



BALANÇO E EXTRAÇÃO DE FÓSFORO E POTÁSSIO NO SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI

Diego Fatecha Fois¹, Telmo Jorge Carneiro Amado², Rafael Pivotto Bortolotto³, Douglas Dalla Nora^{4*}, Tiago De Gregori Teixeira⁵

1. Engenheiro Agrônomo Mestre da Universidade Federal de Santa Maria
 2. Professor Doutor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS)
 3. Engenheiro Agrônomo Doutor da Universidade Federal de Santa Maria
 4. Graduando em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria Departamento de Solos da UFSM, Av. Roraima 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS) (douglasdnpg@gmail.com) *Autor para correspondência.
 5. Engenheiro Agrônomo Mestrando da Universidade Federal de Santa Maria. Brasil
- Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013
-

RESUMO

As culturas de soja, milho e trigo ocupam atualmente 70% da área agrícola no Paraguai, com crescente consumo de fertilizantes. 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. A soja e o milho foram às culturas maiores extratoras de P e K em média 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.

PALAVRAS-CHAVE: Culturas de grãos, semeadura direta, nutrientes, fertilidade

BALANCE AND EXTRACTION OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN THE SOIL UNDER NO-TILLAGE IN PARAGUAY

ABSTRACT

Soybean, corn and wheat crops occupy actually 70% of the agricultural areas of Paraguay. 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. 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.

KEYWORDS: Grain crops, no tillage, nutrients, fertility

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, frequentemente, os subsequentes na rotação (SANTI, 2007; SILVA et al., 2008).

Vários fatores atuam concomitantemente na variabilidade das condições do solo e da planta. O estudo dessas variabilidades permite um incremento na produção a partir de 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 (SCHLINDWEIN & GIANELLO, 2008; 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 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 (FOIS, 2010).

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 se retiram nas colheitas de grãos, produtos animais, lixiviação, escoamento, 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 (N), 42% para o fósforo (P) e 2% para o potássio (K) (GARCIA, 2006).

A exportação de nutrientes está diretamente associada à sua concentração nos grãos e à produtividade das culturas (CUBILLA, et al., 2012). Esse fato foi 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.

Neste contexto o objetivo do trabalho foi determinar o balanço anual do P e K no solo e a produtividade das culturas de grãos, mediante estimativa de adições de nutrientes e exportações via colheitas, no sistema plantio direto (SPD), em três solos de Paraguai.

MATERIAL E METODOS

O experimento foi realizado na Região Oriental do Paraguai entre os paralelos 22° 05' e 27° 30' latitude Sul e os meridianos 54° 15' e 58° 38' longitude Oeste, que 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. A precipitação média anual varia entre 1.300 a 1.900 mm, com chuvas distribuídas durante o ano e temperatura média mensal de 17 a 27°C. O solo predominante é o Argissolo, ocupando aproximadamente 65% das suas terras, sendo também encontrados Latossolos, Neossolos, Cambissolos entre outros (EMBRAPA, 2006).

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.

Os experimentos avaliados apresentavam solos com diferentes texturas e níveis iniciais de fertilidade (Tabela 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, 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 com fertilidade média e textura argilosa, além de altos teores de matéria orgânica 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, 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 1. Caracterização da fertilidade do solo antes da instalação dos experimentos, em cada local, na camada 0-0,10 m de profundidade.

Local	Argila	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Al	CTC
	-----g kg ⁻¹ -----			mg dm ⁻³	-----cmol _c L ⁻¹ -----				
Itapúa	475	30	5,6	12,7	0,52	8,1	1,6	0,1	14,9
Alto 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, tais safras e culturas utilizadas estão descritas na Tabela 2.

TABELA 2. Sequencia das safras de culturas de grãos produzidos nas áreas experimentais, no período de 2003 a 2006.

Experimento	safra 2003	safra 2003/04	safra 2004	safra 2004/05	safra 2005	safra 2005/06
Itapúa	trigo	soja/milho	trigo	----	----	----
Alto Paraná	----	soja/milho	trigo	----	trigo	milho/soja
Misiones	trigo	soja/milho	trigo	milho/soja	trigo	----

Obs.:(---) sem safras

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas com três repetições. As dimensões das parcelas experimentais foram de 5 x 8 m. Para o P, as parcelas principais foram adubadas com cinco doses de P (N0, N50, N100, N200 e N400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), visando a criação de níveis de fertilidade. Nas sub-parcelas foram aplicadas quatro doses de P (N0, N40, N80 e N120 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 N0, N50, N100 e N200 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 N0, N40, N80 e N120 kg ha⁻¹.

No inverno de 2004, todos os experimentos foram semeados com trigo e novamente aplicados as doses de N0, N40, N80 e N120 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 K, os tratamentos consistiram de cinco doses de K₂O (A0, A25, A50, A75 e A100 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.

Todos os experimentos foram conduzidos sob SPD. 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 ureia (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.

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).

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 m^2 , totalizando 0,75 m^2 por parcela. No trigo 2004 e 2005 foi coletada uma área equivalente a 3,2 m^2 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.

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:

$$R(\%) = \frac{R_{d c n p t} (s P)}{R_{m d c n p c a d d P t} x_1} \quad (1)$$

Os resultados do rendimento relativo das culturas nos experimentos de P e K foram ajustados mediante equações de regressão lineais ou polinomiais para as doses de P_2O_5 e K_2O em cada cultivo.

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, 2008).

$$B \quad (P = A \quad d \quad P - E \quad d \quad P \quad (2)$$

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 CQFS-RS/SC (2004), sendo para a cultura da soja 14 kg de $P_2O_5 \text{ Mg}^{-1}$ de grãos e 20 kg de $K_2O \text{ Mg}^{-1}$ de grãos, para a cultura do trigo 10 kg de $P_2O_5 \text{ Mg}^{-1}$ de grãos e 6 kg de $K_2O \text{ Mg}^{-1}$ de grãos e para a cultura do milho 8 kg de $P_2O_5 \text{ Mg}^{-1}$ de grãos e 6 kg de $K_2O \text{ Mg}^{-1}$ de grãos.

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

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS EM FUNÇÃO DAS DOSES DE P E K

No estudo de P nas duas seqüências de culturas, para Itapuá no ano de 2003, o trigo foi superior em todos os tratamentos (Figura 1a), quando comparado à média do país de 2500 kg ha^{-1} (CAPECO, 2009), não havendo resposta significativa em função das doses de P_2O_5 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 (Figura 1a).

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 1a), a consequência 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 (AMADO et al., 2009).

Os rendimentos relativos das culturas em base aos rendimentos absolutos acumulados estiveram entre 78 e 100% nas sequencias trigo/soja/trigo e trigo/milho/trigo (Figura 1a) com médias gerais de 94 e 89% respectivamente, contudo, sem diferenças significativas, independente da dose de P_2O_5 aplicada para todos os tratamentos.

Em Misiones, no estudo de doses de P, com duas rotações de culturas trigo/milho/trigo/soja/trigo e trigo/soja/trigo/milho/trigo (Figura 1c), 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 sequencias. 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

(Figura 1c). 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.

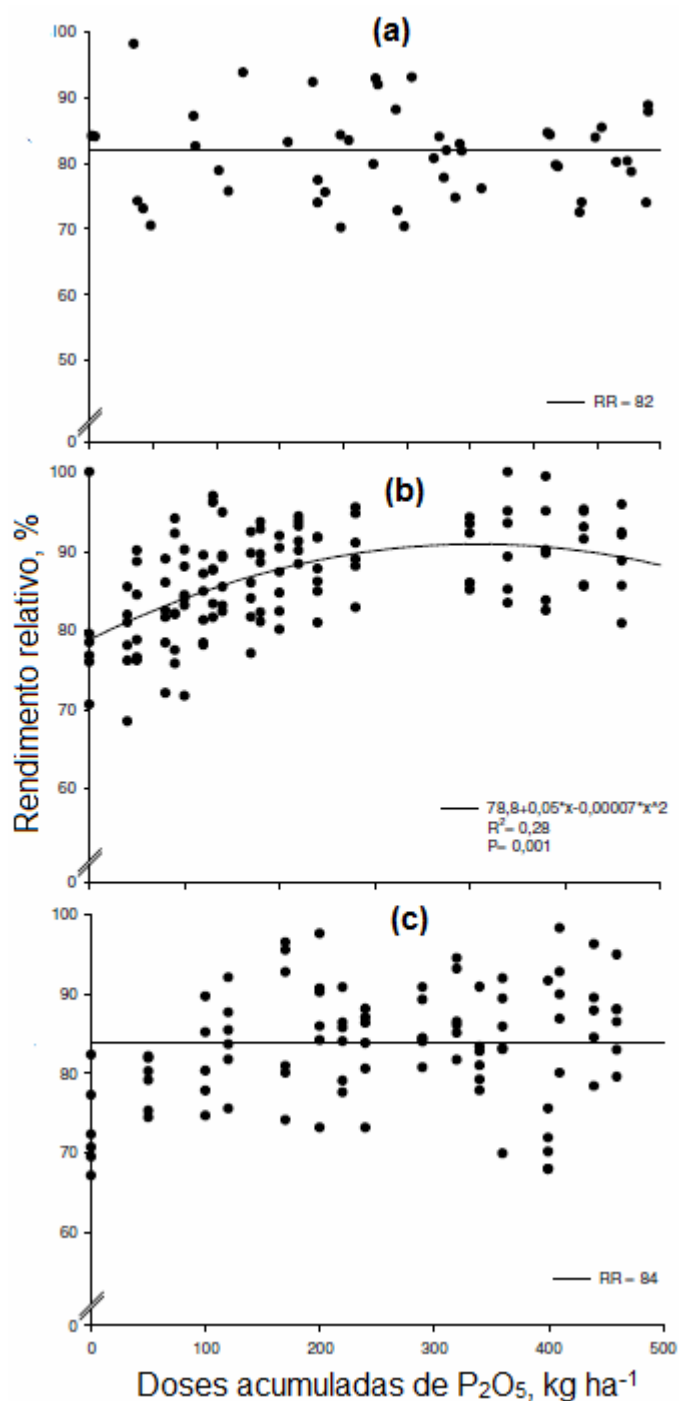


FIGURA 1. Produtividade acumulada de grãos em razão das doses de P₂O₅ acumuladas nas sequencias Trigo/Soja/Trigo e Trigo/Milho/Trigo em Itapúa nos anos de 2003-2004 (a), nas sequencias Milho/Trigo/Pastagem/Trigo/Soja e Soja/Trigo/Pastagem/Trigo/Milho em Alto Paraná nos anos de 2003-2006 (b) e as sequencias Trigo/Milho/Trigo/Soja/Trigo e Trigo/Soja/Trigo/Milho/Trigo em Misiones nos anos de 2003-2005 (c).

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 (Figura 1c), embora as culturas tivessem escassos rendimentos, que estiveram abaixo da média nacional (CAPECO, 2009). Isso, possivelmente foi 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 (SÁ et al., 2010).

No experimento em Alto Paraná, as culturas do milho e da soja no estudo de doses de P, nas rotações milho/trigo/pousio/trigo/soja e soja/trigo/pousio/trigo/milho no verão 2003/2004, tiveram rendimentos elevados com media geral de 9000 kg ha⁻¹ e 4000 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 1b) apresentando mínimas respostas significativas à fertilização fosfatada para a maioria dos tratamentos, com diferenças 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 sequencias 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 sequencias, 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 diferença significativa. Os rendimentos relativos das culturas em base aos rendimentos absolutos acumulados estiveram entre 74 e 100% nas sequências milho/trigo/trigo/soja e soja/trigo/trigo/soja (Figura 1b) com médias gerais de 93 e 90% respectivamente, com diferenças significativas. As produtividades das culturas predominaram com médias acima de 70%, como pode-se observar na Figura 1b.

Com relação aos experimentos com doses de K₂O em Itapuá, nas rotações trigo/soja/trigo e trigo/milho/trigo (Figura 2a) 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.

Na Figura 2a observa-se uma quase nula resposta à fertilização potássica para as culturas nas duas sequencias, com rendimentos relativos em função as adubações acumuladas de K₂O, como consequência 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, corroborando resultados de (WERLE et al., 2008). Os autores constataram que a metade da dose de K₂O recomendada pela CQFS-RS/SC (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.

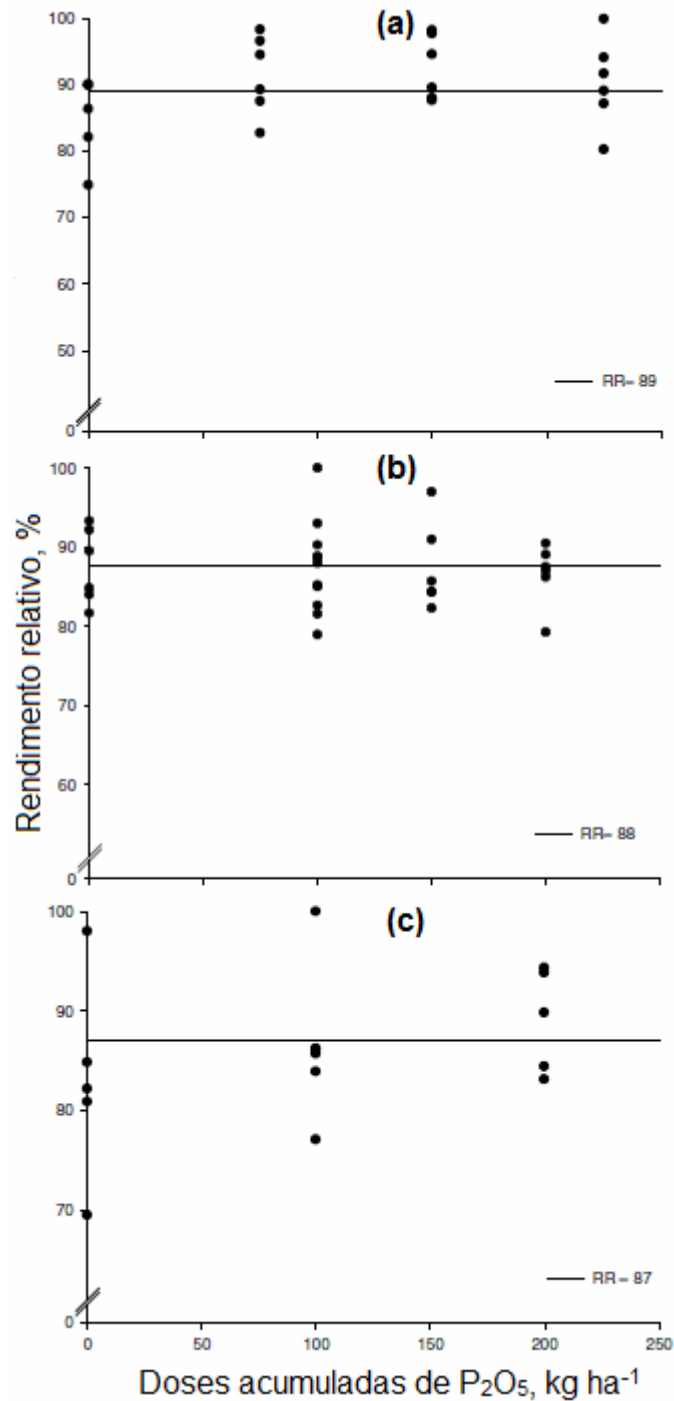


FIGURA 2. Produtividade acumulada de grãos em razão as doses de K₂O acumuladas nas sequencias Trigo/Soja/Trigo e Trigo/Milho/Trigo em Itapúa nos anos de 2003-2004 (a), nas sequencias Milho/Trigo/Pastagem/Trigo/Soja e Soja/Trigo/Pastagem/Trigo/Milho em Alto Paraná nos anos de 2003-2006 (b) e as sequencias Trigo/Milho/Trigo/Soja/Trigo e Trigo/Soja/Trigo/Milho/soja em Misiones nos anos de 2003-2006 (c).

Para o experimento em Alto Paraná, no estudo de doses de K os rendimentos médios do milho e soja 2003/04, observados na Figura 2b, foram de 8543 kg ha⁻¹ e

3825 kg ha⁻¹ para as 48 sequencias milho/trigo/pousio/trigo/soja e soja/trigo/pousio/trigo/milho, 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 a 2881 kg ha⁻¹, obtido após a soja. Isto pode ser atribuído ao ataque considerável de pragas e à presença de plantas daninhas verificadas durante o ciclo da cultura, associado ao efeito de sinergismo existente na sucessão leguminosa/gramínea em relação à gramínea/gramínea (BISSANI et al., 2008). 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 2b.

No experimento avaliado no departamento de Misiones, correspondente às diferentes doses de K₂O, 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 na Figura 2c, para as sequencias trigo/milho/trigo/soja/trigo e trigo/soja/trigo/milho/trigo, respectivamente.

Saldo entre adição e exportação de P e K

No saldo de P, para o experimento em Itapúa, as fertilizações acumuladas na rotação trigo/soja/trigo 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 (Figura 3a). 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 (RIQUELME, 2008), ocasionando um desbalanço nutricional que potencialmente afeta a produtividade das culturas.

A adição via fertilizante foram de 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 sequencia de rotação de culturas T/M/T, representada na Figura 3a, o balanço de P apresentou exportações totais que variaram entre 93 e 108 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com saldo negativo no tratamento sem adubação fosfatada de 104 kg ha⁻¹. Tais resultados corroboram aos 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. Nesse contexto, GARCIA et al., (2006) sustentaram que um solo com balanço negativo não pode, necessariamente, ser considerado de fertilidade inferior e, balanços neutros indicam que a quantidade de nutrientes no solo não mudam, 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. Esses nutrientes necessariamente não são perdidos do solo, podendo ser reutilizados pelos cultivos em rotação,

dependo 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 com maior extração de P, ou seja, 49 kg ha^{-1} a mais em relação ao total, seguida da soja com 42 kg ha^{-1} . O trigo exportou em média, nas duas sequencias, 30 kg ha^{-1} (Figura 3a), podendo estimar que são necessários entre 100 a 105 kg ha^{-1} de P_2O_5 em média, para repor as exportações nas duas sequencias de culturas avaliadas neste local (trigo/soja/trigo e trigo/milho/trigo).

Em Alto Paraná, os valores de saldo de P na sequencia milho/trigo/pousio/trigo/soja (Figura 3b), no tratamento sem fertilização fosfatada foi negativo em 158 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Corroborando com esse resultado, PICONE et al., (2007) determinaram um saldo negativo de 34 kg ha^{-1} de P_2O_5 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 P_2O_5 . Os níveis 200 e 400 de P resultaram em saldos positivos, com valores de até 361 kg ha^{-1} de P_2O_5 de ganho. Na sequência soja/trigo/pousio/trigo/milho, apresentada na Figura 3b, o comportamento foi semelhante na sequência milho/trigo/pousio/trigo/soja, 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.

Para o departamento de Alto Paraná, quase a totalidade dos tratamentos com aplicação de doses de P_2O_5 apresentaram saldos positivos, com ganho de 6 até 562 kg ha^{-1} de P_2O_5 , aumentando à medida que foram adicionados mais fertilizantes ao solo. Neste contexto, PICONE et al. (2007) em numa sequencia 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 P_2O_5 .

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 P_2O_5 , seguido da soja com 28 kg ha^{-1} e do trigo com média de três safras equivalente a 17 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Na outra sequencia trigo/soja/trigo/milho/trigo (Figura 3b), a parcela que não recebeu aplicação de P durante as cinco safras apresentou um saldo negativo de 98 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 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 P_2O_5 . O milho foi a cultura com maior extração do nutriente, quando é comparada ao trigo em somente uma safra de produção (Figura 3b).

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 foi responsável por 70% da extração do elemento do solo. Os resultados concordam com os encontrados por CIAMPITTI (2009) onde, em duas rotações milho/trigo/soja e milho/soja/trigo/soja durante seis anos, as mesmas culturas representaram 79% e 86% do total de P extraído.

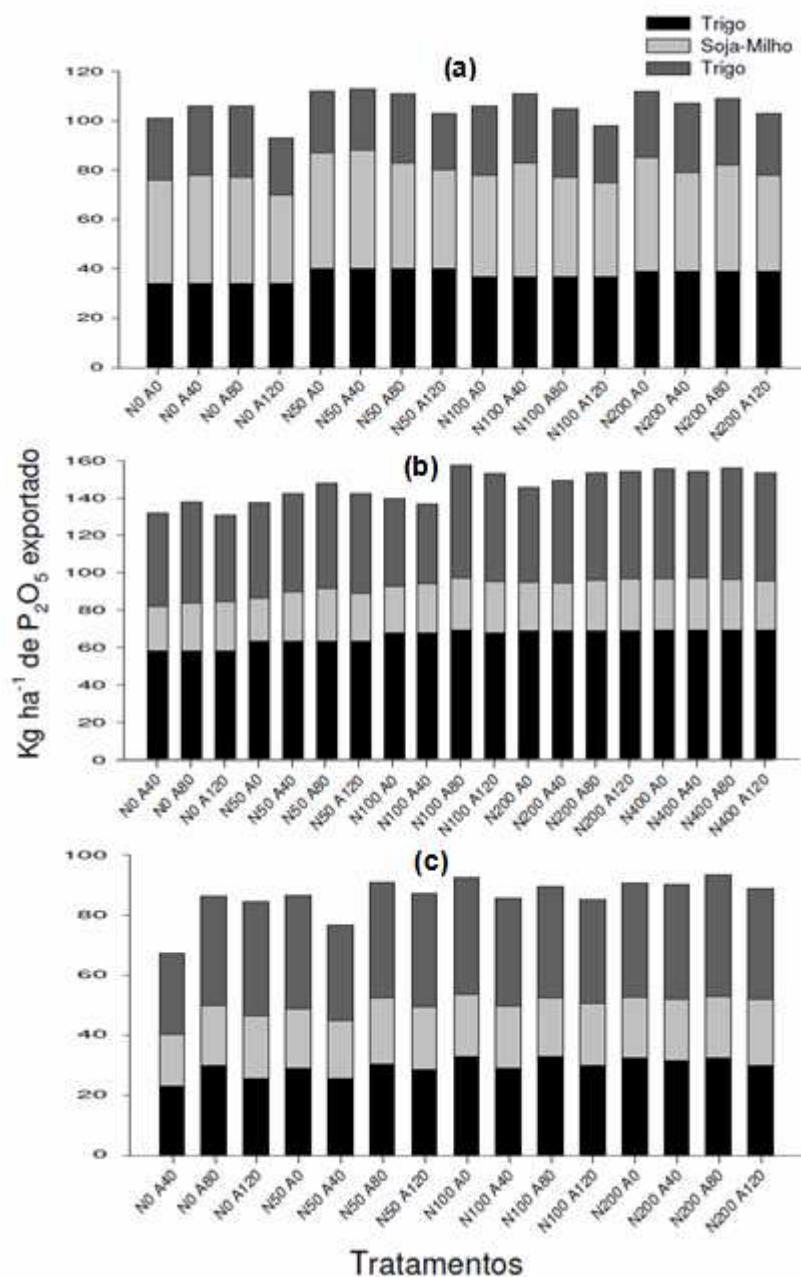


FIGURA 3. Quantidade de P₂O₅ exportado nos diferentes tratamentos fertilizados com doses de P nas sequencias Trigo/Soja/Trigo e Trigo/Milho/Trigo em Itapúa nos anos de 2003-2004 (a), nas sequencias Soja/Trigo/Pastagem/Trigo/Milho e Milho/Trigo/Pastagem/Trigo/Soja em Alto Paraná nos anos de 2003-2006 (b) e as sequencias Trigo/Milho/Trigo/Soja/Trigo e Trigo/Soja/Trigo/Milho/trigo em Misiones nos anos de 2003-2005 (c).

No saldo do K para a sequencia trigo/soja/trigo em Itapúa (Figura 4a) 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 (RIQUELME, 2008). 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.

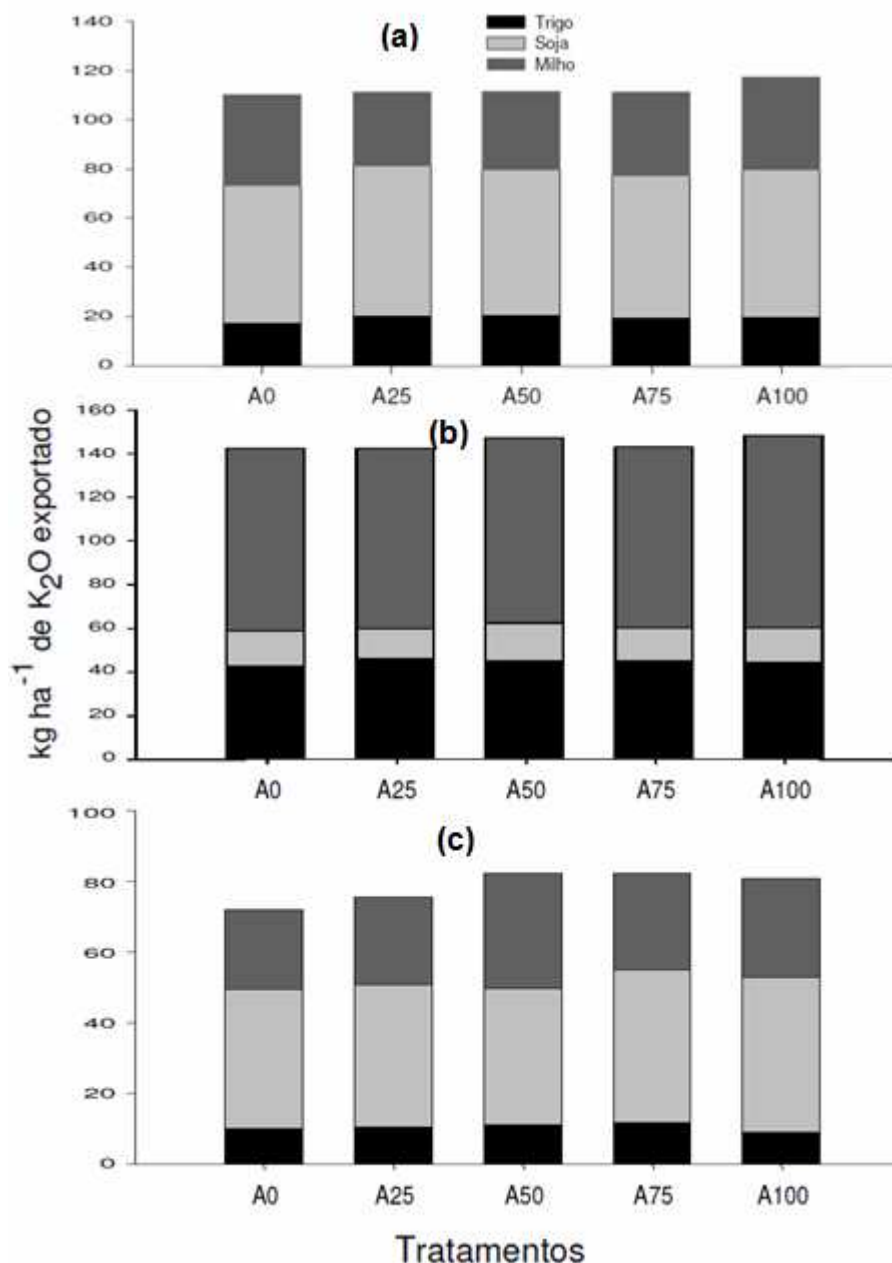


FIGURA 4. Quantidade de exportação de K₂O das culturas nos tratamentos com doses de K₂O nas seqüências Trigo/Soja/Trigo e Trigo/Milho/Trigo em Itapúa nos anos de 2003-2004 (a), nas seqüências Soja/Trigo/Pastagem/Trigo/Milho e Milho/Trigo/Pastagem/Trigo/Soja em Alto Paraná nos anos de 2003-2004 (b) e as seqüências Trigo/Milho/Trigo/Soja/Trigo e Trigo/Soja/Trigo/Milho/Trigo em Misiones nos anos de 2003-2005 (c).

Em Alto Paraná, com relação ao saldo de K na sequência milho/trigo/pousio/trigo/soja, os tratamentos com doses 0, 25, 50 e 75 kg ha⁻¹ de K₂O apresentaram valores negativos de 170, 65, 62 e 18 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente, como era esperado, a soja foi a cultura com maior exportação do K₂O (BISSANI et al., 2008), sendo equivalente a 54% do total extraído, seguida pelo milho, com 30%, em apenas uma safra (Figura 4b). Já o trigo, apresentou exportação média de duas safras igual a 16%. Na sequência de soja/trigo/pousio/trigo/milho, o tratamento sem adubação potássica apresentou saldo negativo de 143 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo a soja, 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 4b).

Em Misiones, 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 4c). 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.

CONCLUSÕES

As culturas do milho e da soja foram a maiores extratoras de P e K em media dos três locais.

Houve correlação entre as produtividades das culturas e o saldo de P em Alto Paraná e Misiones. Não foi verificada correlação entre os rendimentos relativos e o saldo de K em nenhum dos locais estudados.

Alto Paraná foi o único local que apresentou resposta às fertilizantes fosfatadas. Os locais não apresentaram respostas em razão das doses acumuladas de K₂O aplicadas.

Nos três locais avaliados, as aplicações de fertilizantes fosfatados e potássicos foram superiores as exportações de P e K.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.831-843, 2009.

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. P.10.

BISSANI, A. C.; GIANELO, C.; CAMARGO, A. O. F.; TEDESCO, J. M. **Fertilidade dos Solos e Manejo da Adubação de Culturas**. (Ed. 2) Porto Alegre, 2008. 245p.

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

BRUNETTO, G.; GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; SAGGIN, A.; KAMINSKI, J. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.565-571,

2005.

CAPECO – **Cámara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas.** [online], 2009. Disponível em: www.capeco.org.py. Acesso em: 20 de fevereiro de 2013.

CIAMPITTI, I. **Dinámica del fósforo del suelo en rotaciones agrícolas en ensayos de nutrición a largo plazo.** 2009 .116f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) - Escuela para egresados Alberto Soriano, Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

CQFS-RS/SC - Comissão de química e fertilidade do solo RS/SC - **Manual de adubação e de calagem para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Porto Alegre, SBCS/Núcleo Regional Sul, UFRGS, 2004. 400 p.

CUBILLA, M. M.; WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; MILNECZUCK, J. **Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girassol.** Bajo el sistema de siembra directa em el Paraguay, Asunción, 2012, 81p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos.** Embrapa Produção da Informação. 2. ed. Brasília, 2006, 306 p.

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. 109f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo.

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

FOIS, D. A. F. **Balanço e evolução temporal de fósforo e potássio em três solos sob sistema plantio direto no Paraguai.** 2010. 114f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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

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

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

KÖPPEN, W. Grundriss der klimakende. Leipzig: **Walter de Gruyter**, Berlin, 1931. 388p.

PICONE, L.; CAPOZZI, I.; ZAMUNER, E.; ECHEVERRIA, E.; SAINZ ROZAS, H. 2007. Transformaciones de fósforo en un mollisol bajo sistemas de labranza contrastantes. *Ciencia del Suelo*, Buenos Aires, v.25, p.99-107, 2007.

RIQUELME, U. F. B. **Recomendações de fertilização fosfatada e potássica para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2008. 223f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2008.

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

SÁ, J.C.M.; SEGUY, L.; SÁ, M. F. M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; CANALLI, L. B. S. Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R., eds. **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes**. Piracicaba, International Plant Nutrition Institute, 2010. 420 p.

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, p.2037-2049, 2008.

SILVA, A. A.; ARNS, I.; LIMA, C. V. S.; SCHNEIDER, A. B.; DELATORRE, C. A. Diferenciação de genótipos de trigo quanto à tolerância à deficiência de fósforo, em solução hidropônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1949-1958, 2008.

TEDESCO, M. J. GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. (Ed. 2). Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos, 1995.174 p. (Boletim Técnico, 5).

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

WERLE, R; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2297-2305, 2008.