássio no solo com o saldo (aplicação-exportação) de K_2O nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003- 2004.....	83
Figura 3.7	Evolução dos teores de fósforo no solo nos diferentes níveis de criação em função as doses de P_2O_5 de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003- 2006.....	87

Figura 3.8	Evolução dos teores de fósforo no solo nos diferentes níveis de criação em função as doses de P_2O_5 de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai, 2003- 2006.....	89
Figura 3.9	Evolução nos teores de fósforo no solo relacionados com o saldo (aplicação-exportação) nas seqüências M/T/P/T/S e S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003- 2006.....	90
Figura 3.10	Evolução nos teores de fósforo no solo relacionados com o saldo (aplicação-exportação) nas seqüências M/T/P/T/S e S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003- 2006.....	91
Figura 3.11	Evolução dos teores de potássio no solo, em função as doses de K_2O de adubação de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003- 2006.....	92
Figura 3.12	Evolução dos teores de potássio no solo, em função as doses de K_2O de adubação de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003- 2006.....	93
Figura 3.13	Evolução dos teores de fósforo no solo nos diferentes níveis de criação em função as doses de P_2O_5 de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência T/M/T/S/T. Misiones, Paraguai, 2003- 2005.....	96
Figura 3.14	Evolução dos teores de fósforo no solo nos diferentes níveis de criação em função as doses de P_2O_5 de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai, 2003- 2005.....	97
Figura 3.15	Evolução nos teores de fósforo no solo relacionados com o saldo (aplicação-exportação) nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003- 2005.....	98
Figura 3.16	Evolução nos teores de fósforo no solo relacionados com saldo (aplicação/exportação) nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T Misiones, Paraguai. 2003- 2005.....	98
Figura 3.17	Evolução dos teores de potássio no solo, em função as doses de K_2O de adubação de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência T/M/T/S/T. Misiones, Paraguai. 2003- 2005.....	99
Figura 3.18	Evolução dos teores de potássio no solo, em função as doses de K_2O de adubação de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003- 2005.....	100
Figura 3.19	Evolução nos teores de potássio no solo relacionados com o saldo de K_2O nas seqüências T/M/T/S/T e T/M/T/S/T. Misiones, Paraguai. 2003- 2005.....	101

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	17
2	CAPÍTULO 1.....	20
2.1	Introdução.....	20
2.2	Objetivo geral.....	23
2.3	Material e metodos.....	23
2.3.1	Descrição da área experimental.....	23
2.3.2	Descrição dos experimentos.....	24
2.3.3	Delineamentos, unidades experimentais e tratamentos.....	26
2.3.4	Semeadura e condução.....	28
2.3.5	Avaliações.....	28
2.3.5.1	Amostragens e análises de solo.....	28
2.3.5.2	Produtividade de grãos das culturas.....	29
2.3.5.3	Determinação do rendimento relativo (RR) das culturas.....	29
2.3.5.4	Cálculo do balanço de nutrientes.....	30
2.4	Resultados e discussão.....	31
2.4.1	Itapúa.....	31
2.4.1.1	Produtividade das culturas em função as doses de fósforo e potássio.....	32
2.4.1.2	Saldo entre adição e exportação de P e K no experimento.....	37
2.4.2	Alto Paraná.....	44
2.4.2.1	Produtividade das culturas em função as doses de fósforo e potássio.....	44
2.4.2.2	Saldo de adição e exportação de P e K no experimento.....	50
2.4.3	Misiones.....	56
2.4.3.1	Produtividade das culturas em função das doses de fósforo e potássio.....	57
2.4.3.2	Saldo entre adição e exportação de P e K no experimento.....	63
2.5	Conclusões.....	70
3	CAPITULO 2.....	71
3.1	Introdução.....	75
3.2	Objetivo geral.....	74

3.3	Materiais e métodos.....	74
3.3.1	Avaliações.....	74
3.3.1.1	Estudo da evolução temporal dos teores de P e K.....	74
3.3.1.2	Determinação da capacidade tampão aparente do solo.....	75
3.4	Resultados e discussão.....	75
3.4.1	Itapúa.....	75
3.4.1.1	Evolução temporal dos teores de P no solo.....	76
3.4.1.2	Evolução temporal dos teores de K no solo.....	80
3.4.1.3	Capacidade tampão aparente de P e K do solo.....	83
3.4.2	Alto Paraná.....	85
3.4.2.1	Evolução temporal dos teores de P no solo.....	85
3.4.2.2	Evolução temporal dos teores de K no solo.....	91
3.4.2.3	Capacidade tampão aparente de P e K do solo.....	93
3.4.3	Misiones.....	94
3.4.3.1	Evolução temporal dos teores de P no solo.....	95
3.4.3.2	Evolução temporal dos teores de K no solo.....	99
3.4.3.3	Capacidade tampão aparente de P e K do solo.....	101
3.5	Conclusões.....	103
	REFERÊNCIAS.....	105

1 INTRODUÇÃO GERAL

No Paraguai são desenvolvidos vários setores, sendo o agropecuário, o mais importante em termos de produção, exportação e emprego, representando a base da economia do país. Com a introdução das culturas de soja, trigo e milho nos anos 70, a agricultura paraguaia teve um desenvolvimento baseado, quase exclusivamente, em culturas de grãos. Verificou-se então, a utilização da mecanização agrícola intensiva, acompanhada de práticas insustentáveis de manejo do solo e das culturas, que conduziram a um esgotamento dos solos, dando origem a processos erosivos, compactação, perda de fertilidade natural, contaminação das bacias hidrográficas, ocasionando 80% de desmatamento nas florestas naturais.

Isso em ocorrência do inadequado planejamento de uso racional e intensivo, que constitui-se como uma das principais razões para o aumento da pobreza e a insegurança alimentar enfrentados pelos agricultores, na maior parte do território rural, devido a redução da biodiversidade com os já conhecidos efeitos negativos, tanto a nível regional e como nacional.

Na década de 90, teve início a adoção do Sistema Plantio Direto (SPD) no Paraguai, sendo um processo recente, porém de grande intensidade, acompanhado por mudanças significativas no sistema de produção agrícola. Dentre as principais alterações, verifica-se que a maioria das lavouras com culturas de grãos que deixaram o sistema convencional de produção e passaram a empregar o SPD, ocasionando uma expansão da área de semeadura, inicialmente de 20.000 ha em 1992, para mais de 2.500.000 ha na safra 2008 (CAPECO, 2009).

Atualmente, o país possui o maior índice de adoção deste sistema conservacionista no mundo, sendo que 85% da sua área agrícola encontram-se em tal sistema. Essa informação traz consigo necessidade de modificação na profundidade de amostragem do solo, passando de 0-0,20 m utilizados no Sistema Convencional (SC), para 0-0,10 m, devido ao acúmulo de nutrientes na camada superficial, provocado pelo PD e pelo melhoramento genético das principais culturas de grãos, que além de aumentar o rendimento médio e a produtividade das mesmas ao longo do tempo, elevaram a necessidade de aplicação de fertilizantes minerais, buscando suprir as grandes taxas de exportação de nutrientes pelas colheitas e outras perdas, mantendo a sustentabilidade agrícola.

O Paraguai apresenta uma história agrícola recente, com carência de informações científicas referentes ao manejo da fertilidade dos solos. Somente no final da década de 90 (FATECHA, 1999) foi lançada a primeira recomendação de fertilizantes para as culturas anuais, com calibrações de N, P e K feitas no sistema convencional. Com isso, produtores e profissionais técnicos passaram a utilizar informações de manejo da fertilidade do solo, geradas no Brasil, como as do Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo e Minas Gerais, assim como da Argentina, para efetuar as recomendações de fertilização dos solos paraguaios. A adoção dessas recomendações de fertilizantes efetuou-se devido à semelhança nas condições edafoclimáticas, porém, as mesmas não foram testadas nem calibradas para os solos do país, ficando a dúvida sobre o seu ajuste para as condições paraguaias, reforçando assim a importância de desenvolver pesquisas na área de fertilidade do solo nas principais unidades de mapeamento do país visando o uso racional deste insumo. Verifica-se também a necessidade de contínuo aprimoramento das tabelas de recomendação de adubações.

Esta premissa foi inicialmente desenvolvida mediante vários experimentos conduzidos a campo, em distintas ecoregiões agrícolas produtivas do país, realizados conjuntamente pela Câmara Paraguaia de Exportadores de Cereais e Oleaginosas (CAPECO) e pela Universidade Federal de Santa Maria, RS (UFSM), através de um projeto conduzido de 2003 até 2006. Esse projeto teve como finalidade, a calibração das recomendações de adubação nitrogenada, fosfatada e potássica em sistema plantio direto para as culturas de soja, milho e trigo (CUBILLA, 2005; WENDLING, 2005; BARRETO, 2008).

Tais recomendações podem ser ainda aprimoradas, visto que a maioria das empresas e produtores rurais procuram, atualmente, elevadas produtividades e redução de custos. Tem-se então, a necessidade de conhecer a capacidade tampão dos principais solos paraguaios determinando a quantidade de nutrientes que deve ser adicionada ao solo para elevação dos teores de fósforo e potássio e de quanto pode ser retirado sem comprometer a sustentabilidade devido ao esgotamento do solo, começando pela correta interpretação da análise de solo, que tem como função principal avaliar o estado de fertilidade do mesmo (SCHLINDWEIN, 2003).

No capítulo 1 deste trabalho é apresentada uma alternativa válida para a quantificação da adição ou reposição de nutrientes, através de sistemas baseados na análise dos balanços nutricionais, definidos pela diferença dos ingressos de

nutrientes ao solo pelas adubações de correção e manutenção, e os egressos pela colheita de grãos e outras perdas (OLIVEIRA, 2003). Sendo que para o ótimo desempenho do solo, é fundamental a obtenção de boas estimativas das necessidades de nutrientes pelas plantas, aumentando assim, a eficiência na utilização de fertilizantes, aos quais são geralmente aplicados em doses inadequadas ao solo, acarretando na não reposição da quantidade extraída pelas culturas. Isso pode originar valores negativos, principalmente, no balanço de P e K, iniciando-se um processo de degradação e conseqüente redução da fertilidade natural do solo, o que aconteceu na região pampeana da Argentina, que anteriormente apresentava resposta a adubação potássica, e que devido aos sucessivos balanços negativos hoje sim tem resposta (GARCIA, 2001).

O balanço de nutrientes é considerado um importante indicador da sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola, cuja diferença entre as aplicações de fertilizantes e a remoção em grãos, indicam o grau de aumento ou redução dos teores de nutrientes no solo, pela sua dinâmica e evolução. Porém este balanço e o resultado da interação entre adubações e exportações com as características do solo tais como mineralogia, textura e manejo como sistema de preparo, desenvolveram-se pouco, sendo analisados no capítulo 2.

Baseado-se nas mudanças na agricultura paraguaia com a introdução do plantio direto e o esgotamento da fertilidade natural, este trabalho pretende servir como guia no uso eficiente de fertilizantes e aumento nas produtividades das culturas, acompanhado pelo melhoramento da qualidade do solo, tendo como objetivo geral o balanço e evolução temporal de fósforo e potássio em três solos sob sistema plantio direto no Paraguai.

2 CAPÍTULO 1: CÁLCULO DO BALANÇO DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DE CULTURAS EM TRÊS SOLOS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI

2.1 Introdução

A utilização racional de fertilizantes abrange vários aspectos que interagem juntos, destacando-se a aplicação da dose com a fonte correta, no momento e no local correto, relacionado com as condições edafoclimáticas e outras práticas de manejo do solo e da cultura, afetando o cultivo imediato e, freqüentemente, os subseqüentes na rotação (SANTI, 2007).

Os sistemas agrícolas são formados por numerosos fatores que atuam entre si, procurando-se introduzir a variabilidade nas condições do solo e da planta, que permitam um incremento na produção ao menor custo, mediante uma interpretação adequada das análises de solo, rotação de culturas com uso de plantas de cobertura, controle integrado de plantas daninhas, pragas e doenças, e o manejo eficiente do balanço nutricional (BRUULSEMA, 2009). Isso pode ser possível através da otimização no uso de fertilizantes e corretivos para as plantas, assegurando a qualidade ambiental, onde busca-se disponibilizar os nutrientes às plantas através de um pré-planejamento integrado, que relacione as condições econômicas e sociais adequadas para o sistema produtivo (AQUINO, 2009).

Os modelos de balanço de nutrientes devem sustentar-se numa série de fatores para descrever e quantificar a complexidade do sistema solo-planta, baseados em dados de produção e consumo de nutrientes a nível local, regional e continental, que permitem a conversão do processo em uma metodologia estimativa, sendo mais que um método de quantificação de ingressos e egressos de elementos do sistema agrícola.

Conceitualmente Garcia (2003) definiu o balanço de nutrientes como a diferença entre a quantidade de nutrientes que entram e saem de um sistema definido no espaço e tempo, que podem resultar deficitários ou acumulativos,

gerando-se situações de perdas ou ganho, constituindo os ingressos os aportes de fertilizantes, adubos orgânicos e resíduos de culturas anteriores, e os egressos pelos nutrientes que retiram-se nas colheitas de grãos, produtos animais, lixiviação, escorrimento, etc., calculadas em base a referências de concentrações indicadas a cada condição ambiental e de manejo, sendo considerado um importante indicador da sustentabilidade dos sistemas de produção.

Alguns estudos (GARCIA & CIAMPITTI, 2007) demonstraram que, considerando as principais culturas de grãos, os maiores balanços negativos coincidem com as áreas de maior difusão da soja, principalmente no Brasil e na Argentina, onde as quantidades de nutrientes e corretivos agrícolas ainda são menores que as quantidades de nutrientes removidas pelas colheitas, chegando a níveis de reposição de apenas 28% para o nitrogênio, 42% para o fósforo e 2% para o potássio (GARCIA, 2006).

Estes resultados não variaram muito nos últimos anos, mesmo considerando o incremento das fertilizações da soja, milho e cana de açúcar, que são as culturas que mais consomem adubos na região. Esta situação se apresenta ainda mais grave no Paraguai, devido ao escasso uso de fertilizantes, com apenas 40 mil Tn ano⁻¹ no início da década dos 90, apresentando um aumento para aproximadamente 180 mil Tn ano⁻¹ (MUSULLI et al. 1997), porém, ainda insuficiente para repor as altas taxas de exportação e perdas, constituindo um dos países com menor consumo no continente, por problemas financeiros da maioria dos agricultores, elevando-se para mais de 750 mil Tn ano⁻¹, chegando-se a um sob uso de fertilizantes (IICA, 2007).

O fertilizante fosfatado foi o adubo mais aplicado ao solo, devido à baixa disponibilidade de P, nos solos da região oriental do país (FATECHA, 1999; AMADO & ELTZ, 2007). Essa reduzida disponibilidade foi verificada por Fatecha (2004) num levantamento da fertilidade de solo na mesma região, destacando que 80% das análises dos solos avaliados apresentaram valores abaixo do nível crítico de 12 mg dm⁻³.

Schlindwein & Gianello (2008), numa calibração de métodos para determinação de P para os estados de RS e SC, verificaram que a soja foi a cultura que teve menor resposta à aplicação de fertilizantes, com aumento médio de 7,20 kg de grãos para cada kg de P₂O₅ adicionado ao solo, necessitando maior quantidade do mesmo para produção de 1 t de grãos, como quando comparados ao trigo e

milho que apresentaram melhor resposta, com 12,3 e 47,5 kg de grãos para cada kg de P_2O_5 adicionado ao solo.

Esse resultados concordam com a recomendação de Raij et al. (1997), que indicam a necessidade de 36,6; 13,7 e 11,4 kg de P_2O_5 por tonelada de grãos de soja, trigo e milho, respectivamente. Contudo, Cubilla (2005) verificou que o trigo é a cultura com menor resposta à adubação fosfatada, com aumento de 4,05 kg de grãos para cada kg de P_2O_5 aplicado ao solo; sendo as respostas de milho e soja iguais a 4,74 e 5,40 kg de grãos, respectivamente. Neste contexto, pode-se dizer que a eficiência agrônômica é maior para o milho e para a soja, embora ao implantar uma lavoura, na cultura da soja o retorno seja superior, devido ao seu bom preço no mercado do grão produzido, ao baixo custo de implantação e facilidade de condução, comparada aos cultivos de milho e trigo (FECOAGRO/RS, 2004).

A exportação de nutrientes está diretamente associada à sua concentração nos grãos e à produtividade das culturas, constatado por Fiorin (2008) num experimento de 10 anos, com diferentes sucessões de culturas sem adubação, que apresentaram balanços de nutrientes negativos. O autor verificou uma grande contribuição da fertilidade natural do solo para a manutenção da produtividade das culturas, observando alta relação entre a ciclagem de P e K com a produção de massa seca e de grãos. Porém, o comportamento das exportações foi semelhante para N, P e K, havendo diferenças significativas na ciclagem de nutrientes entre as distintas sucessões nos ciclos de culturas.

Mascarenhas (1997) afirma que depois do nitrogênio, o potássio é o segundo nutriente mais absorvido em grandes quantidades pela soja, sendo que, para cada 1000 kg de sementes produzidas são extraídos 20 kg. Bataglia & Mascarenhas (1977) encontraram um acúmulo de 28 kg de K em plantas de soja, com exportação de 60% pela ocasião da colheita, em comparação ao trigo e milho com apenas 6 kg t^{-1} (COMISSÃO..., 2004), sendo que para uma produção de 3500; 8000 e 10000 kg ha^{-1} de milho foram extraídos somente 80, 110 e 160 kg ha^{-1} desse nutriente.

Considerando que a maioria dos agricultores do Paraguai utilizam formulações de fertilizantes com baixa disponibilidade de K (FATECHA, 1999), somados com o predomínio da soja nos sistema de produção, deve-se prever a adequada fertilização com o nutriente a fim de evitar desequilíbrios da fertilidade do solo por esgotamento (NOVAIS, 1999; AMADO et al., 2007). Neste contexto, Borkert et al. (1997) afirmam que, inclusive Latossolos Roxos com alta fertilidade e alta

disponibilidade de K, não podem ser semeados por mais de dois anos com soja sem aplicação de K, devido à limitação na sua produtividade. Ainda, a fertilização de manutenção anual com apenas 80 kg ha⁻¹ de K₂O em um período de 5 anos provoca redução das reservas do solo, sendo a doses ideais de 120 kg ha⁻¹ de K₂O para a soja e 160 kg ha⁻¹ para a seqüência trigo/soja.

Num experimento de estimativa de exportação de nutrientes, Florentin et al. (2001) verificaram que a soja com rendimento médio de 2750 kg ha⁻¹ e o trigo com produtividade de 2000 kg ha⁻¹ extraíram 143, 10 e 50 kg ha⁻¹; e 72, 12 e 15 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente. Além disso, esses autores propõem a possibilidade de conseguir um menor egresso do P e K e um consumo equilibrado, mediante um plano de rotação com plantas de cobertura, demonstrando que para a seqüência crotalária juncea/aveia preta/soja foram consumidos até 21 kg ha ano⁻¹ menos de K, em comparação ao monocultivo trigo/soja. Os mesmos autores estimaram que a quantidade de macronutrientes exportados em uma seqüência de culturas, em rotação soja/trigo e soja/milho-tardio, tiveram os maiores valores com 215, 21 e 65 kg ha⁻¹; e 198, 25 e 72 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente.

2.2 Objetivo geral

Determinar o balanço anual do P e K no solo e produtividade das culturas de grãos, mediante estimativa de adições de fertilizantes e exportações via colheitas, no sistema plantio direto, em três solos de Paraguai.

2.3 Material e métodos

2.3.1 Descrição da área experimental

O Paraguai situado-se no Centro Sul do Continente, com uma superfície total de 406.752 Km², dos quais, 39,3% correspondem à Região Oriental com 159.827

Km² e o restante, 60,7% à Região Ocidental, o Chaco. A Região Oriental encontra-se entre os paralelos 22º 05' e 27º 30' latitude Sul e os meridianos 54º 15' e 58º 38' longitude Oeste, e se caracteriza por terrenos declivosos, com relevos suaves a moderados, que variam de 4 a 15% de inclinação, com superfície irregular e cotas variáveis de 150 a 840 metros acima do nível do mar.

Possui um clima classificado segundo Köppen (1931) de Cfa, subtropical úmido, mesotérmico, com verões quentes e invernos com geadas ocasionais. A precipitação média anual varia entre 1.300 a 1.900 mm, com chuvas distribuídas durante o ano, e ocorrência de períodos de estiagem nos meses de julho e agosto, e temperatura média mensal de 17 a 27°C.

A região Oriental do Paraguai apresenta, predominantemente, Argissolos, ocupando aproximadamente 65% das suas terras, sendo também encontrados Latossolos, Neossolos, Cambissolos entre outros (EMBRAPA, 1999).

Os solos onde foram conduzidos os experimentos são Latossolos Vermelhos, localizados nos Departamentos de Alto Paraná e Itapúa, com exceção do Departamento de Misiones que é composto por Argissolos Vermelho Amarelos de textura franca fina ou argilosa fina.

2.3.2 Descrição dos experimentos

Os experimentos avaliados corresponderam á os realizados por Cubilla (2005), Wendling (2005) e Barreto (2008), que foram conduzidos, no período de 2003 a 2006, em solos com diferentes texturas e níveis iniciais de fertilidade (Tabela 2.1), em zonas que reuniram as características mais representativas de produção de grãos, em localidades com histórico de adoção no sistema plantio direto no país. Os três experimentos foram conduzidos em rede, em distintos departamentos da região Oriental do país, constituído por Itapúa, Alto Paraná e Misiones

No Departamento de Itapúa, correspondente ao município de Bella Vista, foi instalado o primeiro experimento, em abril de 2003, sob Latossolo Vermelho, (EMBRAPA, 1999), mais apto para agricultura com alta fertilidade inicial e teores altos de P e K, acima do nível crítico (FATECHA, 2004) e textura franco argilosa. Neste local foram conduzidas três safras de culturas de grãos, em solos com mais

de 15 anos de produção no SPD e histórico de adubações e produtividades altas para as culturas produzidas na área.

O segundo experimento foi avaliado no departamento de Alto Paraná, distrito de Naranjal, tendo início em outubro de 2003, sob Latossolos Vermelhos (EMBRAPA, 1999) com fertilidade média e textura argilosa, além de altos teores de MO e K, e baixos de P. No local, foram produzidas quatro safras de culturas de grãos, estando este solo sob o SPD há mais de 12 anos.

O terceiro experimento foi conduzido no departamento de Misiones, iniciando em abril de 2003, no distrito de San Patrício, sob Argissolo (EMBRAPA, 1999), com vegetação nativa e fertilidade média a baixa (FATECHA, 2004), textura franco arenosa e com teores médios de P e baixos de K, sendo produzidas quatro safras de culturas de grãos, em rotação.

Tabela 2.1 Caracterização da fertilidade do solo antes da instalação dos experimentos, em cada local, na camada 0-0,10 m de profundidade.

Local	Argila	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	CTC
	-----g kg ⁻¹ -----			mg dm ⁻³	-----cmol _c L ⁻¹ -----				
Itapúa Alto Paraná	475	30	5,6	12,7	0,52	8,1	1,6	0,1	14,9
Paraná	470	42	6,5	7,9	0,91	12,8	1,0	0,0	18,7
Misiones	250	25	5,2	11,9	0,12	5,2	1,8	0,2	14,7

Deve-se considerar que nem todos os experimentos tiveram as mesmas safras durante o período de desenvolvimento do projeto (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 Seqüência de culturas de grãos produzidos nas áreas experimentais, no período de 2003 a 2006.

Experimento	Inverno 2003	Verão 2003/04	Inverno 2004	Verão 2004/05	Inverno 2005	Verão 2005/06
Itapúa Alto Paraná	Trigo	Soja e Milho	Trigo	-----	-----	-----
Paraná	-----	Soja e Milho	Trigo	-----	Trigo	Soja e Milho
Misiones	Trigo	Soja e Milho	Trigo	Soja e Milho	Trigo	-----

(---) não foi estabelecido

2.3.3 Delineamentos, unidades experimentais e tratamentos

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas com três repetições, conforme croqui experimental (Figura 2.1). As dimensões das parcelas experimentais foram de 5 x 8 m. Para o fósforo, as parcelas principais foram adubadas com cinco doses de fósforo (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), visando a criação de níveis de fertilidade. Nas sub-parcelas foram aplicadas quatro doses de fósforo (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) na ocasião da implantação das culturas, visando a obtenção de curva de resposta, sendo as aplicações efetuadas a lanço, em superfície, antes da semeadura.

No inverno de 2003 foram implantados 2 experimentos (Itapúa e Misiones) com doses de 0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para a obtenção de níveis de fertilidade e, semeadas posteriormente com trigo. No verão de 2003/2004 foi implantado o terceiro experimento (Alto Paraná), totalizando 3 no país e aplicado o tratamento com 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ somente para o mesmo. Aplicaram-se neste local as doses de criação de níveis e, semeadas posteriormente as culturas de milho e soja. Os experimentos instalados no inverno de 2003 (Itapúa e Misiones) foram semeados com milho e soja no verão, e imediatamente, aplicadas as doses de P₂O₅ de 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹. No inverno de 2004, todos os experimentos foram semeados com trigo e novamente aplicados as doses de 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹. No verão de 2004/2005 os experimentos Itapúa e Alto Paraná não foram estabelecidos, porém Misiones foi adubado e implantado com milho e soja. Na safra de inverno de 2005 foram semeados com trigo os experimentos Alto Paraná e Misiones, e no verão de 2005/2006 foi semeado com soja e milho, o experimento Alto Paraná.

Com relação ao potássio, os tratamentos consistiram de cinco doses de K₂O (0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹) com aplicações efetuadas em superfície, antes da semeadura das culturas. Foram aplicadas doses nos experimentos Itapúa e Misiones, sendo a primeira no trigo 2003, a segunda nas safras de milho e soja 2003/2004 e a terceira no trigo 2004. Os tratamentos com 100 kg ha⁻¹ foram implantados após a primeira safra de trigo, sendo aplicadas somente duas doses. No experimento Itapúa, foram subministradas doses de fertilizantes, sendo a primeira antes da safra de milho e soja 2003/2004 e a segunda na safra de trigo 2004.

As doses de fertilizantes fosfatados e potássicos foram aplicadas nas safras conduzidas no inverno 2003, verão 2003/2004 e inverno 2004, respeitando as mesmas quantidades nas mesmas parcelas. Já as safras de inverno 2005 e de verão 2005/2006 não foram fertilizadas, exceto as parcelas com nível 200 kg de P_2O_5 , em onde foram aplicadas 120 kg ha^{-1} de fósforo, e nas parcelas de 25 kg de K_2O , com o objetivo de obter mais pontos nas curvas de resposta.

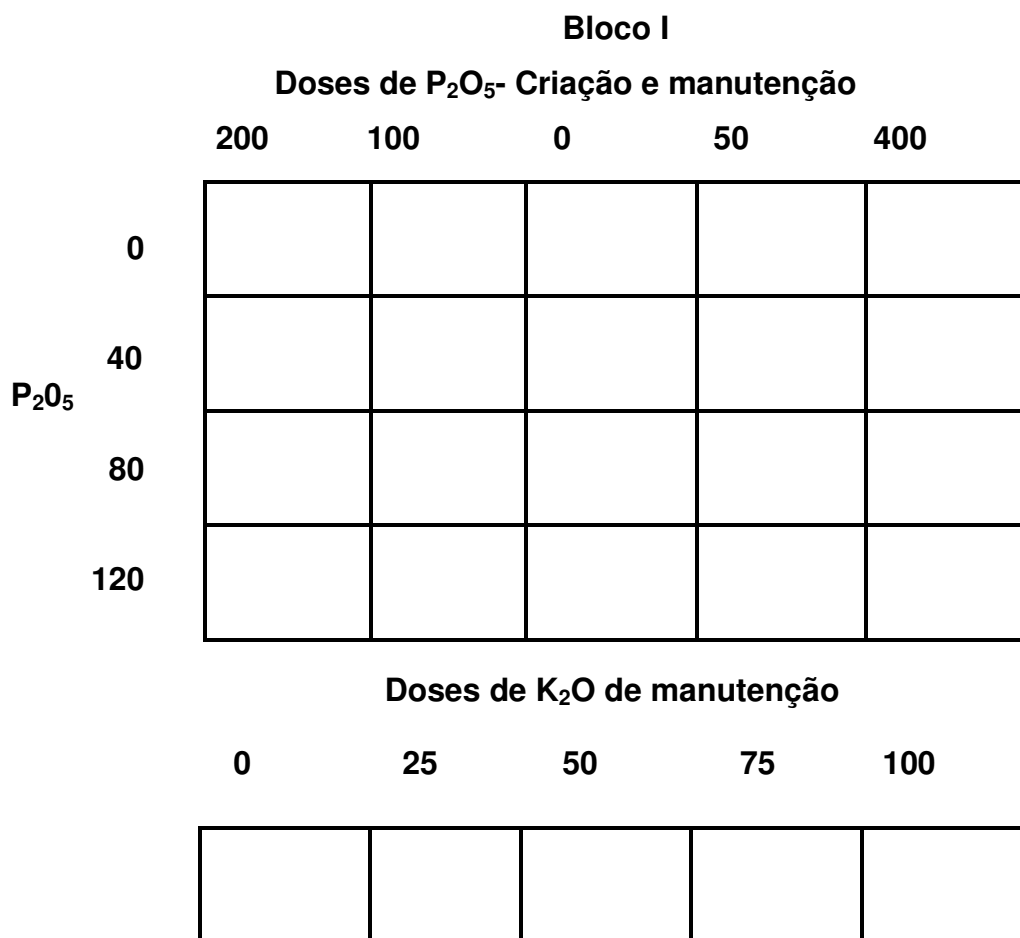


Figura 2.1 Esquema experimental com os tratamentos de fósforo e potássio.

2.3.4 Semeadura e condução

Todos os experimentos foram conduzidos sob sistema plantio direto. O trigo foi semeado em meados de maio e colhido em outubro, nos anos 2003, 2004 e 2005. O milho e a soja foram implantados na primeira semana de novembro de 2003, 2004 e 2005 e colhido em março do ano subsequente, respectivamente.

No estudo de doses P, as adubações de K_2O 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 e 75 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O para milho; 60 $kg\ ha^{-1}$ de N para o trigo (20 $kg\ ha^{-1}$ na semeadura e 40 $kg\ ha^{-1}$ em cobertura) e 180 $kg\ ha^{-1}$ de N para o milho (30 $kg\ ha^{-1}$ na semeadura e 150 $kg\ ha^{-1}$ em cobertura) aplicadas 30 a 40 dias após a semeadura. A mesma situação foi no estudo das doses de K, utilizando-se a dose de 100 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 para trigo, milho e soja e, 60 e 180 $kg\ ha^{-1}$ de N para o trigo e milho, respectivamente. As fontes utilizadas foram a uréia (45% de N), o superfosfato triplo (46% de P_2O_5) e o cloreto de potássio (60% de K_2O). As aplicações de N, P e K foram realizadas a lanço, com exceção do nitrogênio em milho, que foi efetuada na linha, com o auxílio de uma adubadora manual na semeadura e em cobertura.

O manejo e demais tratos culturais foram realizados seguindo as indicações técnicas específicas para cada cultura.

2.3.5 Avaliações

2.3.5.1 Amostragem e análises de solo

As amostragens de solo mediante utilização de trado calador foram efetuadas após a colheita das culturas de grãos, em todos os cultivos e parcelas dos 3 experimentos, durante os anos 2003 a 2006. Coletaram-se dez sub-amostras por parcela, na camada de 0 a 0,10 m, na linha e entrelinha, compondo a amostra representativa da mesma.

As análises de solos foram realizadas no laboratório do setor de conservação de solos da UFSM, segundo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

2.3.5.2 Produtividade de grãos das culturas

A avaliação de produtividade de grãos foi efetuada através de amostragens na maturação das culturas. No trigo 2003, coletaram-se três amostras de 0,25 m², totalizando 0,75 m² por parcela. No trigo 2004 e 2005 foi coletada uma área equivalente a 3,2 m² por parcela, com auxílio de uma colhedora de precisão, marca Wintersteiger. Nas culturas do milho e da soja, coletaram-se amostras de 6 m lineares (duas linhas de 3 m) no centro das parcelas.

2.3.5.3 Determinação do rendimento relativo (RR) das culturas

O rendimento relativo das culturas foi obtido em cada tratamento e repetição dos experimentos de P e K, em todos os locais avaliados, sendo estabelecido pela relação representada na equação 1:

$$RR (\%) = \frac{\text{Rendimento da cultura na parcela}}{\text{Rendimento máximo da cultura no experimento}} \times 100 \quad (1)$$

Os resultados do rendimento relativo das culturas nos experimentos de P e K foram ajustados mediante equações de regressão lineais o polimoniais para as doses de P₂O₅ e K₂O em cada cultivo.

2.3.5.4 Cálculo do balanço de nutrientes

O balanço nutricional de P e K no período de três anos foi determinado com base na diferença entre o ingresso e egresso de nutrientes ao sistema de produção das culturas, dados pela equação 2, (FIORIN, 2007).

$$\text{Balanço (PK)} = \text{Adição de PK} - \text{Exportação de PK} \quad (2)$$

O ingresso foi obtido mediante aplicação de fertilizantes, de acordo com a quantidade requerida pelas culturas. Para determinação do egresso foram utilizadas as informações de rendimento das culturas e os valores exportados de nutrientes para cada tonelada de grãos produzida, segundo proposição da Comissão...(2004), sendo para a cultura da soja 14 kg de P_2O_5 Mg^{-1} de grãos e 20 kg de K_2O Mg^{-1} de grãos, para a cultura do trigo 10 kg de P_2O_5 Mg^{-1} de grãos e 6 kg de K_2O Mg^{-1} de grãos e para a cultura do milho 8 kg de P_2O_5 Mg^{-1} de grãos e 6 kg de K_2O Mg^{-1} de grãos.

Os dados foram tabulados em uma planilha eletrônica Excel, onde foram calculados e ordenados por tratamento, safra e local experimental, os valores de nutrientes adicionados ao solo e os exportados via colheita. Desconsiderou-se para fins de cálculo, as possíveis perdas de P e K do sistema solo-planta, por não terem sido quantificadas.

Os resultados do balanço de P e K, quando comparados com os rendimentos relativos das culturas semeadas, foram ajustados mediante equações de regressão.

2.4 Resultados e discussão

2.4.1 Itapúa

No local do experimento, as avaliações foram realizadas em três safras de produção de grãos, em duas seqüências de culturas (trigo/soja/trigo) e (trigo/milho/trigo) no SPD durante o período de 2003 a 2004.

A ocorrência de déficit hídrico, com precipitações abaixo da media histórica, em alguns meses, especialmente no período de inverno (Figura 2.2), provavelmente limitaram a produtividade da cultura de trigo nas safras 2003 e 2004.

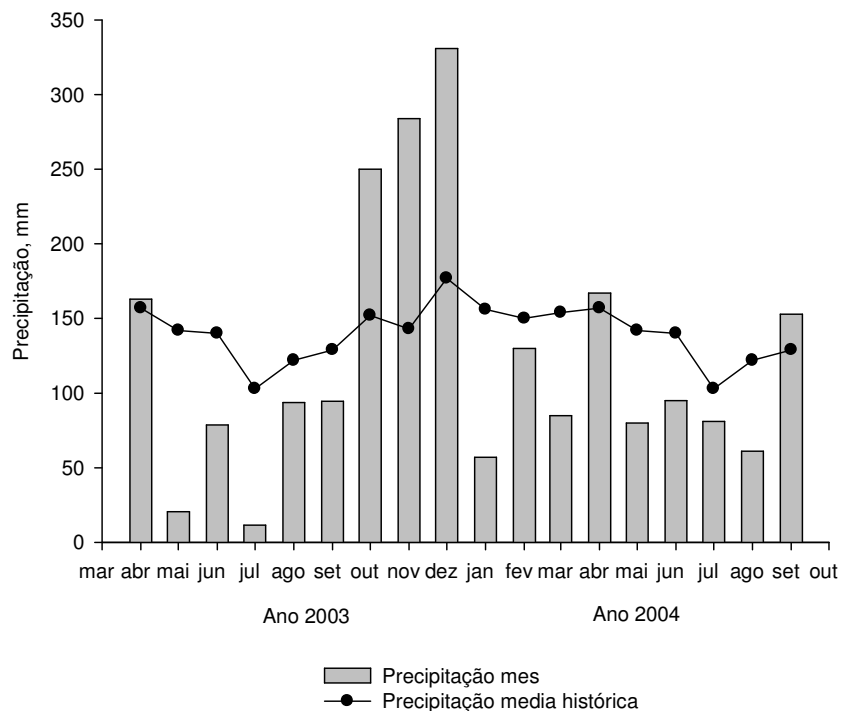


Figura 2.2 Representação das precipitações ocorridas no experimento de Itapúa durante o período de abril 2003 a outubro 2004. (Fonte: IAN-MAG, 2005).

2.4.1.1 Produtividade das culturas em função as doses de fósforo e potássio

No estudo de P nas duas seqüências de culturas (Tabela 2.3) do ano 2003, o trigo foi superior em todos os tratamentos, quando comparado à média do país de 2500 kg ha⁻¹ (CAPECO, 2009), não houve resposta significativa em função das doses de P₂O₅ de criação. Na safra 2003/2004, os rendimentos da soja e do milho enquadraram-se dentro da média departamental, com 3026 e 5653 kg ha⁻¹, apresentando pequenas variações de rendimentos mínimas e máximas, sendo de 26 e 30%, respectivamente, embora sem diferença significativa entre os tratamentos. No inverno 2004, o rendimento médio do trigo diminuiu comparada a safra anterior do cereal, devido aos períodos de estiagem, que afetaram o desenvolvimento normal do grão, não apresentando diferença significativa entre eles.

As três culturas de grãos neste local, tiveram pouca resposta à adubação fosfatada, sem diferenças entre os tratamentos (Figura 2.3), a conseqüência das condições de alta fertilidade natural desses solos com conteúdos iniciais de P maiores a 12 mg dm⁻³, com mais de 15 anos no SPD, com rotação de culturas, emprego de plantas de cobertura e fertilizações anuais de acordo a suas necessidades nutricionais.

Os rendimentos relativos das culturas em base aos rendimentos absolutos acumulados estiveram entre 78 e 100% nas seqüências T/S/T e T/M/T (Tabela 2.3) com médias gerais de 94 e 89% respectivamente, contudo, sem diferenças significativas, independente da dose de P₂O₅ aplicada para todos os tratamentos.

Tabela 2.3 – Rendimento absoluto (RA), rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado nas seqüências T/S/T e T/M/T com doses de fósforo. Itapúa, Paraguai. 2003-2004

Tratamento	Seqüência T/S/T					Seqüência T/M/T				
	Trigo 2003	Soja 2003/04	Trigo 2004	RAA (kg ha ⁻¹)	RR (%)	Trigo 2003	Milho 2003/04	Trigo 2004	RAA (kg ha ⁻¹)	RR (%)
	----- RA (kg ha ⁻¹) -----		----- RA (kg ha ⁻¹) -----							
1 N0 A0	3367	3007	2519	8893	90	3753	6077	1734	7811	91
2 N0 A40		3172	2769	9308	94		5547	1935	7482	87
3 N0 A80		3098	2858	9323	94		5062	1965	7027	82
4 N0 A120		2557	2329	8253	83		4899	1854	6753	79
5 N50 A0	3978	3378	2497	9853	99	3677	6231	1786	8067	94
6 N50 A40		3445	2503	9926	100		5052	1856	6958	81
7 N50 A80		3107	2831	9916	100		5947	1860	7857	91
8 N50 A120		2846	2298	9122	92		5222	1942	7214	84
9 N100 A0	3662	2930	2775	9367	94	3748	5778	1731	7609	89
10 N100 A40		3284	2759	9705	98		5848	1905	7853	91
11 N100 A80		2876	2838	9376	94		5973	1900	7973	93
12 N100 A120		2700	2315	8677	87		4674	1957	6731	78
13 N200 A0	3880	3292	2705	9877	100	3783	6342	1758	8300	97
14 N200 A40		2870	2829	9579	97		6661	1731	8592	100
15 N200 A80		3097	2687	9664	97		5595	1907	7702	90
16 N200 A120		2758	2523	9161	92		5545	1999	7744	90
MEDIA	3721	3026	2627	9375	94	3740	5653	1864	7605	89

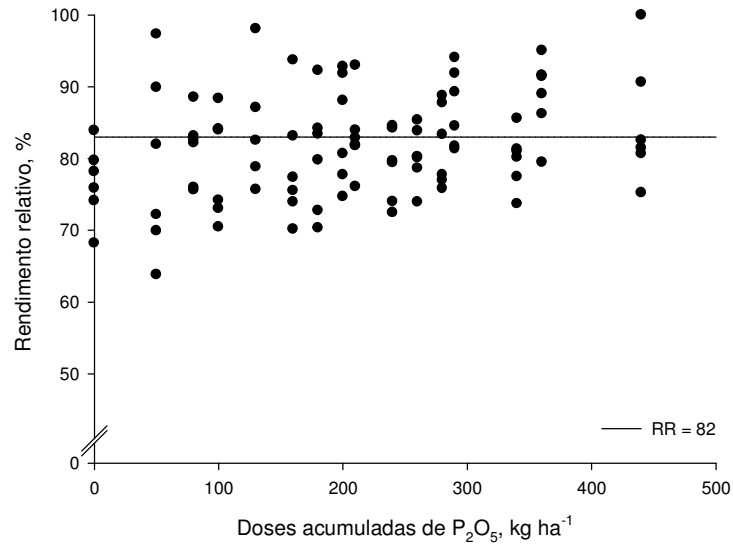


Figura 2.3 – Produtividade acumulada de grãos em razão as doses de P_2O_5 acumuladas nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

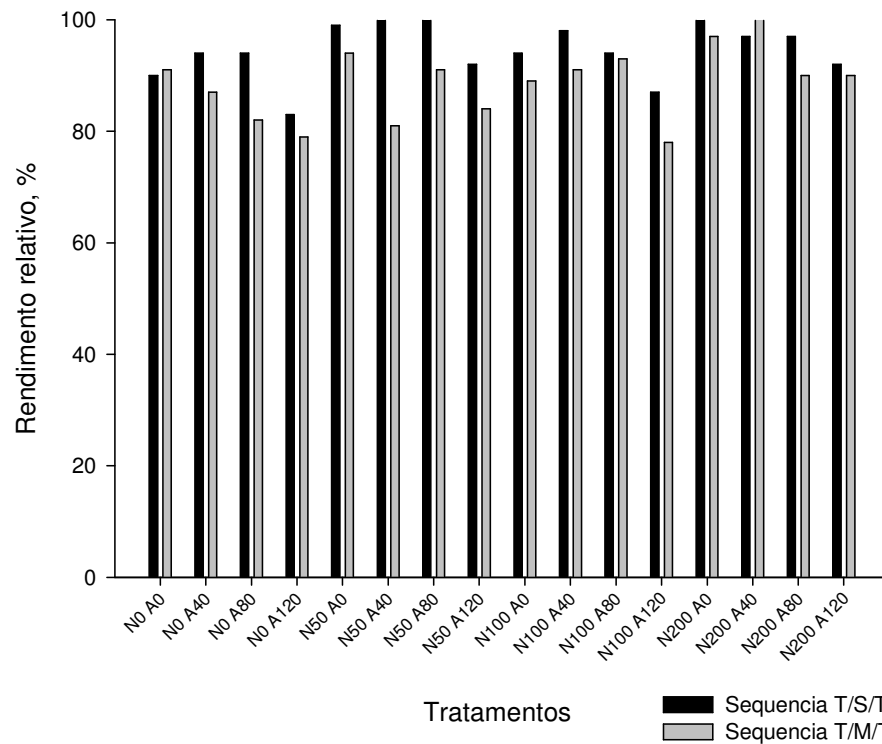


Figura 2.4 – Produtividade acumulada de grãos nos tratamentos com diferentes doses de criação e manutenção de P_2O_5 nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

Com relação aos experimentos com doses de K_2O nas rotações T/S/T (Tabela 2.4) e T/M/T (Tabela 2.5) os rendimentos do trigo 2003 e da soja 2003/2004 foram semelhantes, comparadas ao estudo de doses de P, com valores médios de 2921 e 5567 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente. O trigo 2004 também apresentou uma produtividade menor que 30% em relação a safra 2003.

Tabela 2.4 – Rendimento absoluto (RA) rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado na seqüência T/S/T com doses de potássio. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

Tratamento	Trigo 2003	Soja 2003/04	Trigo 2004	RAA ($kg\ ha^{-1}$)	RR (%)
	----- RA ($kg\ ha^{-1}$) -----				
1 A0	3374	2801	2494	8669	89
2 A25	3905	3049	2832	9786	100
3 A50	4097	2954	2574	9624	98
4 A75	3845	2879	2829	9553	98
MEDIA	3805	2921	2682	9408	96

Tabela 2.5 – Rendimento absoluto (RA) rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado na seqüência T/M/T com doses de potássio. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

Tratamento	Trigo 2003	Milho 2003/04	Trigo 2004	RAA ($kg\ ha^{-1}$)	RR (%)
	----- RA ($kg\ ha^{-1}$) -----				
1 A0	3613	6105	2063	11781	95
2 A25	4370	5063	2575	12008	97
3 A50	4164	5405	2815	12384	100
4 A75	3969	5695	2152	11816	95
MEDIA	4029	5567	2401	11997	97

Na Figura 2.5 observa-se uma quase nula resposta à fertilização potássica para as culturas nas duas seqüências, com rendimentos relativos em função as adubações acumuladas de K_2O , como conseqüência do predomínio dos altos teores de K, que foram geralmente maiores a $200\ mg\ dm^{-3}$, característica esta, considerada natural por Fatecha (2004), para maioria dos solos da Região Oriental do Paraguai. O autor verificou que 75% das análises realizadas entre 1980 até 2002 no país, apresentaram níveis de potássio iguais ou superiores a $75\ mg\ dm^{-3}$. No mesmo contexto, Brunetto et al. (2005) verificaram que para valores de K disponíveis, inferiores a $80\ mg\ dm^{-3}$, a resposta das culturas à adição de fertilizantes potássicos é quase nula. Os autores constataram que a metade da dose de K_2O recomendada

pela Comissão...(2004) já foi suficiente para atingir a máxima produtividade da soja, não respondendo a aplicação quando o teor no solo era superior a 50 mg dm^{-3} .

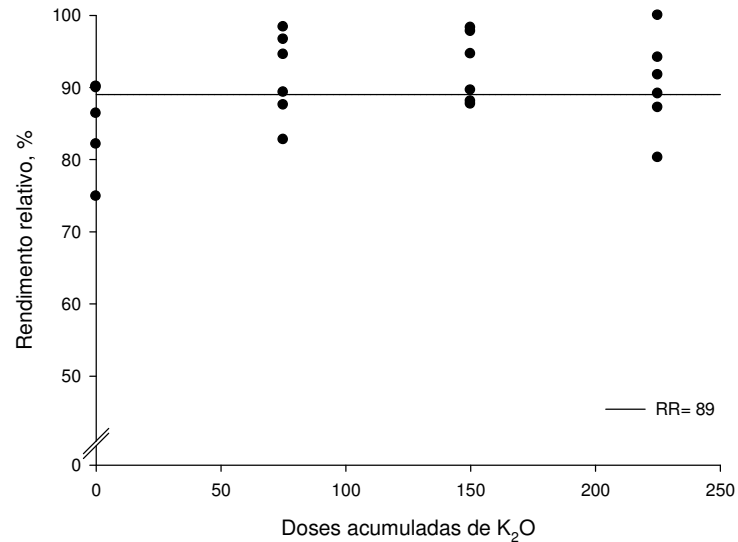


Figura 2.5 – Produtividade acumulada de grãos em razão as doses de K₂O acumuladas nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

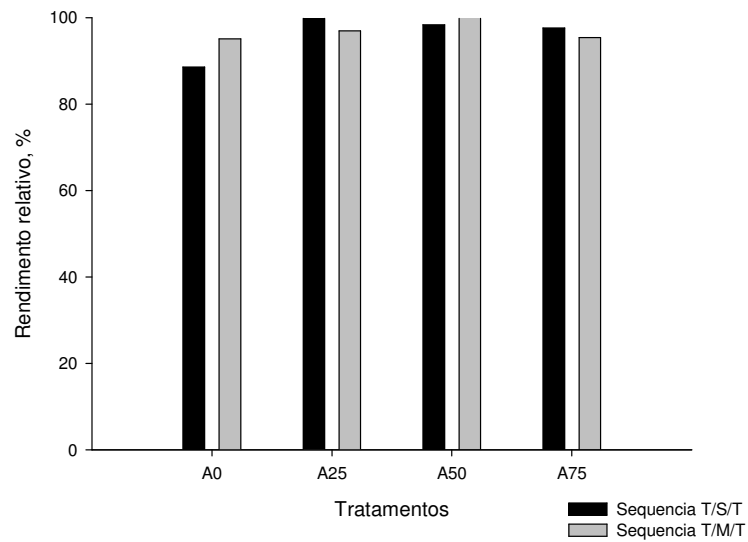


Figura 2.6 – Produtividade acumulada de grãos nos tratamentos com diferentes doses de manutenção de K₂O nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

2.4.1.2 Saldo entre adição e exportação de P e K no experimento.

No saldo de P, as fertilizações acumuladas na rotação T/S/T (Tabela 2.6) variaram de 0 até 337 kg ha⁻¹ de P₂O₅, apresentando saldos positivos na maioria dos tratamentos, com exceção de N0A0, N0A40, N50A0 e N100A0, onde as adubações foram menores comparadas às exportações. Nesse sentido, Vásquez (2002) menciona que o balanço negativo adquire relativa importância, no caso do P, pois a fertilização é a sua única fonte de entrada ao sistema. Aliado a isso é um nutriente que apresenta efeito residual elevado e baixa eficiência de recuperação, devido a sua retenção no solo (BERARDO, 2003), ocasionando um desbalanço nutricional que potencialmente afeta a produtividade das culturas.

Dentro dos tratamentos, as adições via fertilizantes foram 13% a 89% superiores as exportações via colheitas de grãos. As aplicações totais médias de fertilizantes foram de 208 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo 51% superiores comparadas às extrações, com valores de 106 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Na seqüência de rotação de culturas T/M/T, representada na Tabela 2.7, o balanço de P apresentou exportações totais que variaram entre 93 e 108 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com maior saldo negativo no tratamento sem adubação fosfatada de 104 kg ha⁻¹. Os resultados podem ser comparados com os valores encontrados por Ciampitti (2009) que num experimento de seis anos sem aplicação de P, encontrou no balanço, valores médios negativos de 152 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em duas rotações de culturas de grãos. Coincidentemente com Selles et al. (2007) também encontraram num experimento sem aplicações de P em nove anos de rotação trigo/pousio, um valor negativo de 53 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no balanço. Benbi & Biswas (1999) verificaram balanços negativos em uma rotação milho/trigo/ervilha, de 176 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na testemunha e 369 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no tratamento com nitrogênio. Nesse contexto, Garcia et al. (2006) sustentaram que um solo com um balanço negativo não pode necessariamente ser considerado de fertilidade inferior e, balanços neutros indicam que a quantidade de nutrientes no solo não mudou, porém a fertilidade pode ter sido alterada.

Foram observados saldos positivos para a maioria dos tratamentos, com uma faixa de ganho de P₂O₅ entre 62 a 338 kg ha⁻¹. Linquist et al. (1996) também encontraram balanços positivos durante um período de 8 anos de avaliação, com

doses acumuladas de 155, 310 e 930 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Doses estas, que excederam a extração por ocasião da colheita de grãos numa seqüência de 4 culturas de soja e posteriormente em rotação milho/soja, que apresentou valores iguais a 99, 235 e 843 kg ha⁻¹ P₂O₅. Esses nutrientes necessariamente não são perdidos do solo, podendo ser reutilizados pelos seguintes cultivos em rotação, dependendo da sua dinâmica no sistema solo-planta e das condições edafoclimáticas (GARCIA, 2003).

Fazendo uma comparação percentual de exportação com o tratamento sem adubação durante as três safras, foi constatando que o milho foi à cultura maior extratora de P com 49 kg ha⁻¹ em relação ao total, seguida da soja com 42 kg ha⁻¹. O trigo exportou em média, nas duas seqüências, 30 kg ha⁻¹ (Figura 2.7), podendo estimar que são necessários entre 100 a 105 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em média, para repor as exportações nas duas seqüências de culturas avaliadas neste local (T/S/T e T/M/T).

Tabela 2.6 – Quantidade de fósforo adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição- exportação) na seqüência T/S/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

Tratamento	Trigo 2003		Soja 2003/04		Trigo 2004		Total		Saldo
	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	
-----kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ -----									
1 N0 A0	0	34	0	42	0	25	0	101	-101
2 N0 A40	0	34	40	44	40	28	80	106	-26
3 N0 A80	0	34	80	43	80	29	160	106	54
4 N0 A120	0	34	120	36	120	23	240	93	147
5 N50 A0	50	40	0	47	0	25	50	112	-62
6 N50 A40	50	40	40	48	40	25	130	113	17
7 N50 A80	50	40	80	43	80	28	210	112	98
8 N50 A120	50	40	120	40	120	23	290	103	187
9 N100 A0	100	37	0	41	0	28	100	105	-5
10 N100 A40	100	37	40	46	40	28	180	110	70
11 N100 A80	100	37	80	40	80	28	260	105	155
12 N100 A120	100	37	120	38	120	23	340	98	242
13 N200 A0	200	39	0	46	0	27	200	112	88
14 N200 A40	200	39	40	40	40	28	280	107	173
15 N200 A80	200	39	80	43	80	27	360	109	251
16 N200 A120	200	39	120	39	120	25	440	103	337
MEDIA		37		43		26	208	106	

Tabela 2.7 – Quantidade de fósforo adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição- exportação) na seqüência T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

Tratamento	Trigo 2003		Milho 2003/04		Trigo 2004		Total		Saldo	
	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex		
-----kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ -----										
1	N0 A0	0	38	0	49	0	17	0	104	-104
2	N0 A40	0	38	40	44	40	19	80	101	-21
3	N0 A80	0	38	80	40	80	20	160	98	62
4	N0 A120	0	38	120	39	120	19	240	96	144
5	N50 A0	50	37	0	50	0	18	50	105	-55
6	N50 A40	50	37	40	40	40	19	130	96	34
7	N50 A80	50	37	80	48	80	19	210	104	106
8	N50 A120	50	37	120	42	120	20	290	99	191
9	N100 A0	100	37	0	46	0	17	100	100	0
10	N100 A40	100	37	40	47	40	19	180	103	77
11	N100 A80	100	37	80	48	80	19	260	104	156
12	N100 A120	100	37	120	37	120	20	340	94	246
13	N200 A0	200	38	0	51	0	18	200	107	93
14	N200 A40	200	38	40	53	40	17	280	108	172
15	N200 A80	200	38	80	45	80	19	360	102	258
16	N200 A120	200	38	120	44	120	20	440	102	338
MEDIA			37		46		18	258	95	

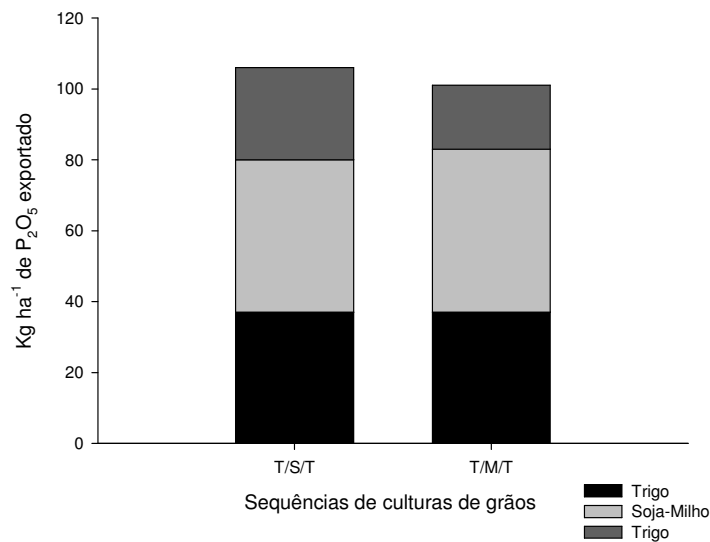


Figura 2.7 – Quantidade de P₂O₅ exportado no tratamento sem adubação de fósforo nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

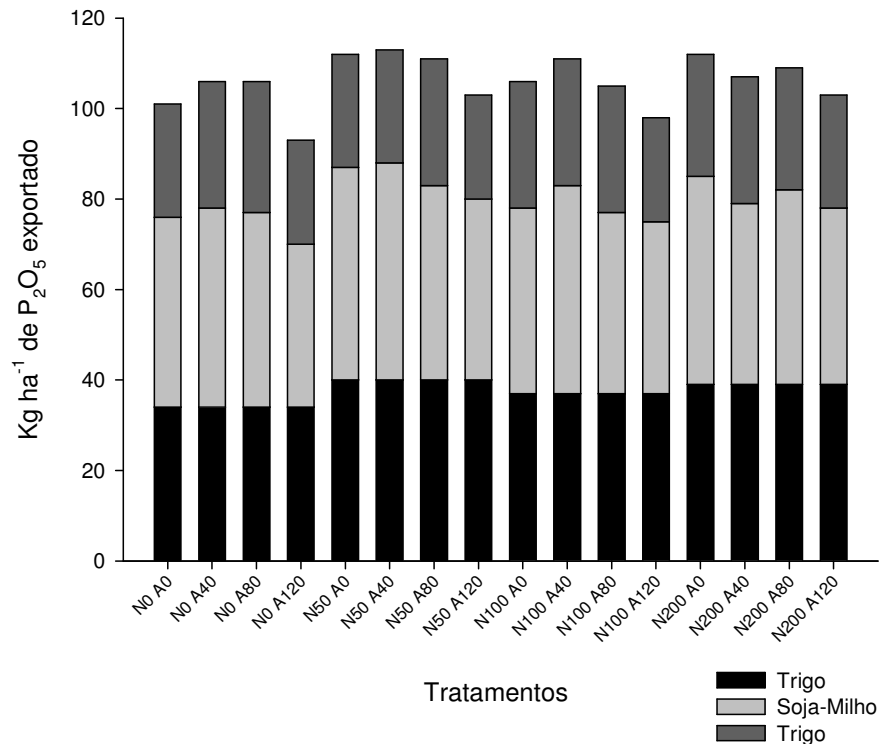


Figura 2.8 – Quantidade de P_2O_5 exportado nos diferentes tratamentos fertilizados com doses de P nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

Na Figura 2.9 são apresentados os resultados da relação entre a aplicação e exportação de P_2O_5 nos diferentes tratamentos sem efeito da adubação. Assim como os rendimentos relativos das culturas nas duas seqüências não tiveram resposta ao aumento do saldo positivo no balanço de P_2O_5 estimados pelos ingressos e egressos no sistema, observados na Figura 2.10.

Considera-se como possível causa desses resultados, a baixa precipitação ocorrida durante as safras do verão 2003 e inverno 2004, provocando um déficit de umidade no solo que limitou a absorção do nutriente pelas plantas, levando a uma reduzida exportação de nutrientes.

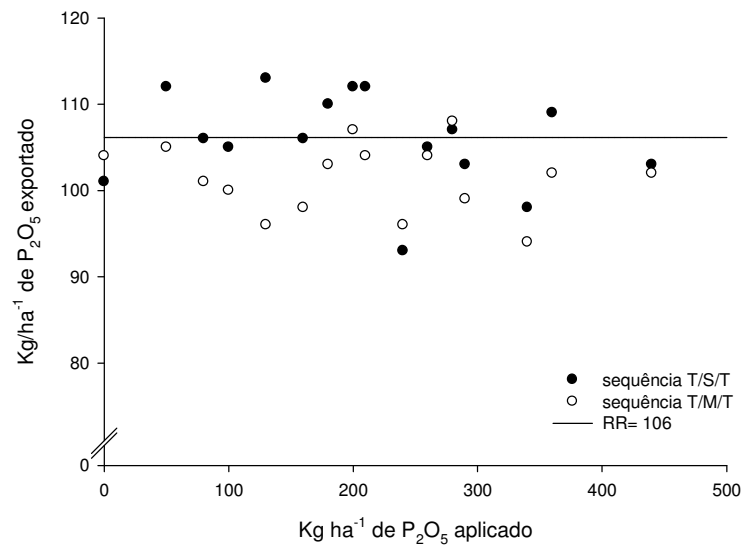


Figura 2.9 – Relação entre a aplicação e exportação de P₂O₅ nos diferentes tratamentos fertilizados com P nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

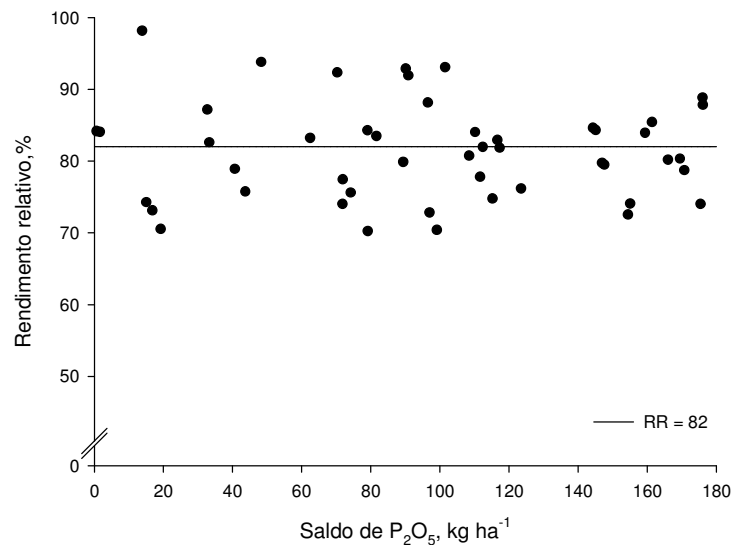


Figura 2.10 – Relação entre o saldo de P₂O₅ e o rendimento relativo das culturas nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004

No saldo do K para a seqüência T/S/T (Tabela 2.8) os tratamentos com adubação 0 e 25 kg ha⁻¹ apresentaram valores negativos de 91 e 1 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. Porém, para os tratamentos 50 e 75 kg ha⁻¹ de K₂O, as adubações foram superiores às exportações. Como esperado, a soja foi a cultura que mais removeu o nutriente do solo, 66% superior em relação ao trigo. Na rotação T/M/T o

saldo apresentou saldos positivos em todos os tratamentos que receberam fertilização potássica, com excessos entre 28 e 241 kg ha⁻¹ de K₂O (Tabela 2.9). A parcela sem adubação apresentou saldo negativo de 71 kg ha⁻¹ de K₂O. Os valores de exportação de K mantiveram-se relativamente baixos devido ao escasso rendimento das culturas, com medias de 19, 59 e 34 kg ha⁻¹ de K₂O para o trigo, soja e milho, respectivamente, totalizando no sistema, 112 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 2.11). Pode-se inferir que as exportações estão diretamente relacionadas à produtividade das culturas (FIORIN, 2008). Isto esta de acordo com os resultados obtidos por Santi (2007), que encontrou elevados valores de exportação, iguais a 48, 21 e 49 kg ha⁻¹ de K₂O para o milho, trigo e soja em sucessão, com um consumo total de 144 kg ha⁻¹ de K₂O, e com rendimentos superiores.

Tabela 2.8 – Quantidade de potássio adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência T/S/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

Tratamento	Trigo 2003		Soja 2003/04		Trigo 2004		Total		Saldo
	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	
-----kg ha ⁻¹ k ₂ 0-----									
1 A0	0	20	0	56	0	15	0	91	-91
2 A25	25	23	25	61	25	17	75	101	-1
3 A50	50	25	50	59	50	15	150	99	51
4 A75	75	23	75	58	75	17	225	98	127
MEDIA		23		59		16	135	93	

Tabela 2.9 – Quantidade de potássio adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

Tratamento	Trigo 2003		Milho 2003/04		Trigo 2004		Total		Saldo
	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	
-----kg ha ⁻¹ K ₂ 0-----									
1 A0	0	22	0	37	0	12	0	71	-71
2 A25	25	26	25	30	25	15	75	72	28
3 A50	50	25	50	32	50	17	150	74	76
4 A75	75	24	75	34	75	13	225	71	154
MEDIA		24		34		16	155	69	

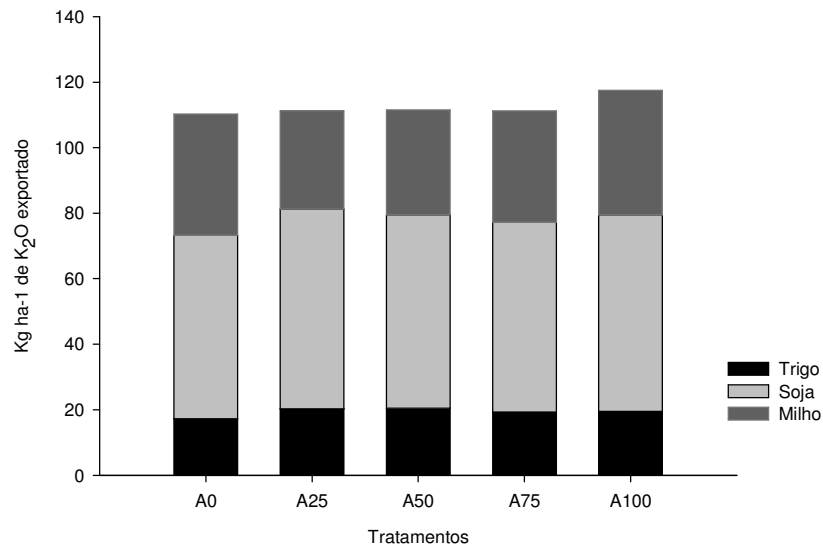


Figura 2.11 – Quantidade de exportação de K_2O das culturas nos tratamentos com doses de K_2O nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

Na Figura 2.12 são apresentados os resultados da relação entre a aplicação e exportação de K_2O nos diferentes tratamentos sem efeito da adubação potássica. Assim como os rendimentos relativos das culturas nas duas seqüências não tiveram resposta ao aumento do saldo positivo no balanço de K_2O , observados na Figura 2.13.

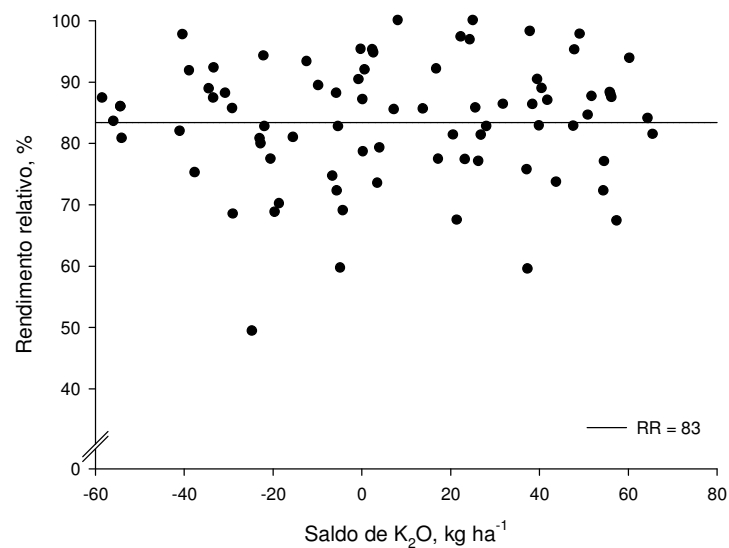


Figura 2.12 – Relação entre o saldo de K_2O e o rendimento relativo das culturas nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003-2004

2.4.2 Alto Paraná

Neste experimento as avaliações foram realizadas em quatro safras de culturas de grãos em duas seqüências (milho/trigo/pousio/trigo/soja e soja/trigo/pousio/trigo/milho), sob o sistema plantio direto, no período de 2003 a 2006, considerando-se que na safra do verão 2004/2005, correspondente à soja e ao milho, não foram semeadas.

As precipitações ocorridas neste local durante o período de produção de cada cultura foram satisfatórias, onde não verificou-se períodos prolongados de estiagem durante os três anos de duração do experimento.

2.4.2.1 Produtividade das culturas em função as doses de fósforo e potássio

As culturas do milho e da soja no estudo de doses de P, nas rotações M/T/P/T/S e S/T/P/T/M no verão 2003/2004, tiveram rendimentos elevados com media geral de 9000 kg ha⁻¹ e 4000 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 2.10) apresentando mínimas respostas significativas à fertilização fosfatada para a maioria dos tratamentos, a exceção do N50A80 e N400A120 com diferencias de rendimentos relativos maiores a 20%, comparados a testemunha. Os rendimentos relativos estiveram em media entre 70 e 100%.

O trigo 2004, semeado depois do milho e da soja, teve rendimentos semelhantes nas duas seqüências de rotação de culturas, com resposta à adubação para todos os tratamentos. No verão 2004/2005 não semeou-se soja e milho e a área também não foi fertilizada, sendo implantado novamente o trigo no seguinte inverno 2005. A produtividade foi semelhante em ambas seqüências, situando-se em aproximadamente 2500 kg ha⁻¹, com reduzida variabilidade entre tratamentos. A última safra avaliada foi a do verão 2005/2006, com rendimentos médios de 4228 kg ha⁻¹ para soja, com resposta à adubação fosfatada em alguns tratamentos e 6043 kg ha⁻¹ para milho sem diferencia significativa.

Os rendimentos relativos das culturas em base aos rendimentos absolutos acumulados estiveram entre 74 e 100% nas seqüências M/T/T/S e S/T/T/S (Tabela

2.10) com médias gerais de 93 e 90% respectivamente, contudo, sem diferenças significativas, independente da dose de P_2O_5 aplicada para todos os tratamentos.

As produtividades das culturas predominaram com médias acima de 70%, como pode-se observar na Figura 2.15.

Tabela 2.10 – Rendimento absoluto (RA), rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado nas seqüências M/T/P/T/S e S/T/P/M/T com doses de fósforo. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2004

Tratamento	Seqüência M/T/P/T/S							Seqüência S/T/P/T/M								
	Milho 2003/04	Trigo 2004	Pousio 2004/05	Trigo 2005	Soja 2005/06	Soja 2003/04	Trigo 2004	Pousio 2004/05	Trigo 2005	Milho 2005/06	Soja 2003/04	Trigo 2004	Pousio 2004/05	Trigo 2005	Milho 2005/06	
	RA (kg ha ⁻¹)			RAA (kg ha-1)				RA (kg ha ⁻¹)			RAA (kg ha-1)				RR (%)	
1 N0 A0	8474	2123	----	1781	3667	16045	80	3469	2177	----	1745	6111	10033	80		
2 N0 A40		2326	----	2460	3778	8564	85		2358	----	2399	5926	10683	86		
3 N0 A80		2539	----	2611	4222	9372	89		2570	----	2543	6173	11286	90		
4 N0 A120		2840	----	2509	4333	9682	90		2747	----	2501	4012	9260	74		
5 N50 A0	9058	2268	----	2258	3722	17306	86	3844	2486	----	2345	6296	11127	89		
6 N50 A40		2507	----	2724	4167	9398	92		2610	----	2739	5802	11151	89		
7 N50 A80		2790	----	2872	4667	10329	96		2715	----	2876	5988	11579	93		
8 N50 A120		2890	----	2298	4056	9244	91		2800	----	2345	6296	11441	92		
9 N100 A0	9307	2754	----	2189	3722	17972	89	4383	2810	----	2201	5309	10320	83		
10 N100 A40		2571	----	2651	2889	8111	87		2806	----	2546	5679	11031	88		
11 N100 A80		2590	----	2659	4500	9749	95		2522	----	2656	6481	11659	93		
12 N100 A120		2739	----	2641	4500	9880	95		2913	----	2740	6605	12258	98		
13 N200 A0	9582	2797	----	2385	3889	18653	93	4567	2909	----	2407	5864	11180	90		
14 N200 A40		2656	----	2414	4500	9570	95		2905	----	2399	5926	11230	90		
15 N200 A80		2701	----	2724	4444	9869	97		2701	----	2699	6605	12005	96		
16 N200 A120		2746	----	2795	4778	10319	99		2774	----	2879	5988	11641	93		
17 N400 A0	9807	2877	----	2609	4611	19904	99	4286	2881	----	2648	6667	12196	98		
18 N400 A40		2672	----	2911	4556	10139	99		2318	----	3100	5802	11220	90		
19 N400 A80		2749	----	2653	4889	10291	100		2896	----	2610	6975	12481	100		
20 N400 A120		2780	----	2649	4667	10096	99		2595	----	2610	6358	11563	93		
MEDIA	9246	2646	----	2540	4228	18660	93	4110	2675	----	2549	6043	11267	90		

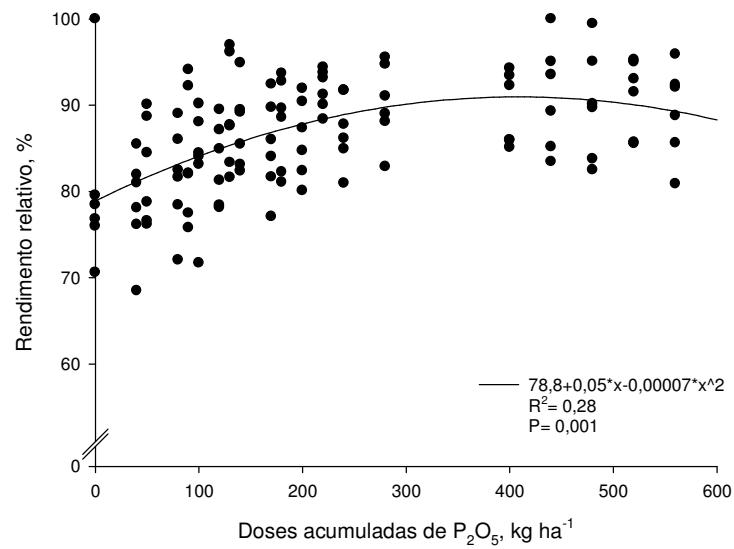


Figura 2.13 – Produtividade acumulada de grãos em razão as doses de P_2O_5 acumuladas nas seqüências M/T/T/S e S/T/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

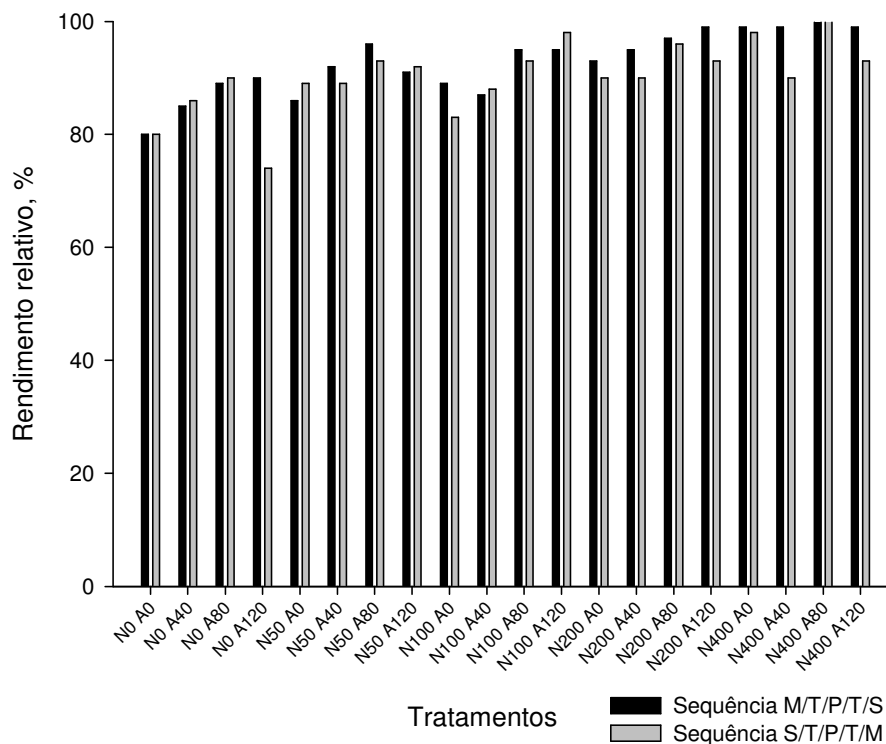


Figura 2.14 – Produtividade acumulada de grãos nos tratamentos com diferentes doses de criação e manutenção de P_2O_5 nas seqüências M/T/P/T/S e M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

No estudo de doses de K os rendimentos médios do milho e soja 2003/04, observados nas Tabelas 2.11 e 2.12, foram de 8543 kg ha^{-1} e 3825 kg ha^{-1} para as

seqüências M/T/P/T/S e S/T/P/T/M, respectivamente. Com o mesmo comportamento da soja e milho, as produtividades foram 10% menores quando comparadas às do estudo de doses de P, sem resposta à adubação potássica para nenhum dos tratamentos. O rendimento do trigo semeado após o milho foi de 1580 kg ha⁻¹, considerado baixo quando comparado à 2881 kg ha⁻¹, obtido após a soja. Isto pode ser atribuído ao ataque considerável de pragas e à presença de plantas daninhas verificados durante o ciclo da cultura, associado ao efeito de sinergismo existente na sucessão leguminosa/gramínea em relação à gramínea/gramínea. No verão 2004/2005 não foram semeadas nem adubadas as culturas da soja e milho, sendo semeado novamente na seguinte safra o trigo 2005, que apresentou rendimentos semelhantes aos das duas seqüências, com média de 2620 kg ha⁻¹. A soja e o milho 2005/2006 tiveram produtividades normais com médias de 4607 e 6321 kg ha⁻¹, respectivamente. Assim como no experimento de Itapúa, os teores iniciais de K se apresentaram muito altos, com valores maiores que 200 mg dm⁻³. Entretanto, todas as culturas produzidas no experimento não apresentaram respostas à adubação potássica, com rendimentos relativos elevados, sendo em sua maioria, superiores a 90%, como podem ser observados na Figura 2.16.

Tabela 2.11 – Rendimento absoluto (RA) rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado na seqüência M/T/P/T/S com doses de potássio. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

Tratamento	Milho		Pousio		Soja		RAA (kg ha ⁻¹)	RR (%)
	2003/04	Trigo 2004	2004/05	Trigo 2005	2005/06	2005/06		
----- RA (kg ha ⁻¹) -----								
1 A0	8341	1773	-----	2704	4644	17463	96	
2 A25	8100	1500	-----	2249	4444	16294	90	
3 A50	8810	1370	-----	2972	4389	17541	97	
4 A75	8749	1468	-----	2550	4556	17322	95	
5 A100	8716	1803	-----	2629	5000	18149	100	
MEDIA	8543	1580	-----	2621	4607	17354	96	

Tabela 2.12 – Rendimento absoluto (RA) rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado na seqüência S/T/P/T/M com doses de potássio. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

Tratamento	Soja		Pousio		Milho		RAA (kg ha ⁻¹)	RR (%)
	2003/04	Trigo 2004	2004/05	Trigo 2005	2005/06			
	----- RA (kg ha ⁻¹) -----							
1 A0	3716	2810	----	2699	5864		15094	89
2 A25	3807	2697	----	2200	6543		15297	90
3 A50	4074	3128	----	2890	6852		17026	100
4 A75	3723	2974	----	2702	6235		15481	91
5 A100	3807	2792	----	2590	6111		15339	90
MEDIA	3825	2860	----	2616	2620		15648	92

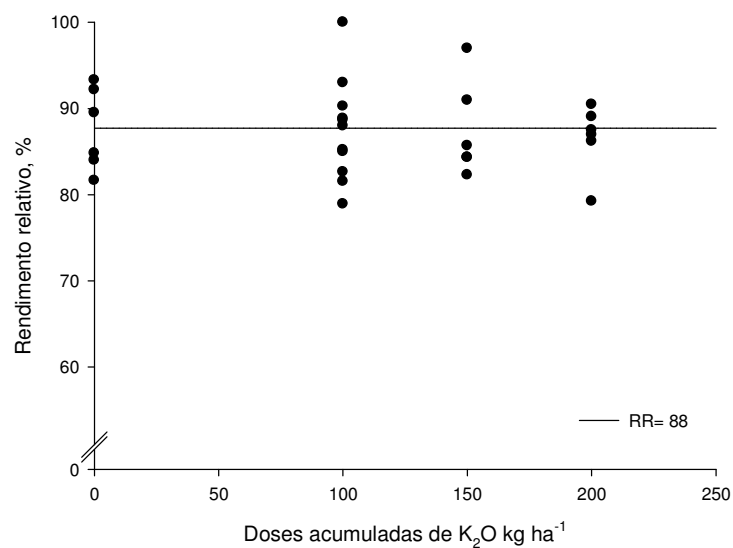


Figura 2.15 – Produtividade acumulada de grãos em razão as doses de K₂O nas seqüências M/T/P/T/S e S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

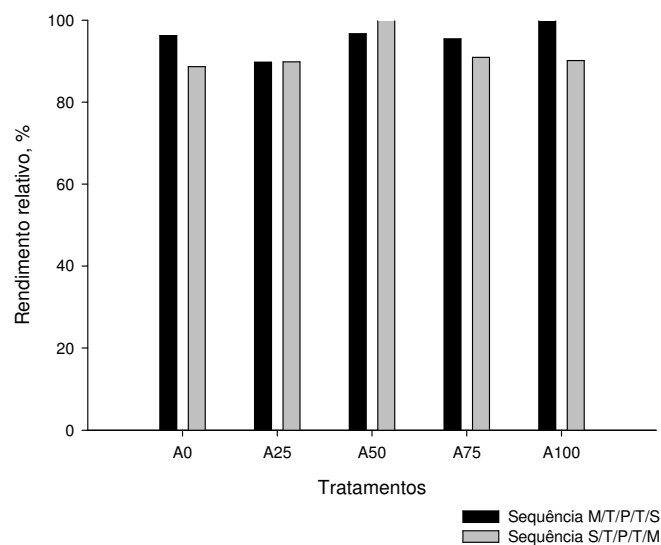


Figura 2.16 – Produtividade acumulada de grãos nos tratamentos com diferentes doses de manutenção de K₂O nas seqüências M/T/P/T/S e S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

2.4.2.2 Saldo entre adição e exportação de P e K no experimento.

Os valores de saldo de P na seqüência M/T/P/T/S (Tabela 2.13), no tratamento sem fertilização fosfatada foi negativo em 158 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Isto é elevado quando comparado ao encontrado por Linquist et al. (1996) que, num estudo de rotação milho/soja, verificaram que a testemunha, que não recebeu doses de P durante 8 anos consecutivos, apresentou saldo negativo acumulado de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Corroborando com esse resultado, Picone et al. (2008) determinaram um saldo negativo de 34 kg ha⁻¹ de P₂O₅ numa rotação milho/soja sem fertilização, em dois anos de produção.

Nas parcelas com níveis de criação 0, 50 e 100 de P, as exportações foram maiores que as aplicações, em quase todos os tratamentos, variando de 9 a 129 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Os níveis 200 e 400 de P resultaram em saldos positivos, com valores de até 361 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de ganho.

Tabela 2.13 – Quantidade de fósforo adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

Tratamento	Milho				Pousio 2004/05	Soja				TOTAL Ap Ex	SALDO		
	2003/2004		Trigo 2004			Trigo 2005		2005/06					
	Ap	Ex	Ap	Ex		Ap	Ex	AP	Ex	Ap	Ex		
----- kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ -----													
1	N0 A0	0	68	0	21	-----	0	18	0	51	0	158	-158
2	N0 A40	0	68	40	23	-----	0	25	0	53	40	169	-129
3	N0 A80	0	68	80	26	-----	0	26	0	59	80	179	-99
4	N0 A120	0	68	120	28	-----	0	25	0	61	120	182	-62
5	N50 A0	50	72	0	23	-----	0	23	0	52	50	170	-120
6	N50 A40	50	72	40	25	-----	0	27	0	58	90	183	-93
7	N50 A80	50	72	80	27	-----	0	29	0	65	130	194	-64
8	N50 A120	50	72	120	29	-----	0	23	0	57	170	181	-11
9	N100 A0	100	74	0	28	-----	0	22	0	52	100	176	-76
10	N100 A40	100	74	40	26	-----	0	27	0	40	140	167	-27
11	N100 A80	100	74	80	25	-----	0	27	0	63	180	189	-9
12	N100 A120	100	74	120	27	-----	0	26	0	63	220	191	29
13	N200 A0	200	77	0	28	-----	0	24	0	54	200	183	17
14	N200 A40	200	77	40	27	-----	0	24	0	63	240	190	50
15	N200 A80	200	77	80	27	-----	0	27	0	62	280	193	87
16	N200 A120	200	77	120	27	-----	120	28	120	67	560	199	361
17	N400 A0	400	78	0	29	-----	0	26	0	65	400	198	202
18	N400 A40	400	78	40	29	-----	0	27	0	68	480	202	278
19	N400 A80	400	78	80	27	-----	0	29	0	64	440	198	242
20	N400 A120	400	78	120	28	-----	0	26	0	65	520	198	322
MÉDIA			74		26	-----		25		59	222	185	

Na seqüência S/T/P/T/M, apresentada na Tabela 2.14, o comportamento foi semelhante na seqüência M/T/P/T/S, sendo obtidos para os níveis 0, 50 e 100 de P, saldos negativos em todos seus tratamentos. Ainda, verificou-se equilíbrio das exportações, com fertilizações acumuladas que estiverem acima dos 200 kg ha⁻¹ de P. Neste contexto, Selles et al. (2007) verificaram, após 27 anos de fertilizações, com doses anuais médias de 8,7 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aumentos no balanço de P em 74, 64, 108 e 154 kg ha⁻¹, correspondentes ao cultivo de trigo em pousio com P, N+P e sobre resíduos culturais com P e N+P, respectivamente.

Tabela 2.14 – Quantidade de fósforo adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

Tratamento	Soja					Milho				TOTAL		SALDO
	2003/2004		Trigo 2004		Pousio	Trigo 2005		2005/06		Ap	Ex	
	Ap	Ex	Ap	Ex	2004/05	Ap	Ex	AP	Ex	Ap	Ex	
-----kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ -----												
1 N0 A0	0	49	0	22	-----	0	17	0	49	0	137	-137
2 N0 A40	0	49	40	24	-----	0	24	0	47	40	144	-104
3 N0 A80	0	49	80	25	-----	0	25	0	49	80	149	-69
4 N0 A120	0	49	120	27	-----	0	25	0	32	120	133	-13
5 N50 A0	50	54	0	25	-----	0	23	0	50	50	152	-102
6 N50 A40	50	54	40	26	-----	0	27	0	46	90	154	-64
7 N50 A80	50	54	80	28	-----	0	29	0	48	130	158	-28
8 N50 A120	50	54	120	28	-----	0	23	0	50	170	156	14
9 N100 A0	100	61	0	28	-----	0	22	0	42	100	154	-54
10 N100 A40	100	61	40	28	-----	0	25	0	45	140	160	-20
11 N100 A80	100	64	80	29	-----	0	30	0	58	180	181	-1
12 N100 A120	100	61	120	29	-----	0	27	0	53	220	171	49
13 N200 A0	200	61	0	29	-----	0	24	0	47	200	161	39
14 N200 A40	200	61	40	29	-----	0	24	0	47	240	162	78
15 N200 A80	200	61	80	27	-----	0	27	0	53	280	168	112
16 N200 A120	200	61	120	28	-----	120	29	120	48	560	166	394
17 N400 A0	400	60	0	29	-----	0	26	0	53	400	169	231
18 N400 A40	400	60	40	23	-----	0	31	0	46	480	161	279
19 N400 A80	400	60	80	27	-----	0	26	0	56	440	169	311
20 N400 A120	400	60	120	26	-----	0	26	0	51	520	163	357
MEDIA		57		27			26		49		158	

Ao analisar o saldo do P, comparando as duas seqüências de culturas, os saldos finais coincidiram, com resultados semelhantes em cada nível e tratamento. Isso indica que as extrações pela colheita de grãos e as reposições de P pelas frações moderadamente lábeis ou liberadas a partir de uma fonte adicional de P

orgânico foram equivalentes (GATIBONI et al. 2007), sendo a soja e o milho responsáveis por 80% dos saldos negativos.

Nas seqüências de culturas as extrações médias do milho e da soja foram, respectivamente, de 57 kg ha⁻¹ e 74 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo esses resultados superiores ao trigo, que apresentou 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

São necessários 147,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para repor as exportações nas rotações e M/T/P/T/S e S/T/P/T/M, observadas na Figura 2.18. Assim como na Figura 2.19 se observa a soja como a principal extratora de P, seguido pelo milho e em menor proporção o trigo, sem apresentar-se um efeito significativo das adubações de P₂O₅ com relação as quantidades exportadas (Figura 2.20)

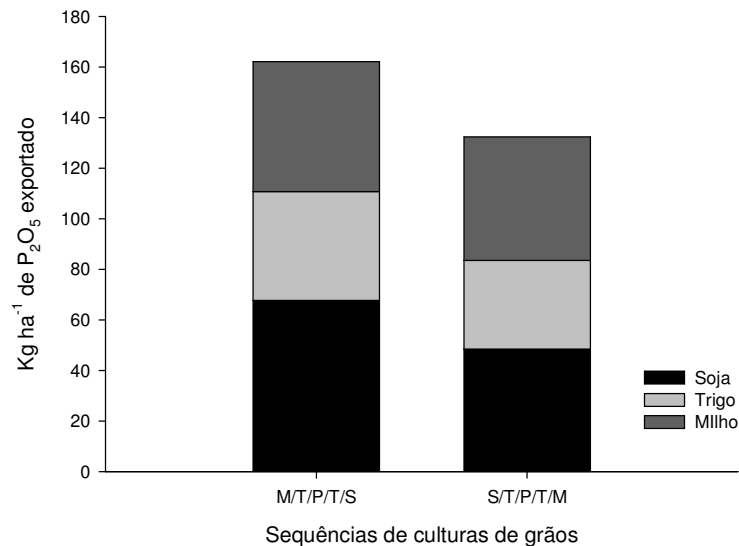


Figura 2.17 – Quantidade de P₂O₅ exportado no tratamento sem adubação de fósforo nas seqüências S/T/P/T/M e M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

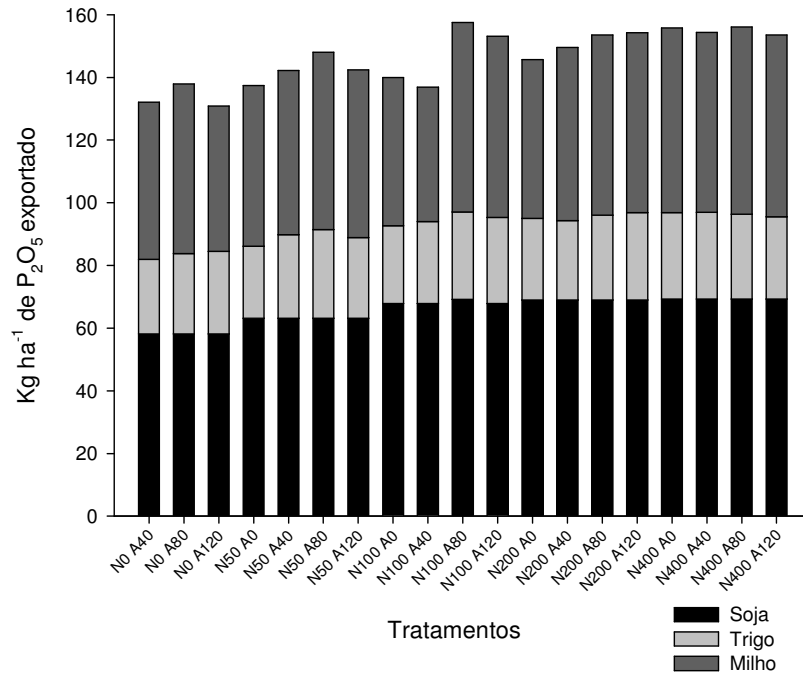


Figura 2.18 – Quantidade de P₂O₅ exportado nos diferentes tratamentos fertilizados com doses de P nas seqüências S/T/P/T/M e M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

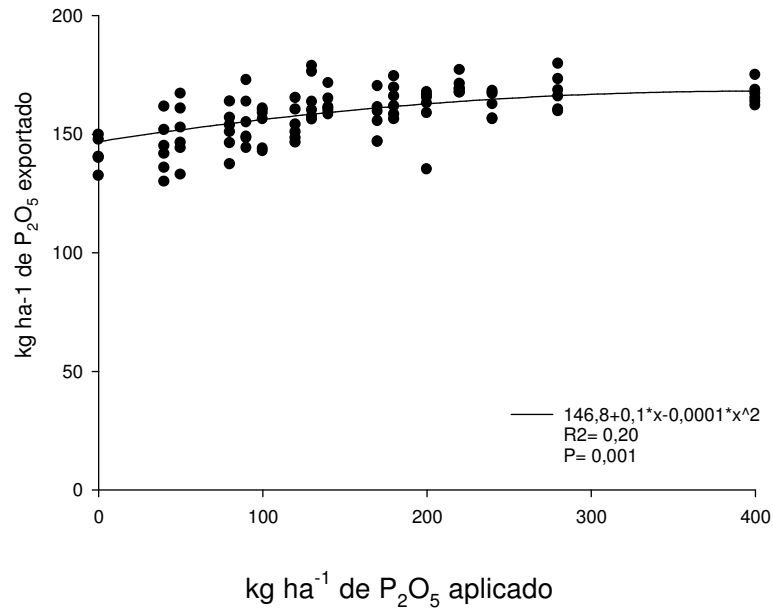


Figura 2.19 – Relação entre a aplicação e exportação de P₂O₅ nos diferentes tratamentos fertilizados com P nas seqüências S/T/P/T/M e M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

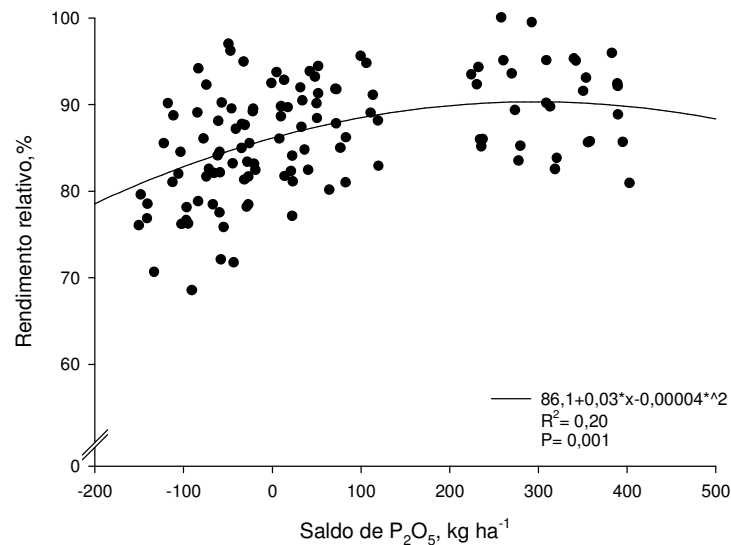


Figura 2.20 – Relação entre o saldo de P_2O_5 e o rendimento relativo das culturas nas seqüências S/T/P/T/M e M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006

Com relação ao saldo de K na seqüência M/T/P/T/S (Tabela 2.15), os tratamentos com doses 0, 25, 50 e 75 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O apresentaram valores negativos de 170, 65, 62 e 18 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O , respectivamente. O tratamento com 100 $kg\ ha^{-1}$ de K teve saldo positivo de 21 $kg\ ha^{-1}$. Como era esperado, a soja foi a cultura com maior exportação do K_2O , sendo equivalente a 54% do total extraído, seguida pelo milho, com 30%, em apenas uma safra. Já o trigo, apresentou exportação média de duas safras igual a 16%.

Tabela 2.15 – Quantidade de potássio adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) nas seqüências M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

Tratamento	Milho 2003/2004		Pousio 2004/05	Trigo 2004		Trigo 2005		Soja 2004/2005		Total		Saldo
	Ap	Ex		Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	
----- $kg\ ha^{-1}$ de K_2O -----												
1 A0	0	50	-----	0	11	0	16	0	93	0	170	-170
2 A25	25	53	-----	25	9	25	14	25	89	100	165	-65
3 A50	50	49	-----	50	8	0	17	0	88	100	162	-62
4 A75	75	52	-----	75	9	0	15	0	91	150	168	-18
5 A100	100	52	-----	100	11	0	16	0	100	200	179	21
MEDIA		51	-----		9		16		92	110	169	

Na seqüência de S/T/P/T/M (Tabela 2.16), o tratamento sem adubação potássica apresentou saldo negativo de 143 kg ha⁻¹ de K₂O. Os tratamentos com doses de 25 e 50 kg ha⁻¹ tiveram valores negativos de 45 e 59 kg ha⁻¹, respectivamente. As parcelas A75 e A100 apresentaram saldos positivos, com excessos de 5 e 55 kg ha⁻¹ de K₂O. A soja foi a cultura que mais extraiu K₂O, com média de 80 kg ha⁻¹ (52%) do total, seguida do milho e do trigo, com 45 kg ha⁻¹ (27%) e 17 kg ha⁻¹ (21%) de extração, respectivamente (Figura 2.2).

Tabela 2.16 – Quantidade de potássio adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) nas seqüências S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

Tratamento	Soja 2003/2004		Pousio 2004/05	Trigo 2004		Trigo 2005		Milho 2004/2005		Total		Saldo
	Ap	Ex		Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	
----- kg ha ⁻¹ de K ₂ O -----												
1 A0	0	74	-----	0	17	0	16	0	35	0	143	-143
2 A25	25	76	-----	25	16	25	13	25	39	100	145	-45
3 A50	50	81	-----	50	19	0	18	0	41	100	159	-59
4 A75	75	74	-----	75	18	0	15	0	37	150	145	5
5 A100	100	76	-----	100	17	0	16	0	37	200	145	55
MEDIA		77	-----		17		16		38	110	147	

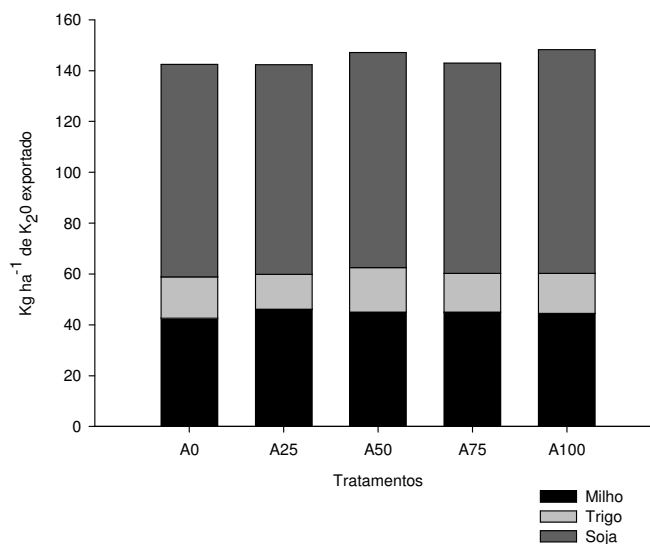


Figura 2.21 – Quantidade de exportação de K₂O das culturas relacionado aos tratamentos com doses de K₂O nas seqüências S/T/P/T/M e M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2004.

O saldo positivo de K_2O do sistema, nas seqüências M/T/P/T/S e S/T/P/T/M, não apresentou tendência de crescimento em relação aos rendimentos relativos das culturas. Os valores tavam bastante variáveis, semelhantes aos encontrados no local de Itapúa, onde as características químicas proporcionaram ao solo, um elevado nível de fertilidade, com teores altos de K trocável, matéria orgânica e argila, limitando a resposta à fertilização potássica.

2.4.3 Misiones

As avaliações foram feitas em três safras de inverno cultivadas com trigo (2003, 2004 e 2005) e duas de verão com soja e milho (2003/2004 e 2004/2005), em duas seqüências de culturas de grãos (trigo/milho/trigo/soja/trigo e trigo/soja/trigo/milho/trigo) sob o sistema plantio direto. As condições climáticas foram anormais, com alguns meses de déficit hídrico (Figura 2.24).

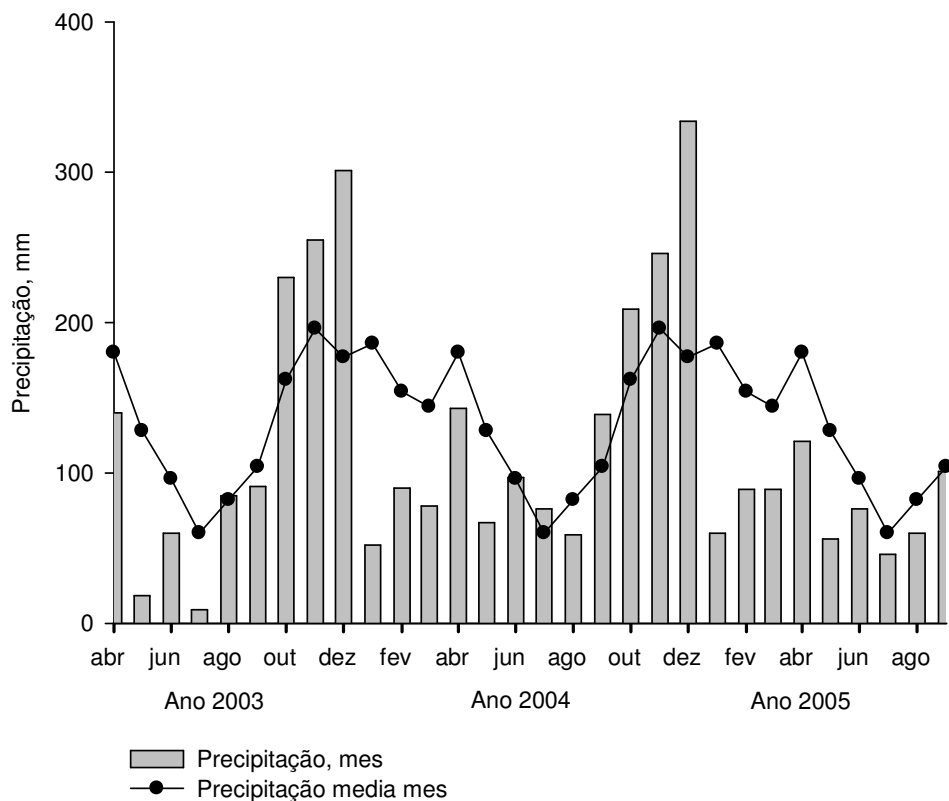


Figura 2.22 – Representação das precipitações ocorridas no experimento de Misiones durante o período de abril 2003 a agosto 2005. Fonte: IAN-MAG. 2005.

2.4.3.1 Produtividade das culturas em função das doses de fósforo e potássio

No estudo de doses de P, com duas rotações de culturas T/M/T/S/T e T/S/T/M/T (Tabelas 2.17 e 2.18), foram severamente afetadas pelos fatores climáticos, que aliados ao manejo inadequado do solo, que evidenciaram a baixa produtividade no primeiro ano, com rendimentos médios de trigo de 1441 e 1519 kg ha⁻¹, em ambas seqüências.

As safras seguintes, do verão 2003/2004 e inverno 2004, sofreram com períodos de estiagem durante a formação de grãos, sendo as produções médias do milho e da soja equivalentes a 4704 e 2329 kg ha⁻¹, respectivamente, e do trigo, de 1900 e 2066 kg ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 2.17 – Rendimento absoluto (RA), rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado nas seqüências T/M/T/S/T com doses de fósforo. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

		Trigo 2003	Milho 2003/04	Trigo 2004	Soja 2004/05	Trigo 2005		
Tratamento		RA (kg ha ⁻¹)			RA (kg ha ⁻¹)	RAA (kg ha ⁻¹)	RR (%)	
1	N0 A0	1389	3764	1655	1294	1520	9622	76
2	N0 A40		4886	1892	1709	1740	11616	92
3	N0 A80		4844	1904	1711	1876	11724	93
4	N0 A120		5082	2038	2171	1230	11910	94
5	N50 A0	1440	3855	1716	1553	1634	10198	81
6	N50 A40		4697	2063	1781	1802	11783	93
7	N50 A80		4754	1978	1978	1834	11984	95
8	N50 A120		4781	2075	2163	1292	11751	93
9	N100 A0	1356	4576	2031	1669	1690	11322	89
10	N100 A40		5086	2121	2190	1373	12126	96
11	N100 A80		4220	2016	2085	1876	11553	91
12	N100 A120		4834	1904	2201	1540	11835	93
13	N200 A0	1580	4888	1836	1920	1534	11758	93
14	N200 A40		5413	1875	1996	1795	12659	100
15	N200 A80		4352	2136	2133	1901	12102	96
16	N200 A120		4634	1717	2318	1536	11785	93
MEDIA		1441	4667	1935	1930	1636	11608	

Tabela 2.18 – Rendimento absoluto (RA), rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado nas seqüências T/S/T/M/T com doses de fósforo. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

		Trigo 2003	Soja 2003/04	Trigo 2004	Milho 2004/05	Trigo 2005		
Tratamento		RA (kg ha ⁻¹)				RA (kg ha ⁻¹)	RAA (kg ha ⁻¹)	RR (%)
1	N0 A0	1459	1970	1893	2964	2145	10431	78
2	N0 A40		2551	1965	4287	1957	12219	91
3	N0 A80		1918	2192	4567	1678	11814	88
4	N0 A120		2025	2192	4389	1790	11855	89
5	N50 A0	1730	2044	1935	4166	2245	12120	91
6	N50 A40		2555	2263	4831	1979	13358	100
7	N50 A80		2102	1850	4737	1664	12083	90
8	N50 A120		2597	1850	5013	2171	13361	100
9	N100 A0	1539	2477	2260	4337	2231	12844	96
10	N100 A40		2535	2024	4136	2020	12254	92
11	N100 A80		2204	2067	4313	1819	11942	89
12	N100 A120		2404	2067	4658	1890	12558	94
13	N200 A0	1347	2599	2242	4789	2460	13437	101
14	N200 A40		2613	1913	4802	1692	12367	93
15	N200 A80		2154	2318	4917	1987	12723	95
16	N200 A120		2139	2423	4607	1788	12304	92
MEDIA		1519	2305	2091	4470	1070	12354	92

No verão 2004/2005, os rendimentos da soja continuaram baixos com valores médios de 1994 kg ha⁻¹, e o milho com 4571 kg ha⁻¹. A última safra produzida dentro do experimento foi do trigo 2005, que novamente apresentou baixa produtividade, com valores médios de 1651 e 2014 kg ha⁻¹.

As respostas à adubação fosfatada não apresentaram diferença significativa na maioria dos tratamentos em relação ao tratamento N0A0 (Figura 2.25), embora as culturas tiveram escassos rendimentos, que estiveram abaixo da média nacional. Isso, possivelmente ocasionado pelas condições climáticas e manejo cultural pouco favorável, que limitaram o ótimo desenvolvimento dos mesmos, diminuindo a eficiência na adsorção do nutriente por parte da planta. Na safra da soja 2004/2005 se observou uma resposta média e aumento da sua produtividade em função a dose de P₂O₅ aplicada.

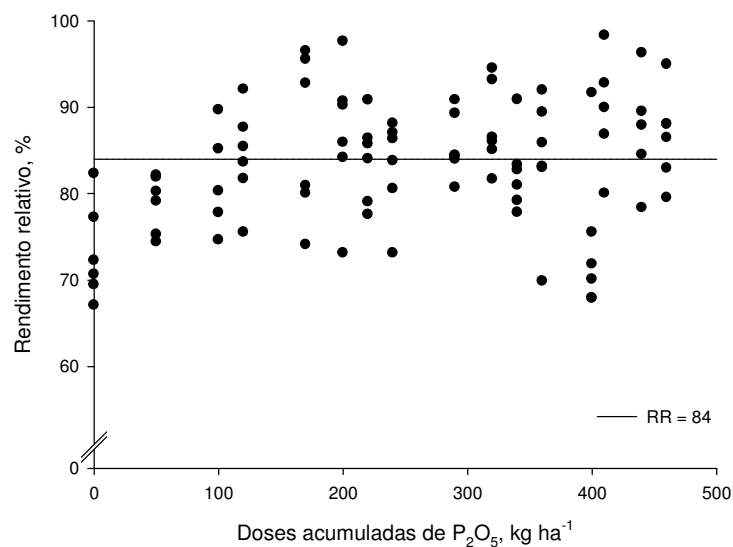


Figura 2.23 – Produtividade acumulada de grãos em razão as doses de P₂O₅ acumuladas nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

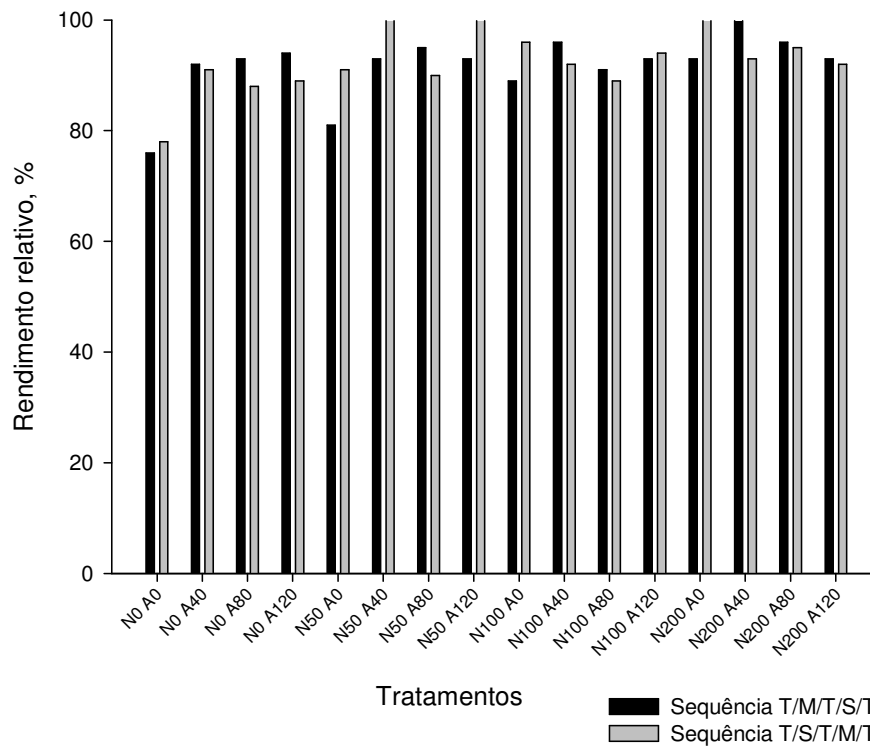


Figura 2.24 – Produtividade acumulada de grãos nos tratamentos com diferentes doses de criação e manutenção de P_2O_5 nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

No experimento avaliado no departamento de Misiones, correspondente às diferentes doses de K_2O , as produtividades foram semelhantes às do estudo de doses de fósforo, não apresentando resposta significativa entre os tratamentos do trigo 2003, milho e soja 2003/2004, trigo 2004, milho e a soja 2004/2005 e trigo 2005, como demonstrado nas Figuras 3.20 e 3.21, para as seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T, respectivamente.

Tabela 2.19 – Rendimento absoluto (RA) rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado na seqüência T/M/T/S/T com doses de potássio. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

Tratamento	Trigo 2003	Milho 2003/04	Trigo 2004	Soja 2004/05	Trigo 2005	RAA (kg ha ⁻¹)	RR(%)
	RA (kg ha ⁻¹)						
1 A0	1719	3638	1316	1820	1779	10272	85
2 A25	1720	4026	1549	1949	1922	11166	92
3 A50	1805	4199	1868	2010	1606	11488	95
4 A75	1765	4195	1911	2140	2075	12086	100
MEDIA	1752	4015	1661	1980	1846	11253	93

Tabela 2.20 – Rendimento absoluto (RA) rendimento absoluto acumulado (RAA) e rendimento relativo (RR) alcançado na seqüência T/S/T/M/S com doses de potássio. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

Tratamento	RA (kg ha ⁻¹)					RAA (kg ha ⁻¹)	RR(%)
	Trigo 2003	Soja 2003/04	Trigo 2004	Milho 2004/05	Trigo 2005		
1 A0	1663	2134	1717	3870	1567	10951	82
2 A25	1474	2080	1952	4220	2001	11727	88
3 A50	1894	2530	2290	4450	2118	13282	100
4 A75	1774	2185	2059	4890	1969	12877	97
MEDIA	1701	2232	2005	4358	1914	12209	92

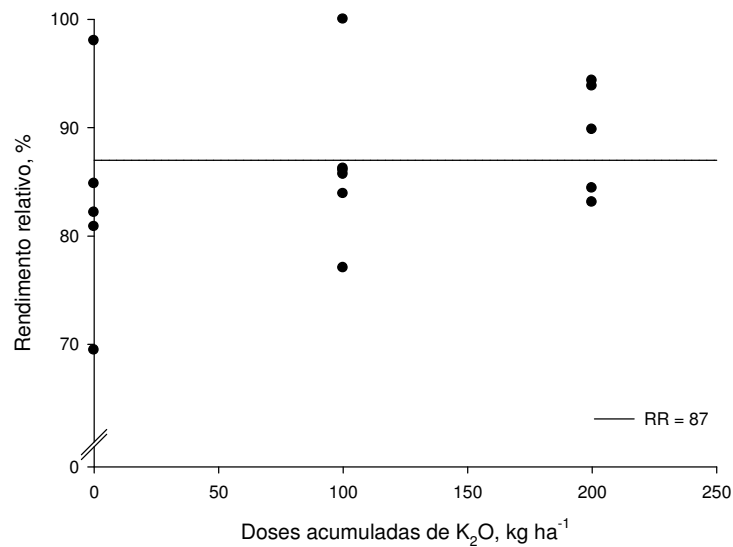


Figura 2.25 – Produtividade acumulada de grãos em razão as doses de K₂O aplicadas nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/S. Misiones, Paraguai. 2003-2006.

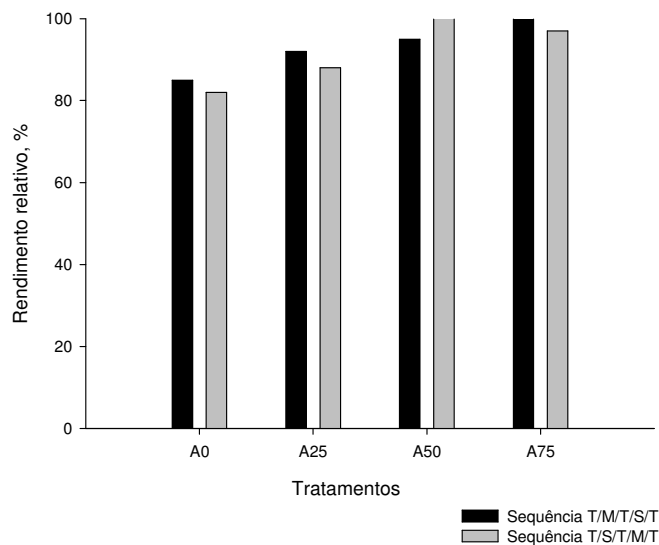


Figura 2.26 – Produtividade acumulada de grãos nos tratamentos com diferentes doses de manutenção de K₂O nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/S. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

2.4.3.2 Saldo entre a adição e exportação de P e K no experimento

No saldo de P da rotação T/M/T/S/T (Tabela 2.21), a parcela sem adubação resultou em valor negativo de 94 kg ha⁻¹ de P₂O₅, menor em comparação ao local do Alto Paraná. Quase a totalidade dos tratamentos com aplicação de doses de P₂O₅ apresentaram saldos positivos, com ganho de 6 até 562 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aumentando à medida que foram adicionados mais fertilizantes ao solo. Neste contexto, Picone et al. (2008) em numa seqüência milho/trigo/soja durante dois anos consecutivos, encontraram um saldo positivo de 25 kg ha⁻¹ de P, com aplicações anuais de 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

As exportações totais apresentaram valores mínimos de 79 e máximos de 105 kg ha⁻¹, acumulados após cinco safras de produção. Contrariamente comparado aos outros locais, o milho foi o maior responsável pela extração do nutriente nas colheitas, com média de 38 kg ha⁻¹ de P₂O₅, seguido da soja com 28 kg ha⁻¹ e do trigo com média de três safras equivalente a 17 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Na outra seqüência T/S/T/M/T, (Tabela 2.22); a parcela que não recebeu aplicação de P durante as cinco safras apresentou um saldo negativo de 98 kg ha⁻¹ de P₂O₅, assim como os tratamentos N50A0 e N100A0. Nos demais tratamentos, com diferentes níveis de criação e manutenção de P, as adições foram maiores que as exportações, com saldos positivos que variaram de 4 até 562 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

O milho foi a cultura com maior extração do nutriente, quando é comparada ao trigo em somente em uma safra de produção. O trigo teve três períodos de semeadura dentro da seqüência de rotação, sendo superior à soja, possivelmente, à escassa produtividade da mesma com rendimentos entre 2100 e 2200 kg ha⁻¹, abaixo da média do país (Figura 2.29).

Na comparação dos resultados do saldo de P, no departamento de Misiones, as duas rotações de culturas foram muito semelhantes entre si, para cada tratamento. O somatório entre os saldos anuais do milho e da soja sobre o saldo total das culturas, ambas foram responsáveis por 70% da extração do elemento do solo. Os resultados concordam com os encontrados por Ciampitti (2009) onde, em duas rotações M/T/S e M/S/T/S durante seis anos, as mesmas culturas representaram 79% e 86% do total de P extraído.

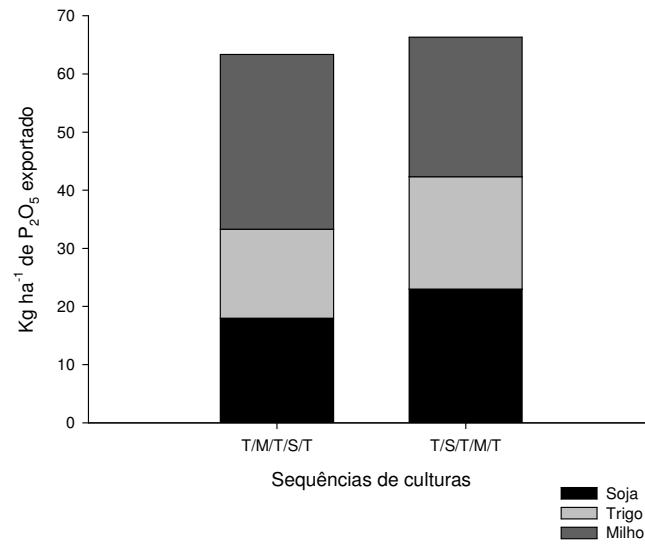


Figura 2.27 – Quantidade de P_2O_5 exportado no tratamento sem adubação de fósforo nas sequências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2006.

Tabela 2.21 – Quantidade de fósforo adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência T/M/T/S/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

Tratamento	Trigo 2003		Milho 2003/04		Trigo 2004		Soja 2004/05		Trigo 2005		TOTAL		SALDO
	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	
----- kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ -----													
1 N0 A0	0	14	0	30	0	17	0	18	0	15	0	94	-94
2 N0 A40	0	14	40	39	40	19	40	24	0	17	120	113	7
3 N0 A80	0	14	80	39	80	19	80	24	0	19	240	114	126
4 N0 A120	0	14	120	41	120	20	120	30	0	12	360	118	242
5 N50 A0	50	14	0	31	0	17	0	22	0	16	50	100	-50
6 N50 A40	50	14	40	38	40	21	40	25	0	18	170	116	54
7 N50 A80	50	14	80	38	80	20	80	28	0	18	290	118	172
8 N50 A120	50	14	120	38	120	21	120	30	0	13	410	117	293
9 N100 A0	100	14	0	37	0	20	0	23	0	17	100	111	-11
10 N100 A40	100	14	40	41	40	21	40	31	0	14	220	120	100
11 N100 A80	100	14	80	34	80	20	80	29	0	19	340	115	225
12 N100 A120	100	14	120	39	120	19	120	31	0	15	460	117	343
13 N200 A0	200	16	0	39	0	18	0	27	0	15	200	115	85
14 N200 A40	200	16	40	43	40	19	40	28	0	18	320	124	196
15 N200 A80	200	16	80	35	80	21	80	30	0	19	440	121	319
16 N200 A120	200	16	120	37	120	17	120	32	120	15	680	118	562
MEDIA		14		37		19		27		16		114	161

Tabela 2.22 – Quantidade de fósforo adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência T/M/T/S/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

Tratamento	Trigo 2003		Soja 2003/04		Trigo 2004		Milho 2004/05		Trigo 2005		TOTAL		SALDO
	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	
----- kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ -----													
1 N0 A0	0	15	0	28	0	19	0	24	0	13	0	98	-98
2 N0 A40	0	15	40	36	40	20	40	34	0	12	120	116	4
3 N0 A80	0	15	80	27	80	22	80	37	0	10	240	110	130
4 N0 A120	0	15	120	28	120	22	120	35	0	11	360	111	249
5 N50 A0	50	17	0	29	0	19	0	33	0	13	50	112	-62
6 N50 A40	50	17	40	36	40	23	40	39	0	12	170	126	44
7 N50 A80	50	17	80	29	80	18	80	38	0	10	290	113	177
8 N50 A120	50	17	120	36	120	18	120	40	0	13	410	125	285
9 N100 A0	100	15	0	35	0	23	0	35	0	13	100	121	-21
10 N100 A40	100	15	40	35	40	20	40	33	0	12	220	116	104
11 N100 A80	100	15	80	31	80	21	80	35	0	11	340	112	228
12 N100 A120	100	15	120	34	120	21	120	37	0	11	460	118	342
13 N200 A0	200	13	0	36	0	22	0	38	0	15	200	125	75
14 N200 A40	200	13	40	37	40	19	40	38	0	10	320	118	202
15 N200 A80	200	13	80	30	80	23	80	39	0	12	440	118	322
16 N200 A120	200	13	120	30	120	23	120	37	120	11	680	114	566
MEDIA		15		32		21		36		12		116	159

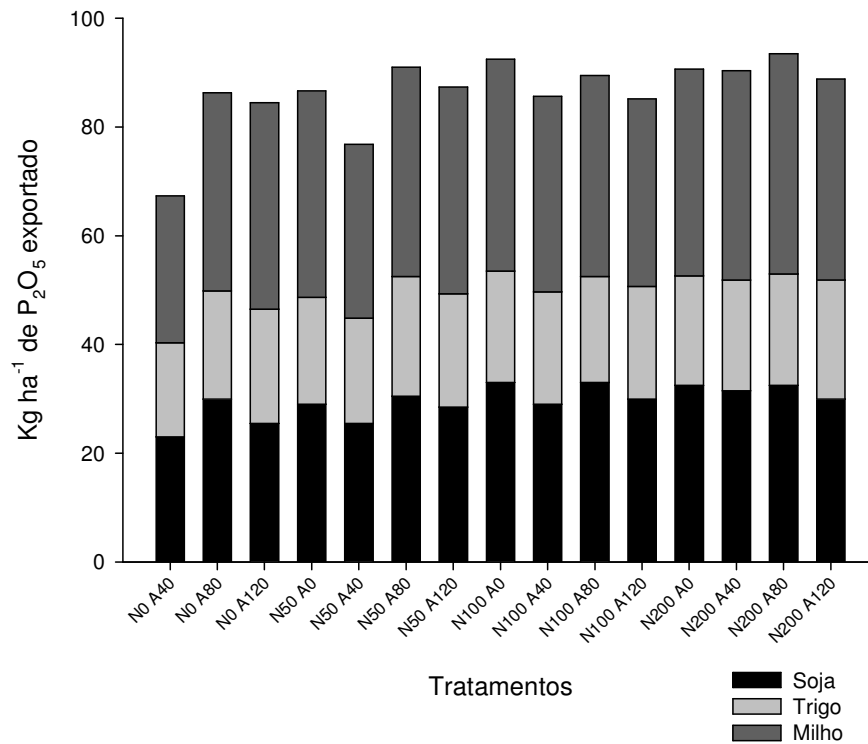


Figura 2.28 – Quantidade de P₂O₅ exportado nos tratamentos com doses de P nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

No saldo de P estabelecido pela relação entre as adições e saídas de P₂O₅ no local do experimento, demonstraram que a maioria dos tratamentos apresentaram valores positivos (Figura 2.31). O saldo possui uma relação com os rendimentos relativos das culturas, pois a medida que houve ganho de P no sistema, os mesmos aumentaram significativamente (Figura 2.32).

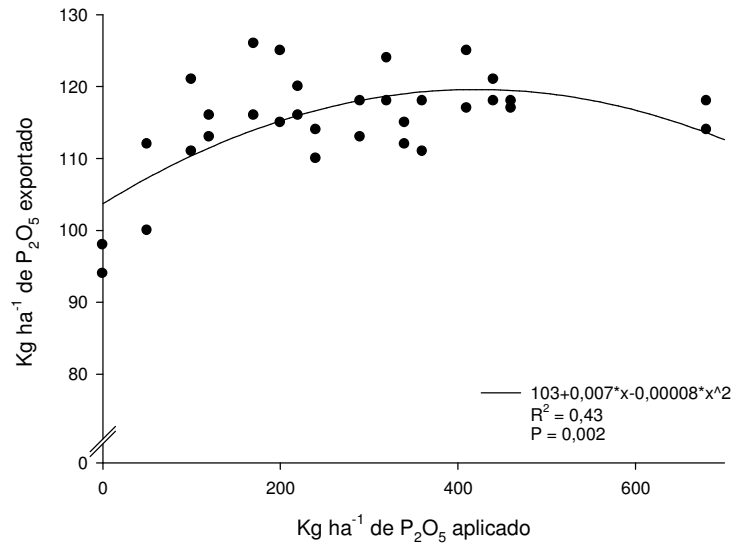


Figura 2.29 – Relação entre a aplicação e exportação de P_2O_5 nos diferentes tratamentos fertilizados com P nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

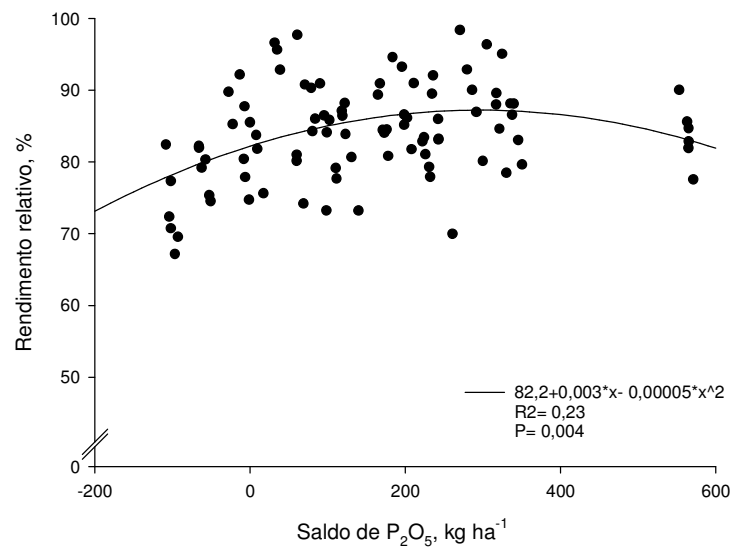


Figura 2.30 – Relação entre o saldo de P_2O_5 e o rendimento relativo das culturas nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005

Relacionado ao saldo de K na seqüência T/M/T/S/T, o tratamento sem fertilização potássica apresentou valor negativo de $87\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O (Tabela 2.23). Os demais tratamentos tiveram saldos positivos, com valores que aumentaram à medida que as doses de adubações foram maiores, com saldos variando de 31 a $197\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O . A soja foi a cultura de maior potencial extrator do nutriente, com

média de 38 kg ha⁻¹ de K₂O, seguida do milho com 24 kg ha⁻¹ e do trigo com 11 kg ha⁻¹ de K₂O.

Na rotação de culturas T/S/T/M/T no estudo de doses de K, o tratamento sem adubação potássica durante as cinco safras teve saldo negativo maior de 97 kg ha⁻¹ de K₂O. Porém, os tratamentos com aplicações de 25, 50 e 75 kg ha⁻¹ de K₂O em cada safra apresentaram saldos positivos de 25, 74 e 191 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. A mesma situação foi verificada na rotação T/M/T/S/T onde, à medida que as doses de cada tratamento aumentaram, maiores foram os ganhos de K₂O.

As exportações totais estiveram, em média, com valor de 106 kg ha⁻¹ de K₂O, onde a soja foi a cultura de maior extração, com 44 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 2.32). O resultado confirma os valores de Santi (2007), ao observar numa rotação de grãos, que a soja extraiu em média 65 kg ha⁻¹ de K₂O, o milho e o trigo removeram do solo 50 e 20 kg ha⁻¹ de K₂O, demonstrando a dependência direta da produtividade das culturas.

Tabela 2.23 – Quantidade de potássio adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência T/M/T/S/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

Tratamento	Trigo 2003		Milho 2003/04		Trigo 2004		Soja 2004/05		Trigo 2005		TOTAL		SALDO
	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	
	----- kg ha ⁻¹ K ₂ O -----												
1 A0	0	10	0	22	0	8	0	36	0	11	0	87	-87
2 A25	25	10	25	24	25	9	25	39	25	12	125	94	31
3 A50	50	11	50	25	50	11	50	27	0	10	200	84	116
4 A75	75	11	75	25	75	11	75	43	0	13	300	103	197
MEDIA		11		24		11		36		11		92	64

Tabela 2.24 – Quantidade de potássio adicionado ao solo via fertilizantes (Ap), exportação via colheita de grãos (Ex) e saldo (adição-exportação) na seqüência T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

Tratamento	Trigo 2003		Soja 2003/04		Trigo 2004		Milho 2004/05		Trigo 2005		TOTAL		SALDO
	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	Ap	Ex	
	----- kg ha ⁻¹ K ₂ O -----												
1 A0	0	10	0	43	0	10	0	23	0	11	0	97	-97
2 A25	25	9	25	42	25	12	25	25	25	12	125	100	25
3 A50	50	11	50	51	50	14	50	40	0	10	200	126	74
4 A75	75	11	75	44	75	12	75	29	0	12	300	109	191
MEDIA		10		45		13		30		12		106	99

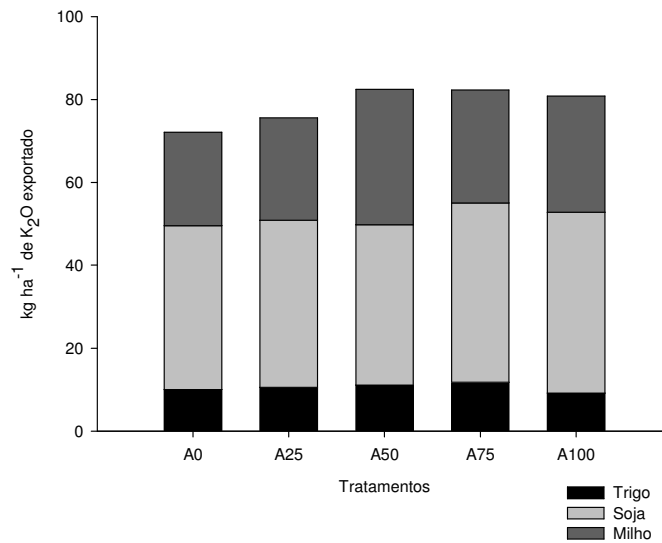


Figura 2.31 – Quantidade de exportação de K_2O das culturas relacionado aos tratamentos com doses de K_2O nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

2.5 Conclusões

- Os locais de Itapúa e Misiones não apresentaram respostas, sem diferenças significativas nos rendimentos relativos das culturas em função das diferentes doses de P_2O_5 acumuladas, a exceção do Alto Paraná, com resposta às fertilizantes fosfatadas.
- Os locais de Itapúa, Alto Paraná e Misiones não apresentaram respostas em razão às doses acumuladas de K_2O aplicadas.
- As culturas do milho e da soja foram a maiores extratoras de P e K em media dos três locais com 40% e 46% do total extraído respectivamente.
- Na maioria dos tratamentos de Itapúa, Alto Paraná e Misiones as aplicações em media de fertilizantes fosfatados e potássicos foram superiores as exportações de P e K.
- Nos locais de Alto Paraná e Misiones houve relação entre as produtividades acumuladas das culturas e o aumento no saldo de P.
- Não houve relação entre as produtividades acumuladas das culturas e o aumento no saldo de K em nenhum dos locais estudados.

3 CAPITULO 2: EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS TEORES DE FÓSFORO E POTÁSSIO RELACIONADA À FERTILIZAÇÃO E EXPORTAÇÃO EM TRÊS SOLOS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI

3.1 Introdução

As áreas agrícolas da Região Oriental do Paraguai estão localizadas sob solos arenosos derivados de arenito e argilosos derivado do basalto. A fertilidade natural destes solos foi reduzida drasticamente ou quase esgotada após alguns anos de uso, principalmente devido ao desmatamento e à queima da biomassa natural. A pouca utilização de fertilizantes e corretivos devido as restrições econômicas, provocaram reduções consideráveis nos teores da matéria orgânica e dos principais nutrientes do solo (FLORENTIN et al. 2001), resultando numa adubação desequilibrada, inferiores as exportações e as perdas por erosão, constatado por Fatecha (2004) constatado num levantamento de solos, que 93% dos solos da região apresentam classe de fertilidade média a baixa e apenas 7%, fertilidade alta. Anteriormente, 90% das mesmas áreas eram suscetíveis à erosão, com perdas que alcançavam, em algumas situações, até $80 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (MAG/IICA, 1997). Derpsch (1998) verificou que o Paraguai, em 1997, teve perdas aproximadas de 10,6 milhões de Mg de solo no sistema convencional, em médias e grandes propriedades agrícolas mecanizadas e, para as áreas manejadas sob sistema plantio direto, as perdas foram de apenas 250.000 t de solo.

Os solos da Região Oriental são, em sua grande maioria, deficientes em P, e a recuperação do elemento pelas plantas normalmente é pequena. A quantidade média de P no solo é de aproximadamente 400 kg ha^{-1} (STIPP et al. 2008), da qual somente uma pequena parcela ($30\text{-}300 \text{ g ha}^{-1}$) tem condições de ser prontamente assimilada pelos vegetais, encontrado-se solúvel no solo. Quando adicionado como fertilizante, o P tende a passar rapidamente para formas menos solúveis, ficando precipitado ou adsorvido, aproveitando-se apenas 5 a 20%, em comparação aos 60-80% do nitrogênio e 50 a 70% do potássio (SOARES, 2005). Para que a absorção

pelas plantas seja contínua, o P deve liberar-se da fase sólida e movimentar-se por difusão, até a superfície das raízes, dependendo de vários fatores: (a) disponibilidade dos teores de P em solução; (b) poder tampão da fração do P-lábil (CROSS & SCHELESINGER, 1995); (c) pH e umidade do solo (AMADO et al. 2007); (d) presença de cátions como Fe^{+3} , Al^{+3} , Ca^{+2} (POTAFOS, 1996); e) predominância de minerais de argila 1:1, caulinita e óxidos de Fe (hematita e goethita) e Al (gibbsita) com alta capacidade de adsorção de P (BAHIA FILHO et al., 1983).

No sistema plantio direto com mais de 10 anos de produção, certos atributos químicos do solo podem sofrer algumas modificações, como a formação de uma camada na superfície com alta disponibilidade de nutrientes, especialmente o P. Isso devido a adição consecutiva de fertilizantes, e ausência da erosão, diminuem as superfícies de contato entre os íons fosfatos e as partículas do solo (SELLES et al. 1997) reduzindo a ação dos mecanismos de fixação pelos constituintes minerais e, conseqüentemente, as perdas (MUZILLI, 1983). Gatiboni (2003) e Schilindwein & Anghinoni (2000) relataram que o acúmulo de P é aproximadamente 50% superior na camada de 0-0,10 m do solo no plantio direto, em relação ao preparo convencional, melhorando assim a eficiência na adubação fosfatada.

Cubilla (2005) mencionou que na fase inicial do PD a construção de níveis de P exige uma maior quantidade de fertilizantes, acelerando-se os processos mediante a saturação dos sítios mais ávidos, o remanescente é redistribuído, aumentando sua capacidade de dessorção (RHEINHERMER & ANGHINONI, 2001), indicando que esse nutriente permanece mais lábil neste sistema (OLOYA & LOGAN, 1980). Contudo, no SPD a construção da fertilidade está ocorrendo unicamente na camada 0-0,10 m, originando um aumento no gradiente de concentração, o qual é verificado pelo baixo percentual de amostras de solo com níveis acima do teor crítico nas camadas maiores que 0,10 m (MARTINAZZO, 2006). A aplicação de P via fertilizantes fosfatados, que excedem a extração dos cultivos, resulta num incremento de P no solo, gerando um efeito residual, explicado pelas baixas perdas de P por lixiviação (BERARDO et al. 1997), das doses de P aplicadas, da remoção pelas colheitas, do tipo do solo e pelos efeitos da precipitação e adsorção.

Rheinhermer et al. (2008) que deve-se considerar a variabilidade vertical nos atributos químicos e físicos do solo, sendo mais importante que a variabilidade horizontal. Assim, assume-se que os valores dos atributos de solo da camada 0-0,10

m sob SPD sejam iguais àqueles da camada 0-0,20 m sob SC (COMISSÃO....., 2004), considerando que a camada do solo maior que 0,10 m não apresente restrições para as plantas.

Comparando com o P, a disponibilidade do K no solo é amplamente superior e representa um dos nutrientes mais abundantes, podendo atingir concentrações de 0,9 a 19 g k⁻¹ nas regiões tropicais, onde a maioria dos solos é constituída por Latossolos e Argissolos. Estes solos caracterizam-se por apresentar alto grau de alteração de seus materiais constituintes, restando pouca ou nenhuma reserva mineral nas frações grosseiras, resistentes ao intemperismo. A maior parte do K do solo (98%) é encontrada na estrutura dos minerais primários e secundários (K estrutural), e só uma pequena fração encontra-se em formas prontamente disponíveis para as plantas, ligadas às cargas elétricas negativas (K trocável) e na solução do solo (K solução) (ERNANI et al. 2007).

As plantas absorvem primeiramente o K da solução do solo, cuja concentração depende nos sítios de troca (K trocável), que uma vez esgotado, possibilita a liberação do K retido nas entre camadas dos argilominerais. Deste modo que a dinâmica do K pode ser variável para cada tipo de solo, dependendo das quantidades aplicadas, das características mineralógicas, da espécie vegetal e da expectativa do rendimento da cultura a ser obtido (MIELNICZUK, 1982).

As aplicações de K podem ser feitas a lanço ou na linha, a poucos centímetros de profundidade, provocando uma maior concentração do elemento nos sítios fertilizados. Essa concentração é dependente, principalmente, do seu suprimento às plantas e do potássio recém adicionado, que de seu histórico de adubação (KAMINSKI et al. 2007), além do potássio reciclado da biomassa das plantas de cobertura, encontrado nos resíduos da palha, que está prontamente disponível para as culturas, devido a sua grande mobilidade no solo.

O conhecimento da capacidade residual das aplicações de P e K permite realizar um manejo mais eficiente na fertilização, fundamentalmente nas situações em que as recomendações propõem a manutenção dos conteúdos dos mesmos no solo, levando a um grau considerado adequado para a produção das culturas (MALLARINO & BORGES, 2006).

Na atualidade, as práticas de manejo de solos requerem mudanças significativas, principalmente relacionadas ao acúmulo de resíduos culturais, onde procura-se uma fertilização balanceada de P e K no solo, combinada com uma

adequada seqüência de rotação de culturas como soja/trigo, soja/aveia preta e soja/milho tardio entre outras (VALLEJOS et al. 2001). Assim, tem-se a possibilidade de alterar a dinâmica de ciclagem de elementos, influenciando na disponibilidade de nutrientes às plantas, que constitui um dos fatores chave para o grande crescimento do PD no Paraguai e a evolução da fertilidade de seus solos, deixando de lado alguns problemas como a monocultura da soja, que impedia a obtenção de melhores produtividades.

3.2 Objetivo geral

Determinar a evolução temporal dos teores de fósforo e potássio no solo, relacionado-a com o saldo de nutrientes (fertilização e exportação) em três solos no sistema plantio direto no Paraguai.

3.3 Materiais e métodos

Nesse estudo foi utilizado o mesmo experimento descrito no Capítulo 1.

3.3.1 Avaliações

3.3.1.1 Estudo da evolução temporal dos teores de P e K.

Baseado nas adições de fertilizantes realizadas e nas exportações de nutrientes durante a colheita de grãos, em todas as safras de produção, foi possível avaliar para todos os locais em estudo, a evolução temporal dos teores de P e K no sistema solo-planta durante o período de 2003 a 2006.

3.3.1.2 Determinação da capacidade tampão aparente do solo

Também foram calculadas as quantidades de P_2O_5 e K_2O necessárias para elevar e reduzir 1 mg dm^{-3} no solo até atingir os níveis críticos, estabelecida pela capacidade tampão aparente do solo, determinada pela equação 3 (SANTI, 2007).

$$CTA (\text{kg ha}^{-1}) = \frac{\text{kg ha}^{-1} NA - \text{kg ha}^{-1} NE}{TFN - TIN} \quad (3)$$

onde:

CTA= capacidade tampão aparente

NA= nutriente adicionado

NE= nutriente exportado

TFN= teor final do nutriente

TIN= teor inicial do nutriente

3.4 Resultados e discussão

Nesta seção do trabalho são apresentadas as evoluções dos teores de P e K no solo, baseados nos ingressos e egressos de nutrientes, estabelecidos pela aplicação de fertilizantes e colheita de grãos. Também apresenta-se como foram determinadas as quantidades necessárias de P_2O_5 e K_2O para elevar o teor de P e K no solo, em três solos, com diferentes níveis de fertilidade e teores de argila, dentro do sistema plantio direto no Paraguai.

3.4.1 Itapúa

Neste local do experimento as avaliações foram feitas em três safras de produção de grãos, com duas seqüências (trigo/soja/trigo) e (trigo/milho/trigo) dentro do SPD, no período 2003 a 2004.

3.4.1.1 Evolução temporal dos teores de P no solo.

O valor inicial médio de P no solo, em 2003, na rotação T/S/T foi de 11,1 mg dm⁻³. A evolução do teor de P em todos os tratamentos e durante as três safras conduzidas no local de estudo pode ser observada na Figura 3.1.

A parcela sem adubação de P (N0A0) após as três safras cultivadas teve redução de 1,9 mg dm⁻³, semelhante ao tratamento N0A40, com 1,3 mg dm⁻³, com um saldo negativo de 101 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Ciampitti (2009) também encontrou redução nos teores de P em um experimento com seis anos de produção, sendo as reduções de 11,2 e 33 mg dm⁻³ para as seqüências de M/T/S e M/S/T/S, respectivamente. Por outro lado, no nível 0 de criação teve um incremento de 12,7 e 15,6 mg dm⁻³ para as doses 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de manutenção, quando comparados a seus teores iniciais.

O nível 50 de criação, com doses de manutenção de 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, apresentou valores positivos no seu saldo, com incrementos de 4,9; 5,8; 15,6 e 17,9 mg dm⁻³ nos seus teores, respectivamente ao comparar a avaliação realizada no trigo 2003 e no trigo 2004.

O nível 100 apresentou aumento de 6,9; 12,8; 16,5 e 19,6 mg dm⁻³, com doses 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de manutenção. Para o nível 200, os resultados foram com acréscimos de 10,0; 15,9; 23 e 23,8 mg dm⁻³, respectivamente para as mesmas doses de manutenção citadas.

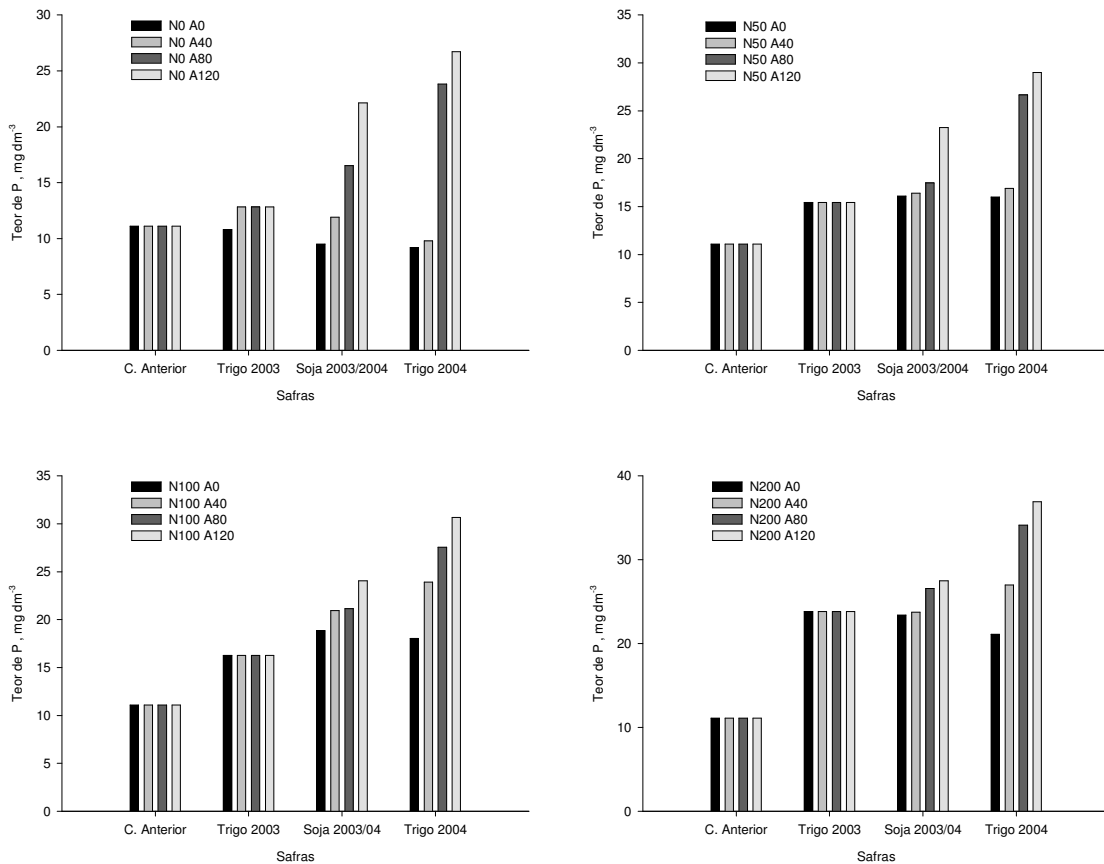


Figura 3.1 – Evolução dos teores de fósforo no solo, nos diferentes níveis de criação em função as doses de P_2O_5 de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência T/S/T. Itapúa, Paraguai. 2003- 2004.

Em um estudo, Kamprath (1999) utilizou $80\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 como dose de fertilização em cada safra para um solo com teores iniciais maiores de $50\ mg\ dm^{-3}$ de P, e observou um incremento de $8\ mg\ dm^{-3}$. Esse valor é bastante reduzido quando comparado aos determinados neste trabalho, onde as aplicações contínuas de P em solos que apresentam valores elevados de P e escassamente fixadores, são gerados valores positivos no saldo, que expressa a mínima variação dos níveis iniciais do P no solo. Isto pode ser atribuído a uma conversão química superior das formas extraíveis e não extraíveis de P no decorrer do tempo, gerando como consequência direta, o incremento das frações de P mais estáveis e recalcitrantes, menos disponíveis para os vegetais (McCOLLUM, 1991).

Na seqüência de culturas T/M/T (Figura 3.2), dentro do estudo com doses de P correspondente ao local de Itapúa, verificou-se teores iniciais de $14,2\ mg\ dm^{-3}$ de

P, valor acima do teor crítico de $12,0 \text{ mg dm}^{-3}$ para os solos do Paraguai, estabelecido por Fatecha (1999) e validado por Cubilla (2005). Os teores de P no solo, para o tratamento que não recebeu fertilizantes fosfatados durante as três safras, diminuíram em $2,9 \text{ mg dm}^{-3}$ com uma taxa de $0,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de P depois de cada colheita. A parcela com dose de 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 de manutenção teve $1,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de redução, com $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$ de P de taxa semestral. Nas parcelas onde foram aplicadas as doses de 80 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 , os teores aumentaram em $9,6 \text{ mg dm}^{-3}$ e $12,5 \text{ mg dm}^{-3}$, com taxas de aumento de $2,4$ e $3,1 \text{ mg dm}^{-3}$ respectivamente.

A parcela criada com 50 kg ha^{-1} de P, com diferentes doses de manutenção de P_2O_5 tiveram saldos positivos em todos os tratamentos, com acréscimos nos seus teores de $1,8$ a $14,8 \text{ mg dm}^{-3}$, quando comparados aos seus teores iniciais no experimento.

No nível 100, com dose de manutenção de 0 kg ha^{-1} de P_2O_5 se obteve um resultado comparável com o tratamento N50A0 e N50A40, obtendo-se um leve incremento no seus teores de $3,8 \text{ mg dm}^{-3}$, as outras doses de fertilizantes de 40 , 80 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 em cada safra, com adições maiores que as exportações, apresentaram aumentos nos seus teores de; $9,7$; $9,7$ e $16,5 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente. Os resultados coincidem com os encontrados por Benbi & Biswas (1999) que observaram incrementos nos níveis de P no solo, com aplicações balanceadas de N, P e K.

Em solos que apresentam valores iniciais de P menores que 25 mg dm^{-3} , as aplicações contínuas de fertilizantes fosfatados produzem um incremento dos níveis do mesmo, que são gerados pelo excesso de P adicionado ao solo comparado ao removido pelos grãos. Nesta situação, a concentração de P nas frações lábeis do solo atuam como um indicador do nível, considerando que as aplicações contínuas de P aumentam proporcionalmente às frações extraíveis ou lábeis e lentamente às frações moderadamente lábeis. Essa condição foi verificada por Aulakn & Pasricha (1991), que observaram incrementos de 11 a 16% nas frações lábeis e moderadamente lábeis, ao longo de 8 anos de fertilização contínua.

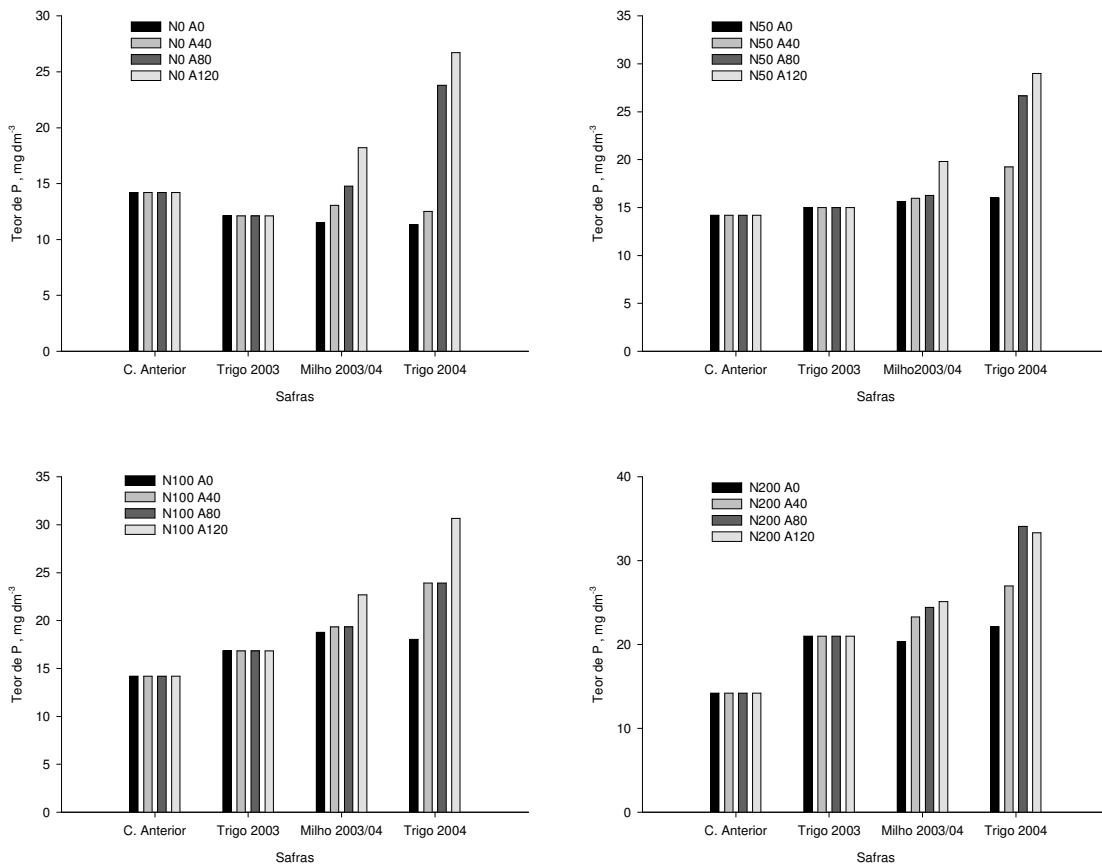


Figura 3.2 – Evolução dos teores de fósforo no solo nos diferentes níveis de criação em função as doses de P_2O_5 de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência T/M/T. Itapúa, Paraguai, 2003- 2004

A media de diminuição dos teores de P dentro das parcelas sem adubação de P_2O_5 nas duas seqüências (T/M/T e T/S/T) no experimento de Itapúa foi de $2,4\ mg\ dm^{-3}$ com taxa anual de $0,6\ mg\ dm^{-3}$.

Quanto as correlações de adições de fertilizantes fosfatados e exportações de P via colheitas obtidas nas duas seqüências de culturas no local do experimento, pode-se verificar três comportamentos distintos, sendo dois de forma esperada no solo e um inesperado.

Quando o teor de P aplicado foi maior que o exportado, os teores no solo aumentaram, sendo que esta situação corresponde à maioria dos tratamentos (Figura 3.3). Também, nas parcelas onde o teor de P exportado foi maior que o aplicado, houve uma redução nos teores de fósforo. Entretanto, de maneira inesperada, se observou que com uma aplicação inferior à exportação da cultura,

houve um aumento no teor de fósforo, situação que se apresentou em alguns dos tratamentos.

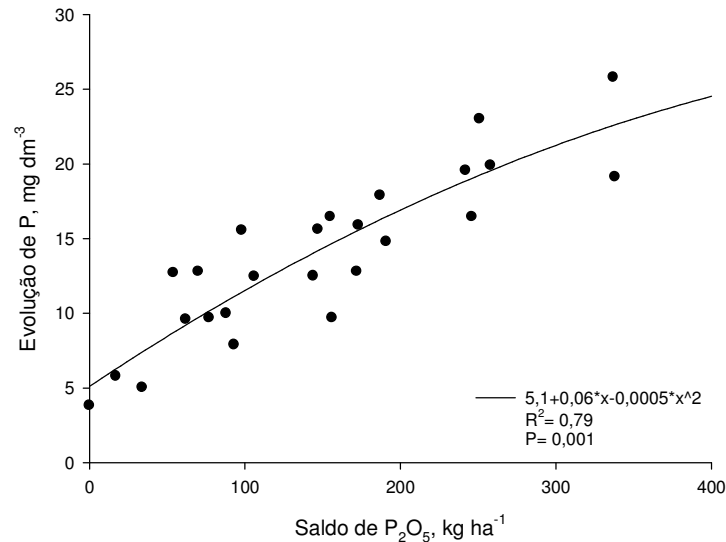


Figura 3.3 – Evolução nos teores de fósforo no solo relacionados com o saldo (aplicação-exportação) de P_2O_5 nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003- 2004

3.4.1.2 Evolução temporal dos teores de K no solo

No estudo de doses de K, na seqüência T/M/T, a evolução dos teores com aplicações de fertilizantes potássicos apresentou tendências positivas, mas com reduzido aumento de seu teor no solo. Isso, como é dos altos níveis iniciais encontrados no local do experimento, equivalentes a 180 mg dm^{-3} , que é bem superior ao teor crítico de 75 mg dm^{-3} de K para as principais culturas de grãos no SPD, no Paraguai (FATECHA, 1999; WENDLING, 2005).

O tratamento sem adubação com K_2O durante as três safras, manteve os teores de potássio do solo estáveis, com redução de apenas $7,5 \text{ mg dm}^{-3}$ com taxas semestrais de $3,2 \text{ mg dm}^{-3}$ de extração. As possíveis causas desse comportamento são atribuídas à baixa extração do solo, iguais a 71 kg ha^{-1} de K_2O . bem como ao possível equilíbrio alcançado entre as formas de K trocável e não trocável, com um mínimo de K no sistema solo-planta (CASTILHOS & MEURER, 2001). Em condições de alta produtividade, Rossato (2004) ressaltou que as plantas de milho podem

absorver mais de 250 kg ha^{-1} de K_2O . Essa situação de equilíbrio foi observada por Bortoluzzi et al. (2005) em dois experimentos com soja/trigo/milho, em distintas seqüências de rotação durante nove anos sem adubação potássica, onde manteve-se o teores iniciais no solo de aproximadamente 50 e 30 mg dm^{-3} , respectivamente, para os dois experimentos.

Os tratamentos com doses de manutenção de 25 , 50 , 75 e 100 kg ha^{-1} de K_2O proporcionaram aumento nos teores do solo de 13 , 15 , 16 e 9% , respectivamente.

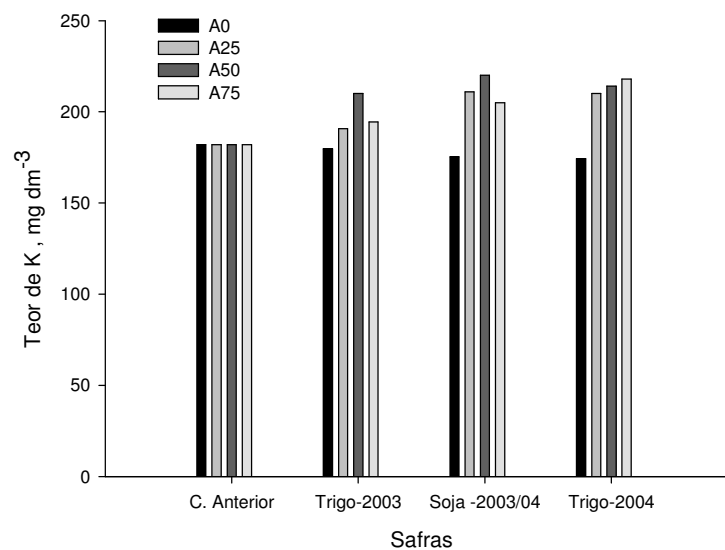


Figura 3.4 – Evolução dos teores de potássio no solo, em função as doses de K_2O de adubação de manutenção (kg ha^{-1}) na seqüência T/S/T. Itapúa, Paraguai, 2003-2004.

A seqüência T/S/T apresentou resultados muito semelhantes à outra seqüência de K, no tratamento sem adubação potássica. Observa-se uma extração de 91 kg ha^{-1} de K_2O no total, diminuindo o teor no solo em $7,7 \text{ mg dm}^{-3}$, com extrações de $1,9 \text{ mg dm}^{-3}$, a cada colheita, mantendo-se ainda dentro da classe de muito alto. As taxas de diminuição dos teores de K, depois de cada safra e ao final, estiveram em media das duas seqüências, em $2,6 \text{ mg dm}^{-3}$ e $10,2 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente.

Os tratamentos adubados com as doses de 25 , 50 , 75 e 100 kg ha^{-1} de K_2O , também tiveram aumentos nos seus teores com valores de 7 , 8 , 9 e $12,3 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente.

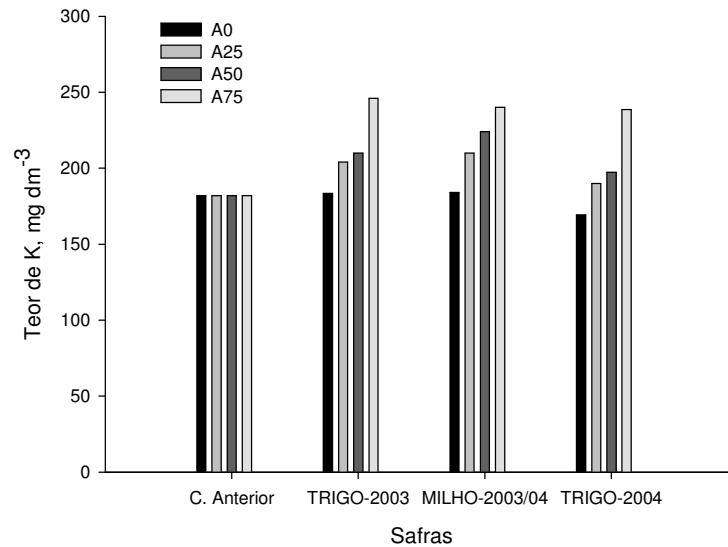


Figura 3.5 – Evolução dos teores de potássio no solo, em função as doses de K_2O de adubação de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência T/M/T. Itapúa, Paraguai, 2003-2004.

Neste local do experimento comparando as fertilizações e as exportações de K_2O obtidas nas duas seqüências de culturas (T/S/T e T/M/T) observa-se dois comportamentos distintos, ambos de forma esperada no solo, sendo o primeiro, na medida em que o K adicionado é maior que o exportado, os teores do solo aumentaram, sendo que esta situação se apresenta na maioria das parcelas nos tratamentos (Figura 3.6). Entretanto, nas parcelas onde a exportação é maior que a aplicação, houve uma redução nos teores de potássio, correspondendo a apenas 10% dos tratamentos

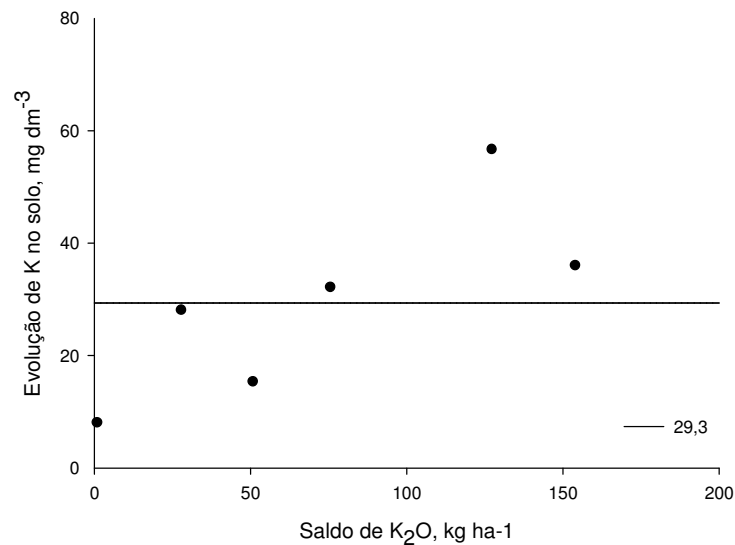


Figura 3.6 – Evolução nos teores de potássio no solo com o saldo (aplicação-exportação) de K₂O nas seqüências T/S/T e T/M/T. Itapúa, Paraguai. 2003- 2004

3.4.1.3 Capacidade tampão aparente de P e K do solo

Baseando-se nas diferenças entre adições de fertilizantes e exportações de P e K, em cada tratamento apresentados no Capítulo 1, foi possível calcular a média geral para Itapúa, da quantidade de P₂O₅ e K₂O necessária para elevar o teor de P e K em 1 mg dm⁻³ no solo (Tabela 3.1).

Para o P, o valor médio entre os diferentes níveis de fertilidade criados com as doses de manutenção, foi de 10,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para elevar 1 mg dm⁻³ de P no solo. Neste sentido, em um trabalho preliminar de calibração de P para solos de Paraguai, Cubilla (2005) determinou os requerimentos de P₂O₅ para elevar os teores em 1 mg dm⁻³, de acordo com seus históricos de adubação de P, são necessários 18,5 kg de P₂O₅ no solo em solos com grande histórico, e 35,3 kg de P₂O₅ em solos sem histórico de adubação de P, na média de sete solos, 27 kg de P₂O₅ para elevar 1 mg dm⁻³. Em outro experimento realizado por Dobermann et al. (2002) determinou-se que para aumentar 1 mg dm⁻³ no solo são necessários 12,5 kg ha⁻¹ de P.

Para o K, o valor médio encontrado foi de 3,0 kg ha⁻¹ de K₂O para elevar 1 mg dm⁻³ de K no solo, comparado aos valores encontrados por Wendling (2005) que determinou que são necessários entre 4 a 6 mg dm⁻³ de K₂O para aumentar o teor

de K no solo. Além disso, o autor destacou que para uma maior validade desses resultados, é necessário conduzir experimentos por um período de tempo maior, acompanhando o comportamento do K no solo.

Tabela 3.1 – Quantidade de P_2O_5 e K_2O ($kg\ ha^{-1}$) necessários para elevar o teor de fósforo e potássio em $1\ mg\ dm^{-3}$ no solo. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$)			
Tratamento			
N0 A80	5,4	N200 A0	10,3
N0 A120	10,5	N200 A80	11,9
N50 A40	4,8	N200 A120	15,4
N50 A80	7,4	N200 A40	12,2
N50 A120	11,7		
N100 A40	6,7		
N100 A80	12,7		
N100 A120	13,7		
MEDIA			10,2+/- 2,0
K_2O ($Kg\ ha^{-1}$)			
Tratamento			
A25	1,2		
A50	3,5		
A75	3,9		
MEDIA	3,0+/- 1,1		

Também considerando as relações entre as aplicações e exportações de P e K dentro dos tratamentos, foi estimada a quantidade média necessária de P_2O_5 e K_2O que deve ser extraída para diminuir em $1\ mg\ dm^{-3}$, o fósforo e potássio do solo (Tabela 3.2).

Para o P, é necessário exportar $30,3\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 para diminuir em $1\ mg\ dm^{-3}$ de P no solo, sendo três vezes maior comparado a taxa de construção. Neste sentido Ciampitti (2009) precisou $49,5\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 para obter o mesmo efeito. Mallarino & Borges (2006) observaram numa rotação de milho-soja ao longo de 12 anos de produção, nas parcelas que não foram adubadas, a necessidade de extração de $23\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 para diminuir $1\ mg\ dm^{-3}$ de P. Em relação ao K, precisa-se extrair $11,5\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O para diminuir $1\ mg\ dm^{-3}$ de K, valor muito superior em relação as quantidades necessárias para aumentar os teores no solo. Devido a escassez de dados neste aspecto, os mesmos devem ser consideradas somente como uma informação preliminar.

Tabela 3.2 – Quantidade exportada necessária de P_2O_5 e K_2O ($kg\ ha^{-1}$) para diminuir o teor de fósforo e potássio em $1\ mg\ dm^{-3}$ no solo. Itapúa, Paraguai. 2003-2004.

P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$)		K_2O ($kg\ ha^{-1}$)	
Tratamento		Tratamento	
N0A0	44,5	A0	11,5
N0A40	16,9		
Media	30,3		11,5

3.4.2 Alto Paraná

Neste local do experimento as avaliações foram feitas em quatro safras de produção de culturas de grãos com duas seqüências (milho/trigo/pousio/trigo/soja e soja/trigo/pousio/trigo/milho), dentro do SPD no período 2003 a 2006.

3.4.2.1 Evolução temporal dos teores de P no solo

Os valores iniciais médios dos teores de P, no ano 2003 foram de 8,0 e 7,5 $mg\ dm^{-3}$ nas seqüência M/T/P/T/S e S/T/P/T/M, respectivamente. Em situações ambas com teores de argila iguais a 470 $mg\ dm^{-3}$, são classificados como de classe média de acordo a tabela de interpretação estabelecida pela Comissão....(2004).

No nível 0 de criação encontrados na Figura 3.7, as parcelas com adubações de 0 e 40 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 de manutenção, na seqüência M/T/P/T/S, apresentaram redução de 3,5 e 2,7 $mg\ dm^{-3}$ de P, com taxas de perdas de 0,7 e 0,5 $mg\ dm^{-3}$ de P, a cada cultivo, com saldo de nutrientes com valores negativos. . As parcelas com doses de 80 e 120 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 evoluíram positivamente, com aumentos em seus teores de 6,1 e 13,4 $mg\ dm^{-3}$ de P.

Com respeito ao nível 50 de criação sem adubação de manutenção, verificou-se um decréscimo mínimo, em torno de 1 $mg\ dm^{-3}$ no teor, após quatro safras, ressaltando que com a dose indicada, se manteria o teor de P no solo. Porém, as que receberam fertilização em doses de 40, 80 e 120 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 apresentaram ganhos nos teores de 4,0; 13,5 e 14,2 $mg\ dm^{-3}$, com taxas de aumento em cada safra de 0,8; 2,7 e 2,8 $mg\ dm^{-3}$, respectivamente. No nível 100, todos os

tratamentos apresentaram aumentos no seus teores, variando de 2,2 a 19,1 mg dm⁻³. O nível 200 de P, com as mesmas doses de manutenção de P₂O₅, tiveram acréscimos no seus teores finais de P, com valores de 8,8; 12,0; 19,3 e 14,1 mg dm⁻³ e aumentos de 1,8; 2,4; 3,9 e 2,8 mg dm⁻³, em cada safra respectivamente. Com relação ao nível 400 de P os aumentos foram de 18,1; 25,1; 35,0 e 25,1 mg dm⁻³ de P, com taxas semestrais de 3,6; 5,0; 7,0 e 5,0 mg dm⁻³.

Observa-se que em todas as parcelas houve aumento nos teores de fósforo no solo com o aumento das doses de P₂O₅ aplicadas, superiores a 50 kg ha⁻¹. Não entanto, com doses menores e anuais, os incrementos foram graduais, comparadas depois das aplicações com doses de 200 ou 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ onde se observaram aumentos consideráveis (Figura 3.7). Isso ocorre quando adiciona-se P ao solo, ocasionando 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, chamado de capacidade de adsorção máxima de P, variando para cada tipo de solo (CONTE, 2003).

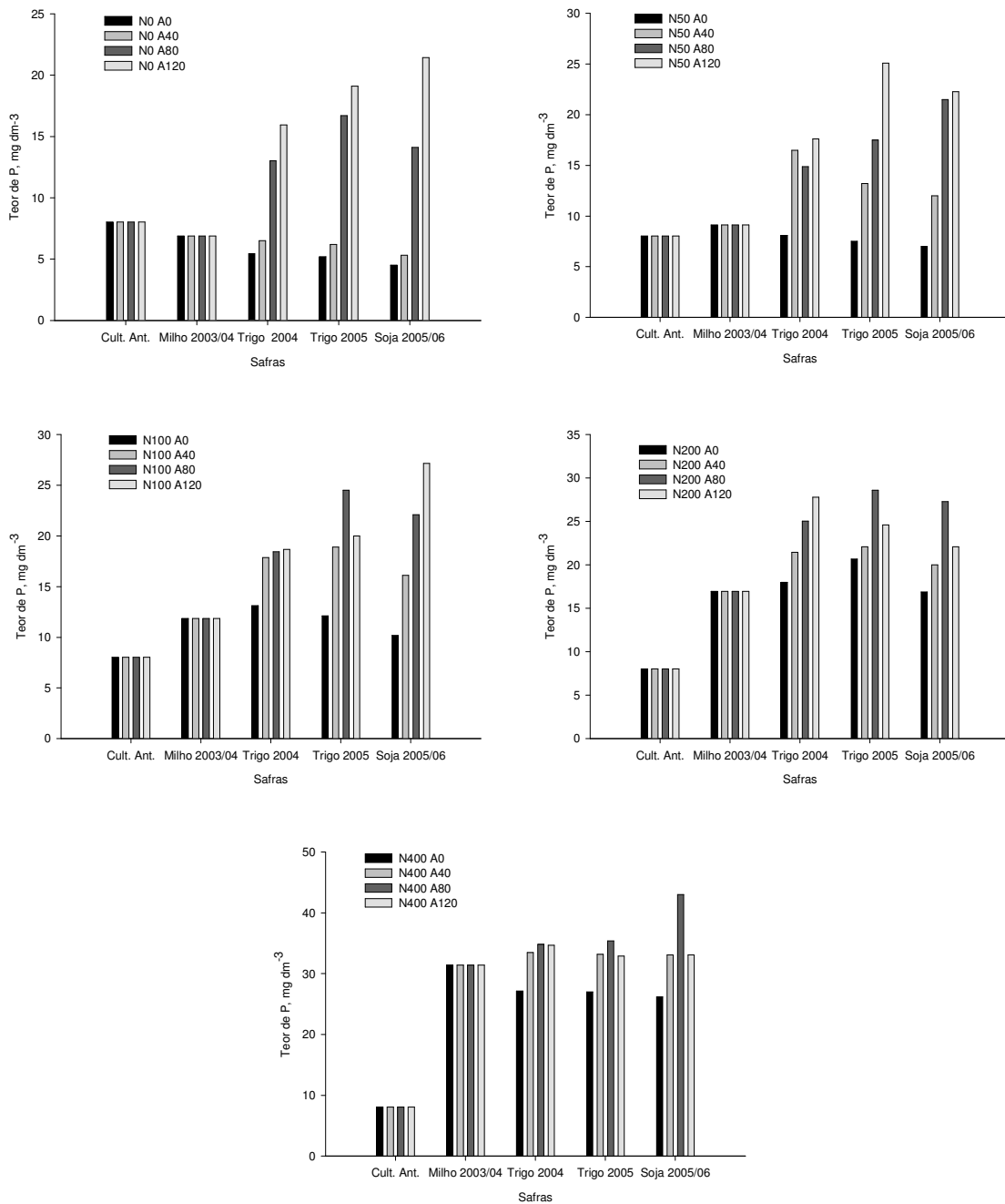


Figura 3.7 – Evolução dos teores de fósforo no solo nos diferentes níveis de criação em função as doses de P_2O_5 de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai. 2003- 2006.

A evolução dos teores de P na seqüência S/T/P/T/M é encontrada na Figura 3.8. O tratamento sem aplicação de P_2O_5 durante os três anos de avaliação apresentou redução média de $0,4\ mg\ dm^{-3}$ no seu teor, após cada colheita, totalizando ao final do experimento $2,0\ mg\ dm^{-3}$, valor menor quando comparado à

outra seqüência avaliada dentro do mesmo estudo. Cabe destacar que a média geral no experimento de Alto Paraná no tratamento foi de $2,75 \text{ mg dm}^{-3}$ com uma taxa semestral de $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ depois de cada colheita.

Ainda no nível 0 de P, a parcela com dose de manutenção de 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 teve um decréscimo no seu teor de $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$, mantendo-se estável durante as quatro safras, mesmo que houvesse extração de P, durante as colheitas de grãos.

No nível 50 de P foram observados aumentos de 8,7, 9,2 e $23,0 \text{ mg dm}^{-3}$ nos teores de P, dentro dos tratamentos com doses de 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respectivamente. Excetuando-se o tratamento 0, onde houve uma redução de apenas $0,3 \text{ mg dm}^{-3}$ no seu teor, não considerando-se significativa quanto a fertilidade.

No nível 100 de criação, todas as parcelas elevaram seus teores de P, com valores de 3,3; 10,6; 11,6 e $26,2 \text{ mg dm}^{-3}$ em função das doses 0, 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respectivamente.

Nos tratamentos 0, 40, 80 e 120 do nível 200 de P, registraram-se acréscimos consideráveis nos teores finais do experimento, comparados aos iniciais, com valores de 6,0, 9,7, 16,6 e $26,6 \text{ mg dm}^{-3}$. Comportamento semelhante foi verificado para o nível 400, com aumentos de 16,2, 17,9, 26,6 e $30,3 \text{ mg dm}^{-3}$ respectivamente.

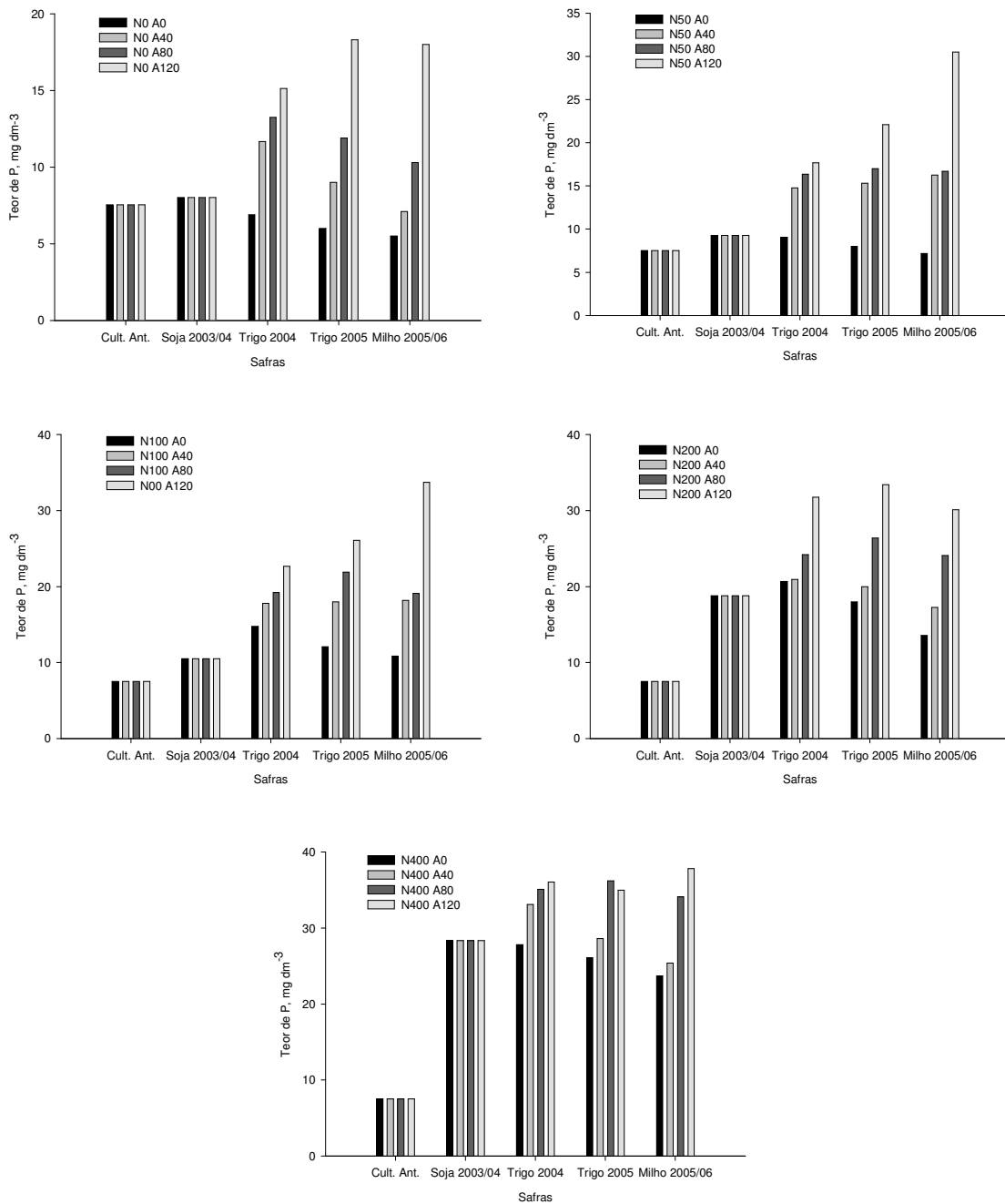


Figura 3.8 – Evolução dos teores de fósforo no solo nos diferentes níveis de criação em função as doses de P_2O_5 de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência S/T/T/M. Alto Paraná, Paraguai, 2003- 2006

As relações entre as adições e exportações de P no solo obtidas nas duas seqüências de rotação de culturas (M/T/P/T/S e S/T/P/T/M), no local do experimento, apresentaram-se semelhantes à Itapúa, onde constata-se três comportamentos distintos, sendo dois de forma esperada no solo e um inesperada.

Na primeira situação, com o aumento do P aplicado em relação ao P exportado, os teores do solo aumentaram, apresentando-se na maioria dos tratamentos (Figura 3.9). Também nas parcelas onde os valores de P exportado foram maiores que os de P aplicado, houve redução nos teores de fósforo, representando um pequeno percentual do total de tratamentos (Figura 3.10).

O comportamento inesperado no solo ocorreu para os teores que evoluíram positivamente quando as exportações foram superiores as aplicações. Essa situação foi encontrada em uma considerável quantidade de tratamentos. Com referencia a isso, Hansel et al. (2009) fazendo a mesma correlação de variabilidade dos teores do potássio num área de agricultura de precisão verificou que 44% do total de amostras apresentaram tal situação.

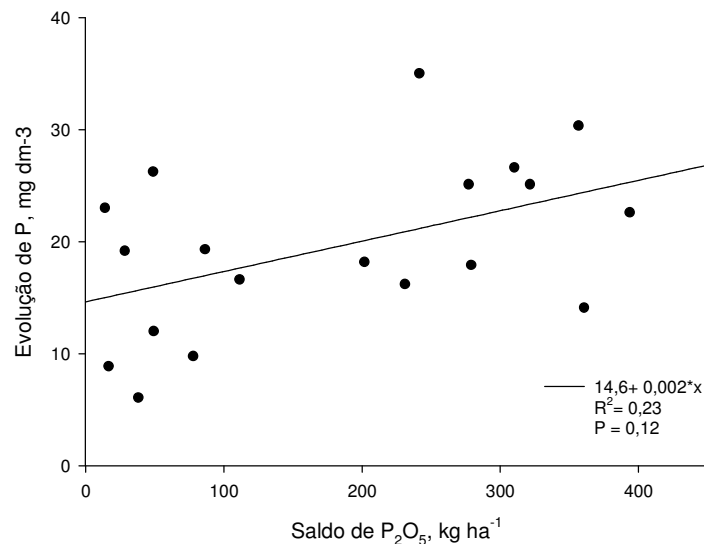


Figura 3.9 – Evolução nos teores de fósforo no solo relacionados com o saldo (aplicação-exportação) nas seqüências M/T/P/T/S e S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

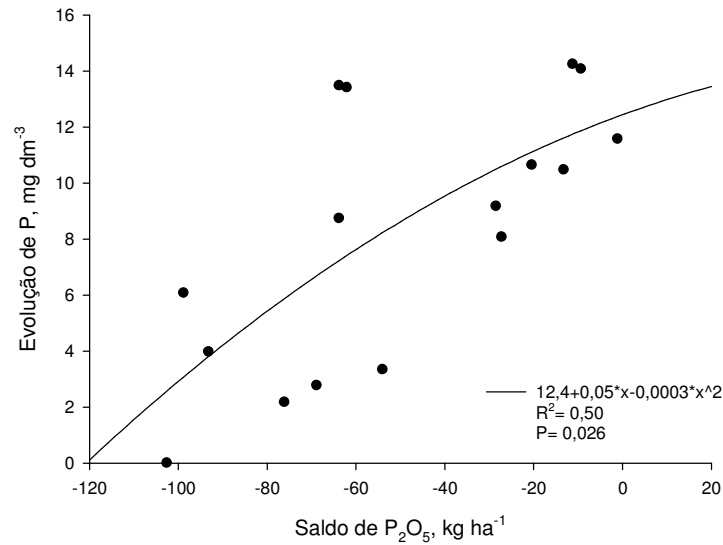


Figura 3.10 – Evolução nos teores de fósforo no solo relacionados com o saldo (aplicação-exportação) nas seqüências M/T/P/T/S e S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006

3.4.2.2 Evolução temporal dos teores de K no solo

As parcelas adubadas com distintas doses de potássio apresentaram resultados semelhantes na evolução de seus teores no solo, tanto na seqüência M/T/P/T/S como na M/T/P/T/S (Figuras 3.11 e 3.12).

O tratamento sem adubação potássica apresentou reduções não significativas de seu conteúdo no solo, não afetando a disponibilidade para as plantas, devido as grandes reservas do material encontrada na estrutura dos minerais primários e secundários, que cumprem a função de repor constantemente as perdas no solo, com médias que estiveram com valores de 12,5 mg dm⁻³ e com taxas semestrais de 2,4 mg dm⁻³.

Todos os tratamentos que foram adubados com doses de fertilizantes potássicos tiveram aumentos nos conteúdos do K no solo. Entretanto, os mesmos não representaram benefícios adicionais na produtividade das culturas. Isto pode-se atribuir aos teores iniciais muito altos do K no solo, no local do experimento, com valores bastante superiores ao valor crítico estabelecido por Fatecha (1999) e validado por Wendling (2005).

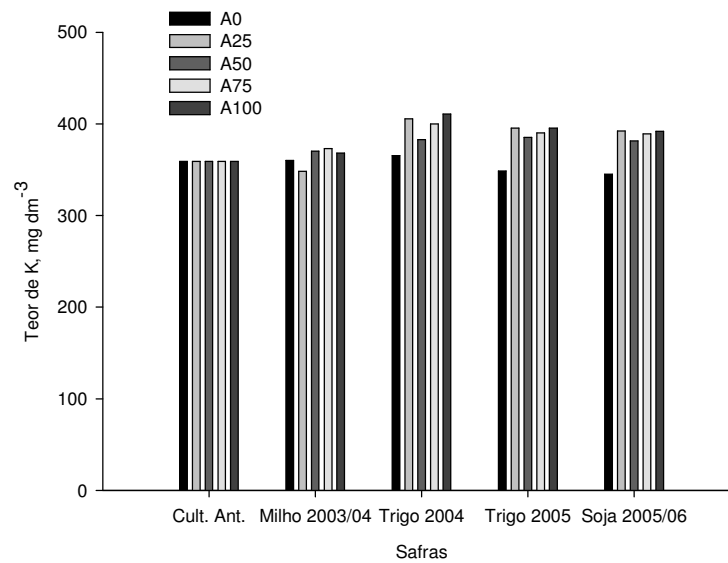


Figura 3.11 – Evolução dos teores de potássio no solo, em função as doses de K_2O de adubação de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência M/T/P/T/S. Alto Paraná, Paraguai, 2003- 2006.

Estes resultados constituem um avanço importante para a agricultura do Paraguai, sendo o departamento de Alto Paraná uma das regiões agrícolas mais exploradas. Nesta região verifica-se o predomínio de teores de K muito alto no solo, surgindo a possibilidade de reduzir as adubações potássicas, ou incentivar à utilização de adubos verdes como o nabo forrageiro ou milheto, com grande poder de ciclagem do nutriente no solo. O conhecimento dessa característica representa uma estratégia recomendável, em anos onde a expectativa de preço é baixa, ou em safras pouco produtivas com condições financeiras dos agricultores geralmente baixas, podendo-se então economizar sem a redução na produtividade das culturas.

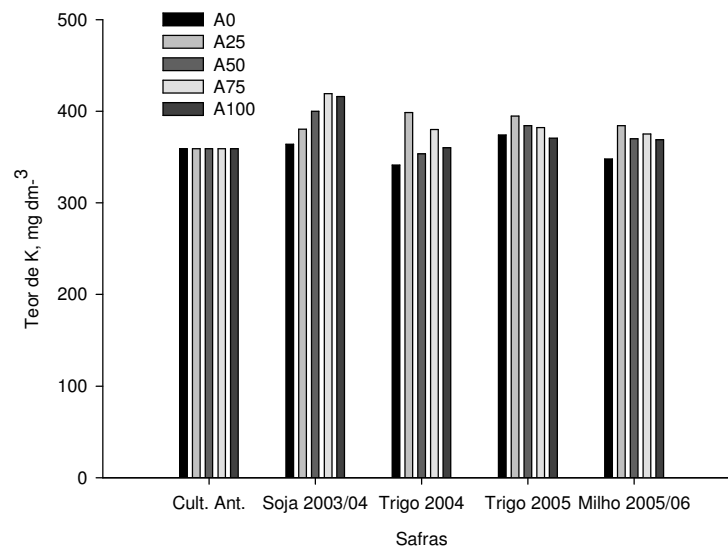


Figura 3.12 – Evolução dos teores de potássio no solo, em função as doses de K_2O de adubação de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência S/T/P/T/M. Alto Paraná, Paraguai, 2003- 2006.

Semelhante aos resultados de Itapúa no mesmo capítulo, não foi possível ajustar a equação de grau de significância, nem correlacionar a evolução dos teores de K no solo com a aplicação/exportação. Isso devido aos altos teores iniciais do potássio no solo, e pela não resposta às doses de fertilizantes potássicos, nem diferenças significativas no rendimento das culturas.

3.4.2.3 Capacidade tampão aparente de P e K do solo

Assim como no outro local de experimentação foram calculadas as quantidades necessárias de P_2O_5 e K_2O para elevar $1\ mg\ dm^{-3}$ de P e K no solo (Tabela 3.3). Com relação ao P, o valor médio foi de $7,7\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 para elevar $1\ mg\ dm^{-3}$ de P no solo. Neste contexto, Berardo (1997) e Selles et al. (2007) observaram a necessidade de $6,7$ e $6,0\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , respectivamente, para gerar um aumento de $1\ mg\ dm^{-3}$ de P no solo, com níveis iniciais de $11,6\ mg\ dm^{-3}$, teores próximos aos encontrados neste trabalho. Para o K, o valor médio encontrado foi de $2,2\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O para elevar $1\ mg\ dm^{-3}$ de K no solo.

Tabela 3.3 – Quantidade de P₂O₅ e K₂O necessários para elevar o teor em 1 mg dm⁻³ de fósforo e potássio no solo nos distintos níveis e tratamentos. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)			
Tratamento			
N50 A120	0,6	N200 A120	21,6
N200 A0	1,7	N400 A0	12,7
N100 A200	4,2	N400 A40	13,4
N200 A40	6,1	N400 A80	9,3
N200 A80	5,6	N400 A120	12,3
Media			7,7+/-4,7
(K ₂ O kg ha ⁻¹)			
Tratamento			
A25	1		
A50	5,2		
A75	3,2		
A100	0,7		
Media	2,2+/-1,4		

Foram estimadas em média, as quantidades necessárias de P₂O₅ e K₂O que devem ser extraídas do solo pelas culturas de grãos para diminuir em 1 mg dm⁻³ de fósforo e potássio no solo (Tabela 4.4). Para o P, é necessário exportar 57,1 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para diminuir em 1 mg dm⁻³ de P no solo, e para o K precisa-se extrair 33,7 kg ha⁻¹ de K₂O para diminuir 1 mg dm⁻³ de K no solo.

Tabela 3.4 – Quantidade necessária exportadas de P₂O₅ e K₂O para diminuir o teor em 1 mg dm⁻³ de fósforo e potássio no solo, nos distintos níveis e tratamentos. Alto Paraná, Paraguai. 2003-2006.

P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		K ₂ O (kg ha ⁻¹)	
Tratamento		Tratamento	
N0 A0	57,1	A0	33,7
Media Geral	57,1		33,7

3.4.3 Misiones

Neste local do trabalho, as avaliações foram realizadas em três safras de inverno e duas de verão, em duas seqüências de culturas de grãos (trigo/milho/trigo/soja/trigo e trigo/soja/trigo/milho/trigo), no SPD no período 2003 a 2005.

3.4.3.1 Evolução temporal dos teores de P no solo

Os resultados da evolução temporal dos teores de P correspondente à primeira seqüência de culturas (T/M/T/S/T) são encontrados na Figura 3.13. O teor inicial de P em media nas parcelas foi de $11,5 \text{ mg dm}^{-3}$, com teores de argila de 250 gr kg^{-1} de solo, de classe média sendo considerado pela Comissão....(2004). No tratamento sem adubação de P_2O_5 , durante as cinco safras avaliadas, houve uma redução no seu teor de $4,6 \text{ mg dm}^{-3}$, com taxas de redução semestral de $0,9 \text{ mg dm}^{-3}$, superior em relação aos encontrados nos locais de Itapúa e Alto Paraná. O tratamento de nível 0 com dose de manutenção de 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 também apresentou pequenas diminuições no conteúdo de P, mantendo-se estáveis no solo. Os demais tratamentos com doses de 80 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 tiveram aumentos de 20,3 e $9,3 \text{ mg dm}^{-3}$ comparados ao teor inicial antes da primeira aplicação.

O nível 50 tratamentos adubados com 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 apresentaram aumentos no seus teores iniciais ao final do experimento de 13,2; 9,2 e 23,8, respectivamente. O tratamento 0 de criação sofreu uma diminuição de 1,4 e $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$, mantendo-se quase constante o teor de P no solo.

O nível 100 sem adubação de manutenção manteve inalterável seu conteúdo de P no solo, e as parcelas com fertilizações realizadas com doses de manutenção de 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 , incrementaram os teores de P no solo em 12,7, 28,8 e $29,2 \text{ mg dm}^{-3}$, comparada a avaliação do trigo 2003 com a avaliação do trigo 2005. Com respeito ao nível 200, pode-se ressaltar que todos os tratamentos aumentaram seus teores de fósforo em resposta as aplicações de fertilizante fosfatado.

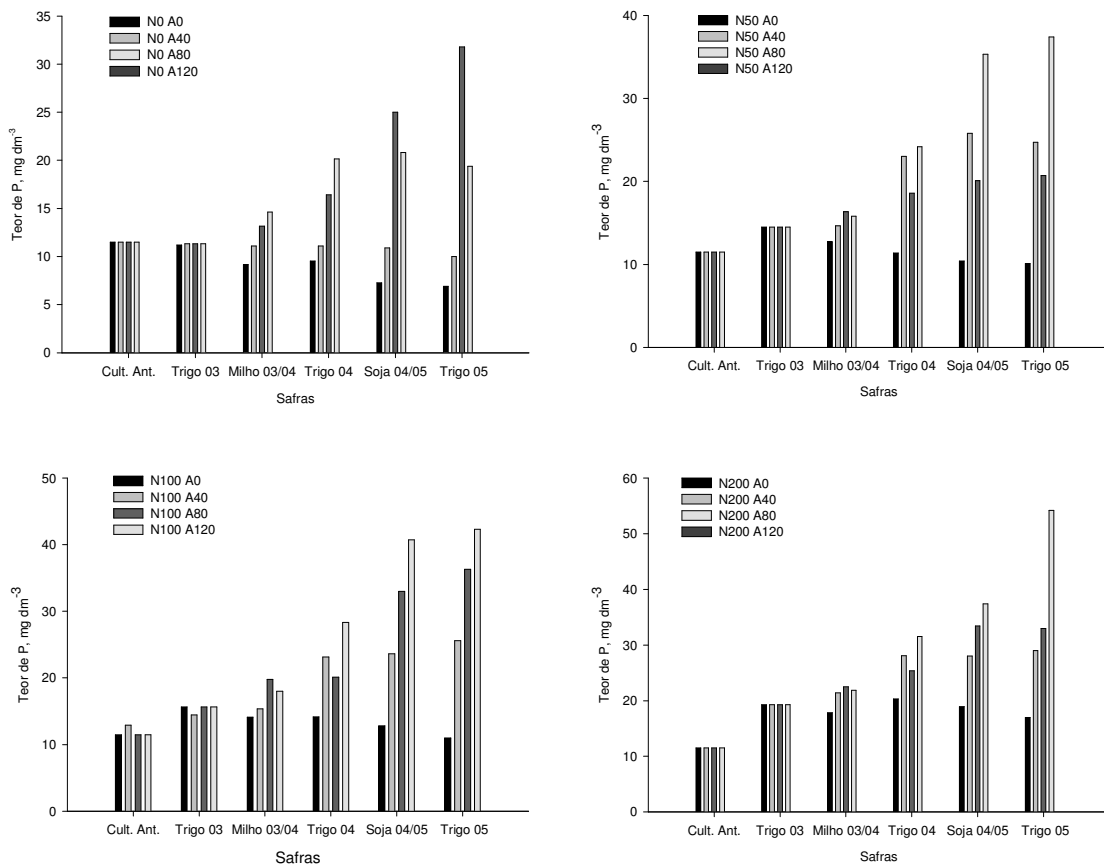


Figura 3.13 – Evolução dos teores de fósforo no solo nos diferentes níveis de criação em função as doses de P_2O_5 de manutenção ($kg\ ha^{-1}$) na seqüência T/M/T/S/T. Misiones, Paraguai, 2003- 2005.

A segunda rotação de culturas de grãos (T/S/T/M/T) no estudo de doses de P (Figura 3.14) tiveram teores iniciais no solo de $12,9\ mg\ dm^{-3}$, dentro do mesmo nível em relação à outra seqüência.

Dentro do nível 0, a parcela que não recebeu aplicação de fertilizante fosfatado durante as cinco safras sofreu um decréscimo no seus teores iniciais de $2,9\ mg\ dm^{-3}$, com taxa de perda semestral de $0,6\ mg\ dm^{-3}$, valor considerado baixo, quase mantendo seu conteúdo no solo, com uma media das duas seqüências de $1,9\ mg\ dm^{-3}$ com taxa de $0,4\ mg\ dm^{-3}$. O mesmo comportamento se apresentou no tratamento com dose de $40\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 que não teve alteração no mesmo. Os solos com fertilizações de 80 e $120\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 aumentaram seus teores em 10,5 e $16,5\ mg\ dm^{-3}$ respectivamente.

No nível 50 de criação, a parcela sem dose de manutenção decresceu 3,7 mg dm⁻³, com valor de 0,8 mg dm⁻³ superior ao tratamento sem adubação. Os demais tratamentos com doses de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ tiveram aumentos de 15,6, 24,4 e 17,1 mg dm⁻³ respectivamente.

No nível 100 de P o tratamento com dose 0 de manutenção se manteve estáveis com 0,9 mg dm⁻³ de diminuição. Os tratamentos com adubações de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentaram aumentos de 15,8, 25,0 e 22,7 mg dm⁻³ de P no nível do solo.

As parcelas que receberam fertilizações de manutenção de 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, dentro do nível 200 elevaram seus teores em 9,5; 16,5; 23,6 e 31,1 mg dm⁻³, sendo proporcionais á aumento da dose de P.

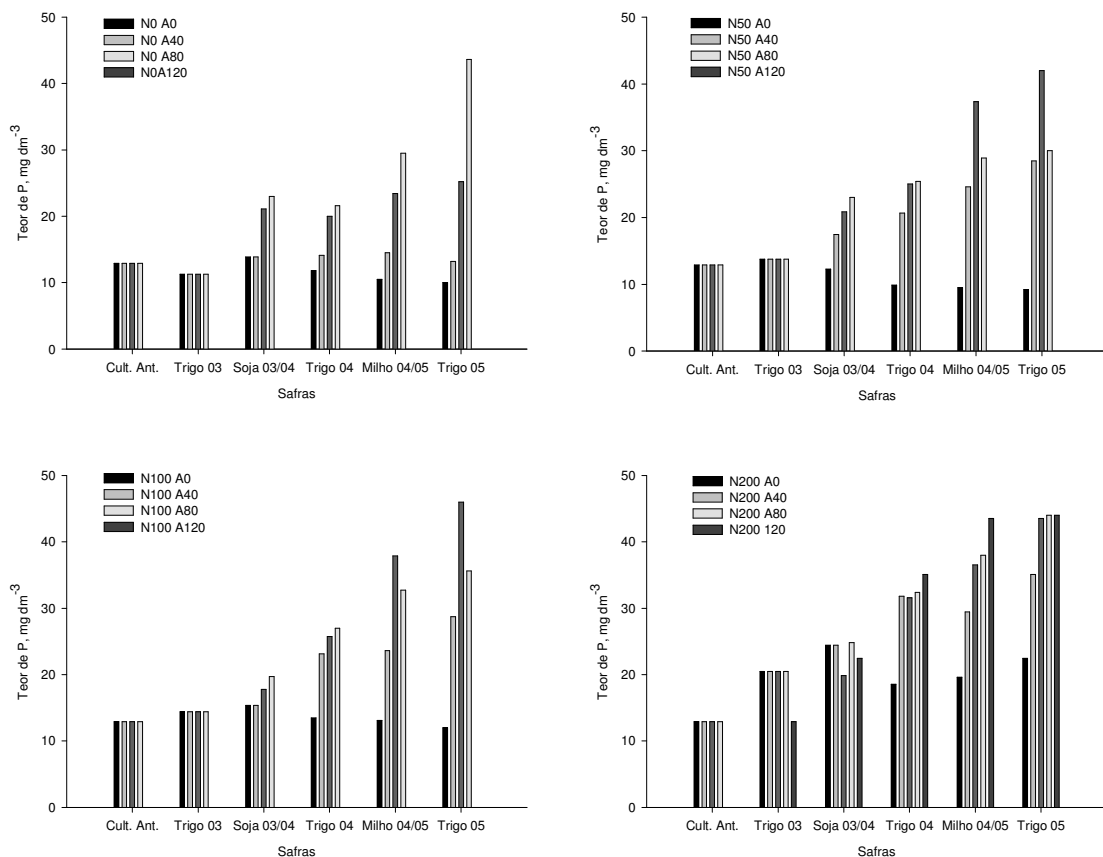


Figura 3.14 – Evolução dos teores de fósforo no solo nos diferentes níveis de criação em função as doses de P₂O₅ de manutenção (kg ha⁻¹) na seqüência T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai, 2003- 2005.

Relacionado às adições de fertilizantes fosfatados e exportações de P via colheitas obtidas nas duas seqüências de rotação de culturas (T/M/T/S/T e T/S/T/M/T) no local do Misiones foram observados situações diferentes. À medida que o fertilizante fosfatado aplicado foi maior que o exportado, os teores do solo aumentaram, sendo que esta situação corresponde a maioria dos tratamentos, observados na Figura 3.15. Assim como as parcelas onde tiveram valores de P_2O_5 exportados maiores que os aplicados, houve uma redução nos teores de fósforo, (Figura 3.16).

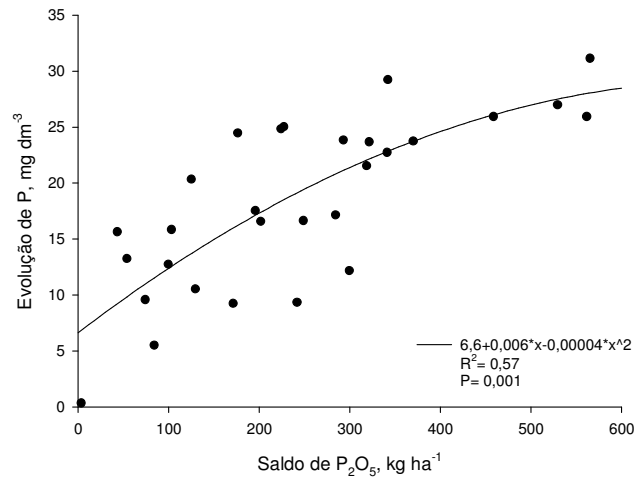


Figura 3.15 – Evolução nos teores de fósforo no solo relacionados com o saldo (aplicação-exportação) nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005

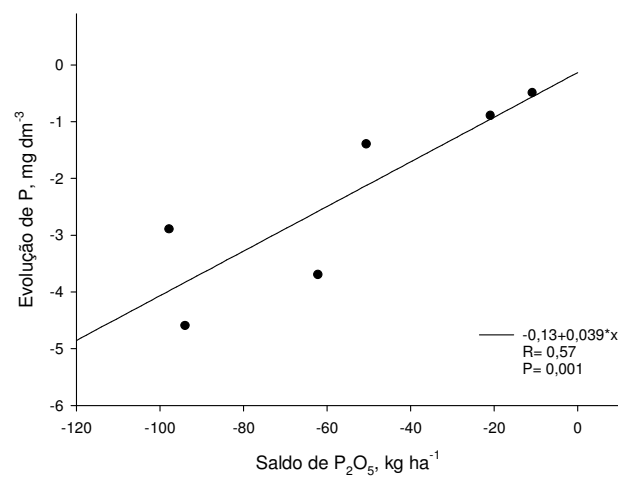


Figura 3.16 – Evolução nos teores de fósforo no solo relacionados com o saldo (aplicação-exportação) nas seqüências T/M/T/S/T e T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

3.4.3.2 Evolução temporal dos teores de K no solo.

A evolução dos teores de K no departamento de Misiones, nas duas rotações de culturas de grãos apresentaram resultados significativos as aplicações de fertilizantes potássicos comparadas aos outros locais avaliados com escassa ou quase nula resposta aos mesmos.

Os teores no início do experimento na primeira seqüência de rotação T/M/T/S/T foi de $48,7 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 3.17) menor ao teor crítico de 75 mg dm^{-3} correspondente as principais culturas de grãos (FATECHA, 1999; WENDLING, 2005), mantendo-se estáveis na parcela sem adições de fertilizantes potássicos durante as cinco safras avaliadas. As demais parcelas com adubações de 25, 50, 75 e 100 sofreram aumentos nos seus teores de 31,2; 32,6; 36,6 e $66,3 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente.

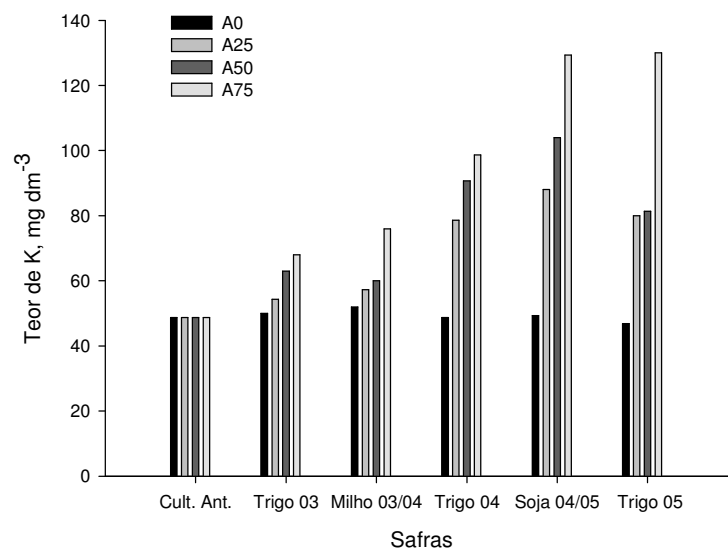


Figura 3.17 – Evolução dos teores de potássio no solo, em função as doses de K_2O de adubação de manutenção (kg ha^{-1}) na seqüência T/M/T/S/T. Misiones, Paraguai, 2003- 2005.

Na outra seqüência avaliada T/S/T/M/T apresentou teores iniciais de 46 mg dm^{-3} , quase similares aos determinados na seqüência de culturas anterior, (Figura 3.18). A parcela que não recebeu adubação com K manteve estável seus níveis no solo durante as cinco safras com pequenas diminuições, mais sendo não

significativas. As fertilizações realizadas com doses 25, 50, 75 e 100 estabelecidas em cada safra aumentaram proporcionalmente de acordo as quantidades, os teores no solo em 11,0; 26,0; 34,0 e 41,0 mg dm⁻³ respectivamente.

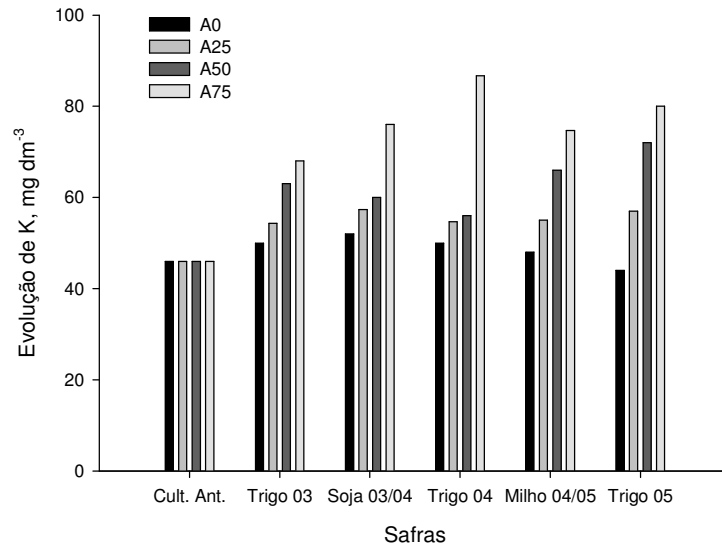


Figura 3.18 – Evolução dos teores de potássio no solo, em função as doses de K₂O de adubação de manutenção (kg ha⁻¹) na seqüência T/S/T/M/T. Misiones, Paraguai, 2003- 2005.

Neste local do experimento foi correlacionado os ingressos e egressos de K₂O obtidas nas duas seqüências de culturas (T/S/T/M/T e T/S/T/M/T) encontrando-se dois comportamentos distintos, mais de forma esperada no solo, na medida em que o K adicionado é maior que o exportado, os teores do solo aumentaram, sendo que esta situação se apresenta na maioria das parcelas nos tratamentos. Também as unidades experimentais onde a exportação é maior que a aplicação, houve uma redução nos teores de potássio, correspondendo a apenas 10% do total de tratamentos

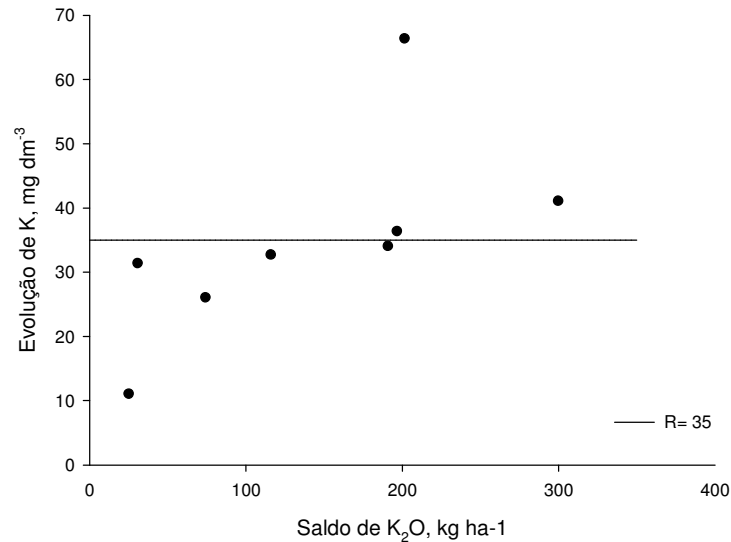


Figura 3.19 – Evolução nos teores de potássio no solo relacionados com o saldo de K₂O nas seqüências T/M/T/S/T e T/M/T/S/T. Misiones, Paraguai. 2003- 2005

3.4.3.3 Capacidade tampão aparente de P e K do solo

Para o P, o valor médio dentro dos diferentes níveis de fertilidade criados foi de 14,9 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para elevar 1 mg dm⁻³ de P no solo. Isto está de acordo com Ciampitti (2009) que encontrou em solos com teores iniciais menores a 25 mg dm⁻³ de P valores entre 10 e 13 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para aumentar em 1 mg dm⁻³ de P no solo. Mallarino (2006) num estudo de 11 anos de duração observou que doses de 22 kg ha⁻¹ de P provocaram um incremento de 1 mg dm⁻³ de P no solo.

Para o K o valor médio encontrado foi de 4,2 kg ha⁻¹ de K₂O necessário para elevar 1 mg dm⁻³ de K no solo.

Tabela 3.5 – Quantidade de P₂O₅ e K₂O necessários para elevar o teor em 1 mg dm⁻³ de fósforo e potássio no solo nos distintos níveis e tratamentos. Misiones, Paraguai. 2003-2005.

P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)					
Tratamento					
N50 A0	18,8	N0 A80	10,2	N200 A120	20,4
N200 A0	13,8	N50 A80	14,2	N400 A120	20,0
N400 A0	21,9	N100 A80	9,7		
N0 A40	18,2	N200 A80	14,9		
N50 A40	4,5	N400 A80	18,4		
N100 A40	8,1	N0 A120	21,5		
N200 A40	12,5	N50 A120	15,1		
N400 A40	14,9	N100 A120	13,9		
MEDIA					14,9+/- 3,6
K ₂ O (kg ha ⁻¹)					
Tratamento					
A25	0,1				
A50	10,7				
A75	4,7				
A100	3,7				
MEDIA	4,2+/- 2,4				

Na Tabela 3.6 são observadas as quantidades necessárias de P que devem ser exportados via colheita de grãos para diminuir em 1 mg dm⁻³ de P no solo, sendo as mesmas de 23,2 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

No mesmo contexto se precisam extrair 40,2 kg ha⁻¹ de K₂O para diminuir 1 mg dm⁻³ de K no solo.

Tabela 3.6 – Quantidade necessária exportadas de P₂O₅ e K₂O para diminuir o teor em 1 mg dm³ de fósforo e potássio no solo, nos distintos níveis e tratamentos. Misiones, Paraguai. 2003-2006.

P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		K ₂ O (kg ha ⁻¹)	
Tratamento		Tratamento	
N0 A0	23,2	A0	40,2
MEDIA	23,2		40,2

Fazendo uma media dos três experimentos avaliados de acordo a suas características próprias de cada solo, são necessários aplicar 11,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 3,1 kg ha⁻¹ de K₂O para elevar em 1 mg dm⁻³ de P e K respectivamente. Assim como devem ser exportados 36,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 28,5 kg ha⁻¹ de K₂O para diminuir 1 mg dm⁻³ de P e K no solo, como são observados na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Quantidade de aplicação e exportação de P_2O_5 e K_2O necessária em média para diminuir e aumentar o teor em 1 mg dm^{-3} de fósforo e potássio no solo, nos distintos níveis e tratamentos nos três locais de avaliação. Paraguai. 2003-2006.

P_2O_5 (kg ha ⁻¹)			K_2O (kg ha ⁻¹)		
Local	Construção	Depressão	Local	Construção	Depressão
Itapúa	10,2	30,3	Itapúa	3,0	11,5
Alto Paraná	8,7	57,1	Alto Paraná	2,2	33,7
Misiones	14,2	23,2	Misiones	4,2	40,2
MEDIA	11,0	36,8	MEDIA	3,1	28,5

3.5 Conclusões

- Os teores de P no solo para o tratamento sem adubação fosfatada de correção e manutenção durante todas as safras produzidas sofreram reduções em média de 2,4; 2,7 e 3 mg dm^{-3} com taxas de 0,6; 0,5 e 0,6 mg dm^{-3} para os departamentos de Itapúa, Alto Paraná e Misiones respectivamente.
- Na maioria dos tratamentos onde foram aplicados fertilizantes fosfatados, os teores iniciais de P no solo se mantiveram com doses acumuladas de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 durante todo o experimento.
- Para solos dos departamentos de Itapúa, Alto Paraná e Misiones são necessários aplicar 10,5; 7,7 e 14,5 kg ha^{-1} de P_2O_5 para elevar 1 mg dm^{-3} de P no solo, respectivamente, assim como é necessário extrair 30,3; 57,1 e 23,2 kg ha^{-1} de P_2O_5 para diminuir 1 mg dm^{-3} de P no solo.
- Os teores de K no solo, para o tratamento sem adubação potássica durante todas as safras produzidas sofreram diminuições de 10,2; 12,5 e 1,9 mg dm^{-3} com taxas semestrais de extração de 2,6; 2,4 e 0,4 mg dm^{-3} para os departamentos de Itapúa, Alto Paraná e Misiones respectivamente.
- Em todos os tratamentos onde foram aplicados fertilizantes potássicos com doses acumuladas de 40 kg ha^{-1} os teores médios de K se mantiveram estáveis.
- Para solos dos departamentos de Itapúa, Alto Paraná e Misiones são necessários aplicar 3,0; 2,2 e 4,2 kg ha^{-1} de K_2O para elevar 1 mg dm^{-3} de K no solo, respectivamente. Sendo necessário extrair 11,5; 33,7 e 40,2 kg ha^{-1} de K_2O para diminuir 1 mg dm^{-3} de K no solo.

- Em media dos três locais foram necessários aplicar $11,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 para elevar 1 mg dm^{-3} de P no solo e extrair $36,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 para diminuir 1 mg dm^{-3} de P no solo, assim como aplicar $3,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O para elevar 1 mg dm^{-3} de K e extrair $28,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O para diminuir 1 mg dm^{-3} de P no solo.

REFERÊNCIAS

AMADO, T.J.; ELTZ, F.L **Nitrogen management in southern Brazil and western Paraguay**. 2007. Disponível em: [≤www.elsevier.com.br>](http://www.elsevier.com.br). Acesso em: 1 June 2008.

AMADO, T.J.; SCHILDWEIN, J.A; FIORIN, J.E. **Manejo do solo visando á obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto**. 2007. No prelo.

AQUINO, B.F. O uso de fertilizantes e corretivos agrícolas e os impactos sobre o ambiente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DE SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Tec. Treina, 2009. 1 CD-ROM.

AULAKH, M.; N. PASRICHA. Transformation of residual fertilizer P in arid tropical soil under eight year peanut-wheat rotation. **Fertilizer Research**, v. 29, p. 145-152, 1991.

BAHIA FILHO, A.F.C. et al. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 7, p. 221-226, 1983.

BARRETO, U. F. **Recomendações de Fertilização Fosfatada e Potássica para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2008. 223 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A. **Absorção de nutrientes pela soja**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 36 p. (Boletim Técnico, 41), 1977.

BENBI, D.K.; BISWAS, C.R. Nutrient budgeting for P and K in a longterm fertilizer trial. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 54, p. 125-132, 1999.

BERARDO, A. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. In: SIMPOSIO "EL FÓSFORO EN LA AGRICULTURA". INPOFOS Cono Sur 1., 2003, Rosario. **Anais...** Rosario: [s.n.], p. 38-44, 2003.

BERARDO, A. Long-term effects of P fertilization in wheat yields, efficiency and soil test levels. **Better Crops**, v. 12, n. 2, p. 18-20, 1997.

BORGES, S. M. Serviços para usuários em bibliotecas universitárias. In: JORNADA SULRIO-GRANDENSE DE BIBLIOTECONOMIA E DOCUMENTAÇÃO, 6., 1980, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Associação Rio-Grandense de Bibliotecários, p. 81-97, 1980.

BORKERT, C. M. et al. Resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em Latossolo Roxo Eutrófico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 32, n. 10, p. 1.009-1.022, 1997.

BORTOLUZZI, E.C. et al . Alterações na mineralogia de um argissolo do Rio Grande do Sul submetido à fertilização potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, jun. 2005. Disponível em <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 23 ago. 2009.

BRUNETTO, G. et al. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, jul. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 25 ago. 2009.

BRUULSEMA, T.; LEMUNYON, J.; HERZ, B. **Know your fertilizer rights**. Washington, DC: The Fertilizer Institute, 2009.

CAPECO – **Cámara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas**. 2009. Disponível em: <www.capeco.org.py>. Acesso em: 3 set. 2009.

CASTILHOS, R.M.V.; MEURER, E.J. Cinética de liberação de potássio em Planossolo do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 31, p. 979-983, 2001.

CIAMPITTI, I. **Dinámica del fósforo del suelo en rotaciones agrícolas en ensayos de nutrición a largo plazo**. 2009. 116 f. Tesis (Maestría en Ciencia del Suelo) - Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 2009.

COMISSÃO DE QUIMICA 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, 394 p., 2004.

CONTE, E. et al. Frações de fósforo acumulada em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 893-900, 2003.

CROSS, A.F.; SCHLESINGER, W.H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, v. 64, p. 197-214, 1995.

CUBILLA ANDRADA, M. M. **Calibração visando recomendação de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2005. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

DERPSCH, R. **Implicaciones económicas de la adopción de prácticas conservacionistas en el Paraguay con énfasis en el sistema de siembra directa**. 1998. No prelo

DOBERMANN, A.; T. GEORGE and N. THEVS. 2002. P fertilizer effects on soil P pools in acid upland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 652-660, 2002.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 412p., 1999.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; DOS SANTOS, F.C. Potássio. In____. Fertilidade de Solo. 1. ed. **Livro Brasileira de Ciência do Solo** Viçosa. Cap. 9, p. 551 – 597.

FATECHA, A. **Guía para la fertilización de cultivos anuales e perennes de la región oriental del Paraguay**. Caacupe, Paraguay: Ministerio de Agricultura y Ganadería, 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**. 2004. 109 f. Tesis (Graduación en Agronomía)- Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, 2004.

FEDERAÇÃO DAS COOPERATIVAS AGROPECUÁRIAS DO RIO GRANDE DO SUL - FECOAGRO/RS. **Custo de produção, lavouras em plantio direto**. Porto Alegre, 35 p., 2004.

FIORIM, J. E. **Ciclagem de nutrientes e produtividade de grãos em sucessões de culturas sob o sistema de plantio direto**. 2008. 123 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FLORENTÍN, M.; et al. **Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa:** pequeñas propiedades. San Lorenzo, Paraguay: Proyecto de Conservación de Suelos GTZ-MAG/DIA/DEAG, 84 p., 2001.

GARCIA F. **Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana.** Acassuso, Buenos Aires, Argentina: INPOFOS Cono Sur, p. 1-9. (Informaciones Agronómicas, n. 9). 2001.

GARCIA, F. Balance de nutrientes en la rotación: Impacto de rendimientos y calidad de suelo. In: 2do SIMPOSIO DE FERTILIDAD Y FERTILIZACIÓN EN SIEMBRA DIRECTA, 2003. Rosario. **Anais....** Rosário: [s.n.], p. 56- 63. 2003.

GARCIA, F. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. Acassuso, Buenos Aires, Argentina: INPOFOS Cono Sur, p. 5-14 (Informaciones Agronómicas, n. 29). 2006.

GARCÍA F. et al. **La red de nutrición de la región CREA Sur de Santa Fe:** resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. Buenos Aires, Argentina: Editorial AACREA, 2006.

GARCIA, F.; CIAMPITTI, I. **Requerimientos nutricionales y balances de nutrientes.** Bs. As., Argentina: [s.n.], p. 2-6. (Agromercado Tematico, año 27). 2007.

GATIBONI, L.C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo ás plantas.** 2003. 231 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GATIBONI, Luciano Colpo et al. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 31, n. 4, ago. 2007.

HANSEL, F.D. et al. Evolução dos teores de potássio e sua relação com a fertilização e exportação via colheita. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza, CE. **Resumos...** Fortaleza: [s.n], p. 120-125, 2009.

IICA - Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura. 2010. Disponível em: <www.iica.com.uy>. Acesso em: 20 fev. 2010.

KAMINSKI, João et al. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, out. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 25 ago. 2009.

KAMPRATH, E.J. Changes in phosphate availability of Ultisols with longterm cropping. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v. 30, p. 909–919, 1999.

LINQUIST, B.A et al. Residual P and long-term management strategies for an Ultisol. **Plant and Soil**, v. 184, n. 1, p. 47-55, 1996.

MAG/IAN - Instituto Agronómico Nacional. **Informe Anual**. Caacupé, Paraguay: Sección de Agrometeorología, 20 p., 2005.

MALLARINO, A.P.; BORGES, R. Phosphorus and Potassium Distribution in Soil Following Long-Term Deep-Band Fertilization in Different Tillage Systems. Nutrient Management & Soil & Plant Analysis. **Soil Science Society Americam. J.**, Madyson. USA, v. 70, p. 702–707, 2006.

MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado**. 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T. Soja. In: RAIJ, B. van et al. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronómico de Campinas, Fundação IAC, p. 285, 1997.

McCOLLUM, R.E. Buildup and decline in soil phosphorus: 30-year trends on a Typic Umbrabuult. **Agronomy Journal**, v. 83, p. 77-85, 1991.

MIELNICZUCK, J. **O potássio no solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1982. 80 p. (Boletim Técnico, 2).

MUSULLI, G. et al. **Curso de avaliação de projetos e análises de Risco no Paraguai**: Projeto de Planta de Fertilizantes - Caso Mayor. Assunção, Paraguai. [S.l.: s.n.], 30 p., 1997.

MUZILLI, O. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 95-100, 1983.

NOVAIS, R.F. Sugestões de adubação para a cultura da soja. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** - 5a Aproximação. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 359 p., 1999.

OLIVEIRA, J.R. **Sistema para calculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de Teça**- Nutriteca. 2003. 76 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

OLOYA, T.O.; LOGAN, T.J. Phosphate desorption from soils and sediments with varying levels of extractable phosphate. **Journal Environment Quality**, Madison, v. 9, p. 526-531, 1980.

PARAGUAY. Ministerio de Agricultura y Ganaderia (MAG). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA. **PARAGUAY: en el mapa competitivo del mundo “ Koa Ikatuta”**: informe final: agendas subsectoriales y por Áreas Temáticas. Asunción. Paraguay, 2003. 1 CD-ROM.

POTAFOS. **Fósforo, ele é essencial**. Piracicaba: [s.n.], 24 p. (Arquivo agrônomo, n. 10), 1996.

RAIJ, B. van et al. **Recomendação de adubação e de calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 285 p. (Boletim Técnico, 100), 1997.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p 151-160, 2001.

RHEINHERMER, D.; GATIBONI, L.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SANTI, A. L. Aprimoramento **do manejo do solo utilizando as ferramentas da Agricultura de Precisão**. 2007. 210 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós- graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SCHLINDWEIN, J.A. **Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto**. 2003. 169 f. Tese (Doutorado em Ciência de Solo) - Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, out. 2008. Disponível em <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 25 ago. 2009.

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

SELLES, F. et al. Distribution of phosphorus fractions in Brazilian oxisol under different tillage systems. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 44, p. 23-34, 1997.

SELLES, F. et al. Withholding P after long-term additions, soil and crop responses. **Better Crops**, v. 91, n. 4, p. 19-21, 2007.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. **Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows**. Campina Grande. Disponível em: <www.assistat.com>. Acesso em: 20 jan. 2010.

SOARES, C. **Uniformidade de aplicação de fertilizantes com diferentes características físicas**. 83 p. Relatório de Estágio (Curso de Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

STIPP, S.R.; PROCHNOW, L.I. **Uso racional de fósforo na agricultura com ênfase na cultura do milho**. [S.l.]: IPNI Br., (Informações agronômicas, n. 122). p 8-12, 2008.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos, 174 p. (Boletim Técnico, 5), 1995.

VALLEJOS F. et al. **Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa: Sistemas de Producción Tractorizados**. San Lorenzo, Paraguay: Proyecto de Conservación de Suelos GTZ-MAG/DIA/DEAG, 126 p., 2001.

VAZQUEZ, M.E. **Balance y fertilidad fosforada en suelos productivos de la región pampeana.** Acassuso, Bs. As., Argentina: IPNI Cono Sur, p. 3-7. (Informaciones Agronómicas, 16), 2002.

WENDLING, A. **Recomendação de nitrogênio e potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai.** 2005. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós- graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.