

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

**RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO
PARA TRIGO, MILHO E SOJA SOB SISTEMA
PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Ademir Wendling

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO PARA
TRIGO, MILHO E SOJA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO
NO PARAGUAI.**

por

Ademir Wendling
Engenheiro Agrônomo

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

Orientador: Prof. PhD. Flávio Luiz Foletto Eltz

Santa Maria, RS, Brasil

2005

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

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

**RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO PARA TRIGO,
MILHO E SOJA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI.**

elaborada por
Ademir Wendling

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Flávio Luiz Foletto Eltz, PhD.
(Presidente/Orientador)

João Mielniczuk, PhD. (UFRGS)

Rigoberto Ruiz Dias, Dr. (UNA/PJC)

Santa Maria, 08 de Agosto de 2005.

AGRADECIMENTOS

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que além de me darem a vida, me ensinaram a importância do estudo, do trabalho, da amizade, da humildade e da família.

Ao Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, que me concedeu esta oportunidade de formação.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo.

A Câmara Paraguaia de Exportadores de Cereais e Oleaginosas (CAPECO), pelo financiamento do projeto tão importante para seu país.

Ao Prof. Flávio Luiz Foletto Eltz, pela amizade, pelo apoio e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. João Mielniczuk, pela orientação e sugestões na elaboração da dissertação e condução do trabalho.

A Luis Finamor, pela amizade, pela alegria, pelo convívio de algumas viagens, um agradecimento especial.

Aos meus irmãos, Beno, Nair e Elena, pelo apoio, sugestões, correções, traduções e colaborações. Todos são exemplos para mim no jeito de viverem, lutando pelas coisas que querem, vivendo com alegria todos os dias.

A Martín Maria Cubilla Andrada, pelo convívio, pela amizade. Este trabalho só foi possível pelo trabalho em conjunto.

Aos amigos Paraguaio, Ramiro Samaniego e Federico Barreto, pelo convívio, amizade e ajuda na execução deste trabalho. Que continuem cultivando esta semente, que no futuro dará muitos frutos para vosso país.

Aos corajosos e dispostos bolsistas do setor: Éder Sari, Daniel Herberto Graminho, Rodrigo Farias Pedroso, Cassiano Stefanelo, Ricardo Cerezer Dellamea, Clério Hickmann, Otávio Rossato, Ricardo Fülber, Gustavo Griebler, Luciano Pizzuti, Murilo Queiroz, ao amigo Sidnei Ranno, que deixaram as salas de aula e alguns fins de semana para viajar e trabalhar até altas horas, sábados e domingos, com frio e calor...

Aos condutores dos experimentos no Paraguai e demais participantes, que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho, espero que este trabalho recompense em partes a ajuda de vocês.

Aos colegas do programa de pós-graduação pelas discussões, pelas dicas, a troca de experiência e o convívio foram muito válidos.

Aos meus sócios, Charles Bolson Pontelli, amigo de longa data e Antônio Luis Santi, pelo apoio, pelo incentivo e compreensão nas horas de ausência.

A todos os amigos que sempre me apoiaram, para realização deste trabalho e na vida, aos velhos e novos, os terei sempre comigo.

Enfim, a todos aqueles que de uma forma ou outra contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

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

RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO PARA TRIGO, MILHO E SOJA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI.

AUTOR: ADEMIR WENDLING

ORIENTADOR: PROF. FLÁVIO LUIZ FOLETTO ELTZ

Local e data da Defesa: Santa Maria, 08 de agosto de 2005.

O sistema plantio direto é adotado em mais de 50% das áreas do sul do Brasil e em mais de 60% de toda área cultivável do Paraguai. O sistema passou por várias adaptações, mas ainda permanecem dúvidas quanto à recomendação de adubação. O nitrogênio (N) e o potássio (K) são os nutrientes absorvidos em maior quantidade pelas plantas e suas deficiências afetam as produtividades. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi elaborar um sistema de recomendação de adubação nitrogenada e potássica adequado para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. Foram conduzidos sete experimentos em rede, em quatro departamentos do Paraguai, englobando as principais regiões produtoras de grãos. Os solos dessas regiões são principalmente Oxisols, Inceptisols e Ultisols. O esquema experimental foi de blocos ao acaso com três repetições. Os tratamentos constaram de cinco doses de N para trigo (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de N), cinco para milho (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de N) e cinco doses de K (0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹ de K₂O) para trigo, milho e soja. Os elementos que não estavam em estudo foram supridos adequadamente. Para N foram determinadas as produtividades das culturas, elaboradas as curvas de resposta e calculadas máxima eficiência técnica e econômica, assim como as doses recomendadas para o milho e o trigo sob sistema plantio direto. Para o K, foi determinado o teor crítico no solo, correlacionando o teor de K no solo (determinado pelo método de análise Mehlich 1) e a resposta das plantas (rendimento relativo). Foram determinadas as doses de K necessárias para alcançar o teor crítico no solo e para mantê-lo depois de atingido. Para o trigo são necessários 35 kg ha⁻¹ de N para atingir 3100 kg ha⁻¹ de trigo após a soja, e após o milho são necessários 30 kg ha⁻¹ de N para produtividade de 2100 kg ha⁻¹ de trigo. O trigo responde ao residual de N aplicado no milho. Para produtividade de 6000 kg

ha⁻¹ de milho são necessários 90 kg ha⁻¹ de N após o trigo com pouca palha. Já quando há grande quantidade de palha e o sistema plantio direto não está estabilizado, são necessários 130 kg ha⁻¹ de N. Para produtividades de 8000 kg ha⁻¹ de milho são necessários 120 kg ha⁻¹ de N num sistema plantio direto consolidado. O teor crítico de K no solo determinado pelo método Mehlich 1 é de 74 mg dm⁻³ para rendimento relativo de 90%. São necessários 5 kg ha⁻¹ de K₂O para elevar em um mg dm⁻³ o teor de K no solo. Com teores acima de 150 mg dm⁻³ no solo, as plantas geralmente não apresentam resposta à aplicação de K, recomendando-se somente dose de arranque para as culturas de trigo, milho e soja.

Palavras chave: sistema plantio direto, recomendação de nitrogênio, recomendação de potássio.

ABSTRACT

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

Nitrogen and potassium recommendation for wheat, corn and soybean under no-tillage system in Paraguay

AUTHOR: ADEMIR WENDLING

ADVISER: PROF. FLÁVIO LUIZ FOLETTTO ELTZ

Dissertation place and date: Santa Maria, August 08, 2005.

More than 50% of the cultivated areas in the Southern Brazil and more than 60% of the cultivable area in Paraguay adopted the no-tillage system. This system went through several improvements, but there are still doubts about the fertilizing recommendation. Nitrogen (N) and potassium (P) are the nutrients absorbed in largest quantities and their deficiencies affect crop productivity. In this sense, the purpose of this study was to develop a nitrogen and potassium fertilizer recommendation system suitable for wheat, corn and soybean under no-tillage system in Paraguay. Seven field experiments were conducted in four Paraguayan Departments, which include the main grain production regions. Soils in these regions are mainly Oxisols, Inceptisols and Ultisols. Experimental design was random blocks with three replications. Treatments consisted of five rates of N for wheat (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ of N), five for corn (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ of N), and five rates of K (0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹ of K₂O) for corn, wheat and soybean. Those nutrients there are not included in the study were properly supplied. For N, curves of these crops were made and maximum technical and economical efficiencies were calculated, as well as levels of fertilisers recommended for corn and wheat under no-tillage system. For K, the soil critical level was determined, correlating level of K in the soil (determined by the method Mehlich 1) and the plant response (relative productivity). It was also determined levels of K needed to attain the critical level in the soil and also to maintain it after it was reached. For wheat, it is necessary 35 kg ha⁻¹ of N to reach 3100 kg ha⁻¹ of wheat after soybean, and after corn it is necessary 30 kg ha⁻¹ of N for a productivity of 2100 kg ha⁻¹ of wheat. Wheat responds to residual N applied in corn. For a productivity of 6000 kg ha⁻¹ of corn it is necessary 90 kg ha⁻¹ after the wheat with little straw leftower. On the other hand, when there is a

large quantity of straw and the no-tillage system is not stabilized, 130 kg ha^{-1} of N is needed. For a productivity of 8000 kg ha^{-1} of corn, 120 kg ha^{-1} of N is necessary in a consolidated no-tillage system. The critical level of K in the soil as determined by the Mehlich 1 method is 74 mg dm^{-3} for a relative productivity of 90%. To increase one mg dm^{-3} the level of K in the soil, 5 kg ha^{-1} of K_2O is needed. At levels above 150 mg dm^{-3} plants do not respond to K application and only starting rates are recommended for wheat, corn and soybean crops.

Key-words: no-tillage system, nitrogen recommendation, potassium recommendation.

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| CAPÍTULO 1 | |
| TABELA 1.1. Equações de produtividade, coeficiente de determinação, MET e produtividade de trigo em função das doses de N aplicadas após cultivo da soja, safra de 2003 e 2004, Paraguai 2005. | 36 |
| TABELA 1.2. Equações da produtividade de trigo, coeficientes de determinação, dose de máxima eficiência técnica e a produtividade máxima de trigo em função do residual do nitrogênio aplicado no milho, safra 2004. .. | 40 |
| TABELA 1.3. Equações da produtividade de trigo, coeficiente de determinação, dose de máxima eficiência técnica e a produtividade máxima de trigo em função das doses de nitrogênio aplicadas no trigo mais o residual do nitrogênio aplicado no milho, safra 2004, Paraguai, 2005. | 43 |
| TABELA 1.4. Recomendação de adubação nitrogenada para o trigo sob sistema plantio direto para o Paraguai, Paraguai, 2005. | 46 |
| TABELA 1.5. Equações de resposta do milho as aplicações de N, coeficientes de determinação, dose de máxima eficiência técnica e econômica produtividade máxima, Paraguai, 2005. | 50 |
| TABELA 1.6. Recomendação de nitrogênio para o milho sob sistema plantio direto para o Paraguai, Paraguai, 2005. | 52 |

CAPÍTULO 2

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TABELA 2.1. Local de condução do experimento, safra de condução, dose de máxima eficiência técnica, produtividade máxima, K extraível por Mehlich 1 e rendimento relativo do trigo, milho e soja em função das doses de K ₂ O aplicadas sob sistema plantio direto, Paraguai, 2005 | 92 |
| TABELA 2.2. Classes de disponibilidade de K para as culturas, teor de K extraível por Mehlich 1 em cada classe, rendimento relativo esperado e probabilidade de resposta das culturas a aplicação de fertilizantes potássicos, Paraguai 2005 | 96 |
| TABELA 2.3. Recomendação de potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai, Paraguai, 2005 | 104 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| CAPÍTULO 1 | |
| FIGURA 1.1. Curva de resposta média do trigo (I1 safra 2003, I1 e I2 safra 2004) sob sistema plantio direto após soja, Paraguai 2005. | 37 |
| FIGURA 1.2. Produtividade média do trigo (M1, I1, I2 e AP2) em função do efeito residual das doses de N aplicadas no milho, Paraguai 2005. | 41 |
| FIGURA 1.3. Produtividade média de trigo (M1, I1, I2 e AP2) em função de doses de N aplicado mais o residual aplicado no milho, Paraguai 2005. | 44 |
| FIGURA 1.4. Produtividade de trigo após milho e soja, em função de doses de N aplicadas, MET e MEE, Paraguai 2005. | 45 |
| CAPÍTULO 2 | |
| FIGURA 2.1. Produtividade de grãos de trigo, equação de resposta das culturas e coeficiente de correlação em função das doses de potássio adicionadas, Paraguai 2003 | 85 |
| FIGURA 2.2. Produtividade de grãos de trigo após o milho, equação de resposta das culturas e coeficiente de correlação em função das doses de potássio adicionadas, Paraguai, 2003 | 86 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| FIGURA 2.3. Produtividade de grãos de trigo após a soja, equação de resposta das culturas e coeficiente de correlação em função das doses de potássio adicionadas, Paraguai, 2003 | 88 |
| FIGURA 2.4. Produtividade de grãos de milho, equação de resposta das culturas e coeficiente de correlação em função das doses de potássio adicionadas, Paraguai 2004 | 91 |
| FIGURA 2.5. Produtividade de grãos de soja, equação de resposta das culturas e coeficiente de correlação em função das doses de potássio adicionadas, Paraguai 2003 | 92 |
| FIGURA 2.6. Relação entre K extraído pela solução Mehlich I e o rendimento relativo obtido com trigo, milho e soja sob plantio direto, equação de produção, coeficiente de correlação, teor crítico e faixas de fertilidade para potássio sob plantio direto no Paraguai, Paraguai 2005 | 96 |
| FIGURA 2.7. Teor de K extraído por Mehlich 1 em três épocas, teor inicial, equações de resposta do solo a aplicação de K na sucessão trigo/milho/trigo no experimento M1, Paraguai 2005 | 100 |
| FIGURA 2.8. Teor de K extraído por Mehlich 1 em três épocas, teor inicial, equações de resposta do solo a aplicação de K na sucessão trigo/soja/trigo no experimento M1, Paraguai 2005 | 101 |
| FIGURA 2.9. Teor de K extraído por Mehlich 1 em três épocas, teor inicial e curva de crescimento médio de K na sucessão trigo/milho/trigo no experimento M2, Paraguai 2005 | 103 |
| FIGURA 2.10. Teor de K extraído por Mehlich 1 em três épocas, teor inicial e curva de crescimento médio de K na sucessão trigo/soja/trigo no experimento M2, Paraguai 2005 | 104 |

LISTA DE ANEXOS

| | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Anexo 1. Esquema experimental com os tratamentos de potássio e nitrogênio, Paraguai, 2005 | 115 |
| Anexo 2. Anexo 2. Tipo de solo, posição geográfica, cultivos efetuados, características químicas, teor de argila na camada 0 – 10 cm e histórico de cultivos nos locais, antes da instalação dos experimentos, Paraguai, 2005 | 116 |
| Anexo 3. Precipitação ocorrida no Distrito de Carmen Del Paraná (CRIA, 2005) | 117 |
| Anexo 4. Precipitação ocorrida no Distrito de Iguazu (CETAPAR, 2005) | 118 |
| Anexo 5. Precipitação ocorrida em Pedro Juan Cabaleiro | 119 |
| Anexo 6. Cultivares utilizadas nos respectivos locais e safras (Paraguai, 2005) | 120 |
| Anexo 7. Determinação de potássio pelo método Mehlich 1 (Paraguai, 2005) | 121 |
| Anexo 8. Análise de significância e coeficiente de variação das curvas de resposta dos experimentos de nitrogênio em trigo e milho (Paraguai, 2005) .. | 122 |
| Anexo 9. Análise de significância das curvas de resposta dos experimentos de potássio em trigo, milho e soja (Paraguai, 2005) | 123 |

SUMÁRIO

| | Página |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| CAPÍTULO 1 | 16 |
| 1.1 INTRODUÇÃO..... | 21 |
| 1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 22 |
| 1.2.1 Formas de N no solo | 22 |
| 1.2.2 Necessidade das culturas | 22 |
| 1.2.3 Sincronismo no fornecimento com as necessidades temporais das culturas | 23 |
| 1.2.4 Fatores que afetam a disponibilidade de N no solo e as necessidades das culturas. .. | 24 |
| 1.3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 27 |
| 1.3.1 Clima..... | 27 |
| 1.3.2 Descrição das unidades experimentais | 27 |
| 1.3.3 Delineamento, unidades experimentais e tratamentos..... | 30 |
| 1.3.4 Semeadura, condução e colheita..... | 30 |
| 1.3.5 Coleta do solo e análises da matéria orgânica | 31 |
| 1.3.6 Interpretação dos resultados..... | 31 |
| 1.3.7 Recomendação de N | 33 |
| 1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 34 |
| 1.4.1 Produtividade de trigo após a soja | 34 |
| 1.4.2 Produtividade de trigo após o milho | 38 |
| 1.4.2.1 Produtividade de trigo após o milho em função do residual de N | 39 |
| aplicado no milho..... | 39 |
| 1.4.2.2 Produtividade de trigo após o milho em função das doses de N..... | 42 |
| mais o residual de N aplicado no milho | 42 |
| 1.4.3 Produtividade de milho | 47 |
| 1.5 CONCLUSÕES | 54 |
| 1.6 BIBLIOGRAFIA CITADA..... | 55 |
| CAPÍTULO 2 | 61 |
| 2.1 INTRODUÇÃO..... | 66 |
| 2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 67 |
| 2.2.1 K no solo..... | 67 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.2.2 Potássio na Planta | 68 |
| 2.2.3 Programa de análise de solo..... | 69 |
| 2.2.3.1 Amostragem do solo | 69 |
| 2.2.3.2 Laboratórios com metodologias calibradas..... | 71 |
| 2.2.3.3 Determinação do método | 71 |
| 2.2.3.4 Calibração do método de análise Mehlich 1 | 73 |
| 2.2.3.4.1 Determinação do teor crítico e faixas de fertilidade..... | 73 |
| 2.2.3.4.2 Interpretação e recomendação | 74 |
| 2.3.4 Sistema de recomendação de fertilizantes no Paraguai | 74 |
| 2.3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 77 |
| 2.3.1 Clima..... | 77 |
| 2.3.2 Descrição dos experimentos | 77 |
| 2.3.3 Delineamento, unidades experimentais e tratamentos..... | 80 |
| 2.3.4 Semeadura, condução e colheita..... | 80 |
| 2.3.5 Coletas de solo e análises..... | 81 |
| 2.3.7 Calibração | 82 |
| 2.3.8 Recomendação de fertilizantes | 83 |
| 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 84 |
| 2.4.1 Produtividade das culturas em função das doses de potássio | 84 |
| 2.4.1.1 Produtividade do trigo..... | 84 |
| 2.4.1.2 Produtividade do milho..... | 88 |
| 2.4.1.3. Produtividade da soja | 88 |
| 2.4.2. Doses de máxima eficiência técnica | 92 |
| 2.4.3. Determinação do Teor Crítico | 94 |
| 2.4.4. Determinação das classes de fertilidade no solo..... | 95 |
| 2.4.5. Determinação de doses | 97 |
| 2.4.5.1. Doses para adubação de correção | 97 |
| 2.4.5.2 Adubação de manutenção | 101 |
| 2.4.5.3 Adubação de reposição | 101 |
| 2.5 CONCLUSÕES | 106 |
| 2.6 BIBLIOGRAFIA CITADA..... | 107 |
| ANEXOS | 114 |

CAPÍTULO 1

RESUMO

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

RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO PARA TRIGO E MILHO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO PARA O PARAGUAI.

AUTOR: ADEMIR WENDLING

ORIENTADOR: PROF. FLÁVIO LUIZ FOLETTI ELTZ

Local e data da Defesa: Santa Maria, 08 de Agosto de 2005.

O nitrogênio é um dos elementos mais consumidos por gramíneas como milho e trigo, e muitas vezes não é suprido adequadamente (pelo solo e insumos) na quantidade e época ideal. O suprimento adequado do N no sistema plantio direto (SPD) é mais dinâmico que no sistema convencional de cultivo (SCC). A principal razão desta diferença está relacionada com a quantidade e qualidade da matéria seca da cultura anterior, podendo disponibilizar ou imobilizar N para a cultura subsequente. O suprimento ideal do N para as culturas tem uma importância econômica e ambiental muito grande, pela alta resposta a aplicação e facilidade de perda. O Paraguai cultiva grandes áreas de trigo e milho e tem a disposição uma recomendação lançada no ano de 1999, que foi desenvolvida no SCC. Os agricultores paraguaios usam também recomendações de diversas regiões do Brasil, principalmente do sul. Devido à importância da adubação nitrogenada nestas culturas e à carência de informações disponíveis no país, uma recomendação de nitrogênio para o SPD é fundamental para que as culturas aumentem a produtividade e tornem-se culturas de importância ainda maior na economia. O objetivo deste trabalho é obter informações para elaborar uma recomendação de adubação nitrogenada para o trigo e milho sob SPD no Paraguai. Os solos da região de condução dos experimentos são Oxisols e Ultisols. Foram conduzidos sete experimentos em rede em quatro departamentos do país, sendo dois no departamento de Misiones, dois no departamento de Itapúa, dois no departamento de Alto Paraná e um no departamento de Amanbay. Foram determinados os rendimentos de grãos e calculadas as curvas de resposta na safra de trigo de 2003 e 2004, e na safra de milho 2003/04. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições com parcelas medindo 5x8 m. Os tratamentos

para a cultura do trigo consistiram de cinco doses de N (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹). Para o milho da safra 2003-04 os tratamentos foram cinco doses de N (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹), 30 kg ha⁻¹ aplicados na semeadura, o restante em cobertura 40 dias após a semeadura. A cultura do trigo respondeu economicamente às doses de 35 kg ha⁻¹ de N após a soja para produtividades em torno de 2700 kg ha⁻¹. Após a cultura do milho, o trigo respondeu economicamente até 30 kg ha⁻¹, atingindo produtividades de 2100 kg ha⁻¹ de trigo. O teor de MO maior que 4% tem capacidade de suprir quantidade suficiente de N para produtividades até 2500 kg ha⁻¹. O trigo respondeu ao residual de N aplicado no milho, suprindo as necessidades para produtividade de 2300 kg ha⁻¹ com o residual de 213 kg ha⁻¹ de N aplicado no milho. Para produtividades de 6000 kg ha⁻¹ de milho, é recomendado aplicar aproximadamente 90 kg ha⁻¹ de N no sistema plantio direto estabilizado e 130 kg ha⁻¹ na fase de estabelecimento. Para produtividades de 8000 kg ha⁻¹ de milho, recomenda-se a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N. A cultura do milho responde muito as aplicações de N, mas exige condições climáticas favoráveis para que as aplicações de N realmente possam potencializar a produtividade.

Palavras chave: recomendação de nitrogênio, curvas de resposta, máxima eficiência técnica, máxima eficiência econômica, sistema plantio direto.

ABSTRACT

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

NITROGEN RECOMENDATION FOR WHEAT AND CORN UNDER NO TILLAGE SISTEM IN PARAGUAI.

AUTHOR: ADEMIR WENDLING

ADVISER: PROF. FLÁVIO LUIZ FOLETTO ELTZ

Dissertation place and date: Santa Maria, August 08, 2005.

Nitrogen is one of most consumed element by plants, like corn and wheat, and most of the times, it is not properly supplied (by both soil and fertilizer) in the right quantity and time. The appropriate supply of N in the no-tillage system is more dynamic than in the conventional tillage system. The main reason for this difference is related with the quantity and quality of dry material from the previous culture, as it can supply or immobilize N for the next crop. The ideal supply of N for crops has a high enviromental and economical importance, due to its application response and easiness at being lost. Paraguay has large areas of wheat and corn and a fertilizer recommendation made in 1999, that was developed for conventional tillage system. Paraguayan farmers also use recommendations of several Brazilian regions, mainly from the South. Because of the nitrogen fertilization importance and the lack of information available in the country, recommendation of nitrogen for no-tillage system is basic in order to improve the productivity of the crops and bacames more important in the economy. The aim of this work is to obtain information to elaborate a nitrogen fertilizing recommendation for wheat and corn under no-tillage system in Paraguay. Soils from the regions where the experiments were conducted are Inceptisols, Oxisols and Ultisols. Seven experiments were conducted in four Paraguayan Departments: two in Misiones, two in Itapua, two in Alto Paraná and one in Amanbay. Yield was determined and response curves were calculated in the 2003-04 year for wheat and corn crops. Experiments design of random block was used, with three replications, in parcels of 5x8m. Treatments for the culture of wheat consisted of five rates of N (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹). For the 2003-04 corn crop, treatment consisted of five rates of N (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹), 30 kg ha⁻¹ applied in

seeding and the rest as cover forty days after seeding. Wheat gave a positive economical response to the rates of 35 kg ha^{-1} of N after soybean for a productivity around 3100 kg ha^{-1} . After corn, wheat responded economically well up to 30 kg ha^{-1} , reaching a production of 2100 kg ha^{-1} . A level of organic matter higher than 4% has the ability for supplying sufficient quantity of N for a production up to 2500 kg ha^{-1} . Wheat responded to residual N applied in corn. This supplied the requirement for a production of 2300 kg ha^{-1} , with the 213 kg ha^{-1} of residual N applied the corn. For production of 6000 kg ha^{-1} of corn, it is recommended to apply around 90 kg ha^{-1} of N in a stabilized no-tillage system and 130 kg ha^{-1} in the establishment stage. For a production of 8000 kg ha^{-1} of corn, an application of 120 kg ha^{-1} of N is recommended. The corn culture responds well to the applications of N, but requires good climatic conditions in order that the applications of N may really improve the productivity.

Key words: nitrogen recommendation, yield response, maximum technical efficiency, maximum economical efficiency, no-tillage system.

1.1 INTRODUÇÃO

A chamada revolução verde na agricultura se caracterizou pela mecanização das práticas agrícolas e o uso intensivo de insumos para a produtividade das culturas. Isso aumentou consideravelmente a produtividade, sendo possível retomar o cultivo em áreas já abandonadas devido a degradação do solo. Por outro lado, este sistema se mostrou também insustentável, devido ao uso sistemático de práticas inadequadas de conservação de solo, como a excessiva mobilização do solo e queima dos resíduos. O nitrogênio foi o elemento mais afetado negativamente, porque sua principal fonte é a matéria orgânica (MO), que é perdida seletivamente pela erosão, assim como afetada pela queima. No Brasil, no início da década de 70, iniciou-se o sistema plantio direto, hoje adotado em mais de 50% no Sul do país e em mais de 60% de toda área agrícola do Paraguai, que é líder mundial em adoção deste sistema. O sistema plantio direto visava inicialmente o controle da erosão, porém, com o passar dos anos, verificou-se que a matéria orgânica do solo aumenta neste sistema.

O nitrogênio é um dos elementos mais consumidos por gramíneas como milho e trigo, e muitas vezes não é suprido adequadamente na quantidade e época ideal. O suprimento adequado do N no sistema plantio direto (SPD) é mais dinâmico do que no sistema convencional de cultivo (SCC). A principal razão desta diferença está relacionada com a quantidade e qualidade da matéria seca da cultura anterior, podendo disponibilizar ou imobilizar N para a cultura subsequente. O suprimento ideal do N para as culturas tem uma importância econômica e ambiental muito grande, pela alta resposta a aplicação e facilidade de perda.

O Paraguai cultiva grandes áreas de trigo e milho e tem a disposição uma recomendação lançada no ano de 1999 (Fatecha, 1999), que foi desenvolvida no SCC de cultivo. Os agricultores paraguaios usam também recomendações de diversas regiões do Brasil, principalmente do sul. Devido à importância da adubação nitrogenada nestas culturas e à carência de informações disponíveis no país, uma recomendação de nitrogênio para o SPD é fundamental para que as culturas aumentem a produtividade e se tornem culturas de importância ainda maior na economia. O objetivo deste trabalho é obter informações para elaborar uma recomendação de adubação nitrogenada para o milho e trigo sob SPD no Paraguai.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1 Formas de N no solo

Predominantemente o N é encontrado no solo na forma orgânica, apenas uma pequena parcela é encontrada na forma inorgânica. As formas de N no solo disponíveis para absorção pelas plantas são a amônia (NH_4) e o nitrato (NO_3), também chamadas de N mineral. Em condições de boa aeração e pH não muito baixo, a amônia é rapidamente convertida em nitrato, o qual representa a principal fonte para as plantas nessas condições (Raij, 1981).

O nitrogênio é um elemento muito dinâmico no solo, pois sofre diversos processos que modificam sua forma, entre os quais estão os processos microbianos de mineralização, imobilização e desnitrificação. O estoque de N no solo é o resultado do balanço entre a mineralização e a imobilização que ocorre no solo, ou seja, quando a mineralização é maior do que a imobilização, vai ocorrer um aumento líquido do N mineral no solo, do contrário ocorre uma redução.

1.2.2 Necessidade das culturas

A produtividade das culturas é determinada por diversos fatores, entre os quais estão o clima (temperatura, precipitação, horas de luz, geada, etc), a fertilidade do solo (pH, N, P e K, principalmente), o manejo de plantas invasoras, pragas e doenças, a distribuição adequada das plantas e a interação entre os fatores. Todos estes fatores de produtividade das culturas podem variar de ano para ano e região para região. O homem, através da tecnologia e insumos, procura melhorar os fatores possíveis de serem alterados para melhorar as condições de produtividade das culturas.

Para a produtividade de uma tonelada de grãos de milho, a planta necessita absorver aproximadamente 21 kg ha^{-1} de nitrogênio (Coelho & França, 1995), sendo que aproximadamente 75% da quantidade absorvida é exportada com o grão. Amado (1997) encontrou uma relação de 0,9 a 1,2% de N no tecido das plantas de milho para obtenção da máxima produção de matéria seca. Dessa forma, são

necessários de 18 a 24 kg ha⁻¹ de N por tonelada de grãos produzidos, pois para cada tonelada de grãos produzidos também é produzido em média uma tonelada de massa seca. Somando-se as duas partes, chega-se a um valor médio de 21 kg ha⁻¹ de N por tonelada de grãos de milho.

O N é o segundo elemento mais absorvido pelas gramíneas, somente o potássio é necessitado em maior quantidade, e em muitas ocasiões o N é o fator mais limitante da produtividade. A necessidade pode ser suprida de diferentes formas(,) : através da mineralização do tecido vegetal com relação carbono/nitrogênio (C/N) baixa, pela matéria orgânica, por dejetos de animais, assim como de fontes industrializadas como uréia, nitrato de amônio e sulfato de amônio. Plantas de cobertura podem suprir quantidades elevadas de N, principalmente as leguminosas, chegando a acumular mais de 100 kg de N no tecido por ha, segundo Da Ros & Aita (1996) e Ceretta et al. (1994). Amado & Mielniczuk (2000), num estudo da estimativa da adubação nitrogenada para milho, observaram que a disponibilidade de N das culturas de cobertura é influenciada pela quantidade total de N na fitomassa e sua relação C/N.

1.2.3 Sincronismo no fornecimento com as necessidades temporais das culturas

Uma boa adubação nitrogenada significa suprir quantidades corretas de fertilizante no momento adequado às culturas. Malavolta (1976) ressalta que um solo fértil é aquele que tem capacidade de suprir quantidades suficientes e balanceadas de nutrientes essenciais para as plantas. Além disso, não pode possuir elementos tóxicos em grande quantidade, e deve apresentar propriedades físicas e químicas adequadas para o desenvolvimento das plantas. As culturas de trigo e milho têm apresentado resposta significativa à aplicação de N na maioria dos experimentos conduzidos (Medeiros & Silva, 1975; Mello et al., 1988; Amado et al., 2002; Goepfert et al., 1974; Bortolini et al., 2002). Exigências de N na fase inicial da cultura de trigo e milho não são altas, mas é o momento quando o nutriente não pode faltar, pois é a fase em que a planta define a produtividade potencial da cultura (Novais et al., 1974; Fancelli & Dourado Neto, 1996). Muitos estudos vêm sendo realizados para determinar a época correta de aplicação do N em milho e trigo (Mundstock &

Bredemeir, 2002; Da Ros et al., 2003), mas a influência do clima sobre a dinâmica do elemento dificulta a obtenção de uma recomendação única. A antecipação da aplicação, visando suprir as necessidades iniciais, pode ser uma alternativa viável em anos de baixas precipitações pluviométricas. Por outro lado, é muito sujeito a ser perdida por lixiviação e erosão em anos de altas precipitações. De maneira geral, as aplicações são feitas no momento da necessidade, diminuindo assim o período de perdas e maximizando a recuperação do nutriente e reduzindo as possibilidades de perdas que ocasionam a contaminação dos lençóis freáticos.

1.2.4 Fatores que afetam a disponibilidade de N no solo e as necessidades das culturas.

Diversos fatores afetam a disponibilidade de N para as culturas, assim como a necessidade das culturas é comandada por uma série de fatores. A MO do solo é a principal fonte de N para as culturas, porém necessita ser mineralizada para que ocorra a liberação e a absorção pelas plantas. O SPD favorece o aumento da MO no solo, sendo necessário para isso altas quantidades de N no início do sistema devido a menor mineralização no solo. Este aumento da MO ocorre inicialmente nas camadas mais superficiais do solo e, com o passar dos anos, se estende para camadas mais profundas do solo (Eltz et al., 1989; Bayer e Mielniczuck, 1997). A disponibilidade também é afetada pelo tipo de matéria seca que está sobre o solo, ou seja, da relação C/N que esta matéria apresenta, podendo disponibilizar N assim como imobilizá-lo.

O teor de MO no solo é classificado para o RS e SC segundo Comissão (2004), como baixo, médio e alto, com % de MO < ou = a 2,5, entre 2,5 e 5,0 e > 5,0 respectivamente. Fatecha (1999) classifica os teores de MO no solo também como baixo, médio e alto. Os valores de cada classe em porcentagem são de < 1,2%, entre 1,2% a 3,0% e > 3,0%, respectivamente.

No RS foram feitos três levantamentos visando avaliar a porcentagem de solos dentro de cada classe (Tedesco et al., 1985; Drescher et al., 1995; Rheinheimer et al., 2001). Em 1981, Tedesco et al. (1985), encontraram 27,1% dos solos com baixo teor de MO (< 2,5%), 53,2% com médio teor de MO (2,5 a 5%) e 19,7% dos solos com alto teor de MO (>5%). Drescher et al. (1995) encontraram em 1988 40,5% dos

solos com baixo teor de MO, 53,6% como médio teor de MO e 5,9% com alto teor de MO. Comparando os dois levantamentos, pode-se perceber uma redução de aproximadamente 14% no teor alto de MO e um aumento aproximado de 14% dos solos com baixos teores de MO. Estes valores retratam o impacto do sistema adotado na época, com muita mobilização do solo causando erosão na camada superficial e o aumento na utilização de áreas com teor inicial no solo mais baixo de MO (Rheinheimer, 2001). Do levantamento de 1988 para o de 2001 (Rheinheimer, 2001), ocorreu uma pequena melhoria em relação aos teores de MO no solo, sendo que passou de 40,5% das amostras na faixa baixa, para somente 29,7% e aumentou praticamente na mesma proporção na faixa média de fertilidade que apresentava 53,6% das análises avaliadas e passou para 64,1%. Na faixa alta, permaneceu praticamente a mesma porcentagem das análises (6,2%).

Fatecha (2004), num levantamento, destacou que a maioria dos solos do Paraguai se enquadram na classe de fertilidade média, onde a MO varia entre 1,5% a 2,5%.

A necessidade de N das culturas é definida pela espécie em questão, pela sua produtividade de matéria seca, pelo seu potencial de exploração do solo, pela competição com ervas daninhas, entre outros fatores. As espécies leguminosas geralmente têm sua necessidade suprida através da fixação biológica. Por outro lado, as gramíneas são altamente dependentes de suprimento mineral para expressar seu potencial produtivo.

A observação de todos os fatores não garante a eficiência da adubação nitrogenada nessas culturas. É necessário, para o sucesso total da adubação nitrogenada, observar o histórico da lavoura e ainda o acompanhamento da lavoura. Como o nutriente é muito móvel, é recomendado fazer as aplicações do nutriente em diferentes épocas, quando se pode utilizar a quantidade de acordo com a resposta da cultura até o momento e adequar também com a expectativa a partir deste momento. Esta estratégia deve ser utilizada na cultura do milho quando não está sob sistema irrigado, já que o milho só consegue expressar seu potencial produtivo com elevado índice pluviométrico, fator que não é possível determinar com segurança antecipadamente ao plantio, principalmente no sul do Brasil, assim como no Paraguai. Neste caso, faz-se a aplicação de pequenas quantidades na semeadura para suprir as necessidades iniciais, fazendo outra para a determinação

do potencial produtivo e a última para expressão do potencial produtivo determinado nas fases anteriores.

O elemento nitrogênio é muito estudado na comunidade científica mundial, porém a sua dinâmica no solo, os processos biológicos que o afetam e a necessidade das culturas dificultam a elaboração de recomendações. Neste sentido, foram conduzidos vários experimentos em rede no Paraguai, objetivando elaborar uma recomendação de nitrogênio para trigo e milho sob plantio direto.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

1.3.1 Clima

O clima da região é tropical a sub-tropical úmido, mesotérmico, com verões quentes e invernos com geadas ocasionais. A precipitação anual oscila entre 1300 mm ao Oeste e 1900 mm ao Leste, com uma média anual de 1700 mm. A temperatura média mensal do ar é de 18 a 28 °C, com temperaturas médias mínimas de 15 °C e médias máximas de 30 °C (Abate, 2000).

1.3.2 Descrição das unidades experimentais

Os solos da região agrícola do país são predominantemente Alfisols e Ultisols (ocupam 65% das terras), seguidos com 16% de Entisols, sendo encontrados também Inceptisols, Oxisols, entre outros (López et al., 1995). Foram conduzidos sete experimentos em rede em quatro departamentos do país, sendo dois no departamento de Misiones (M1 e M2), dois no departamento de Itapúa (I1 e I2), dois no departamento de Alto Paraná (AP1 e AP2) e um no departamento de Amambay (PJC1). Nem todos os locais tiveram as mesmas safras conduzidas. A safra do trigo de 2003 foi conduzida somente no M1 e I1, a safra do milho foi conduzida em todos os experimentos com exceção do AP1 e o trigo de 2004 em todos com exceção de M2. As características dos dois experimentos de Misiones são bastante semelhantes, tanto que foram conduzidos na mesma propriedade, do Engenheiro Agrônomo Fabian Pereira (Lactosur), no distrito de San Patrício. O solo predominante na região é o Ultisol (López et al., 1995), com terrenos suavemente ondulados e a vegetação predominante são os campos nativos. Segundo levantamento de Fatecha (2004), o Departamento apresenta fertilidade média baixa, assim como o solo do distrito de San Patrício. O experimento M1, localizado a 26° 59' 55,29266" S e 56° 45' 01,75456" WO (WGS1984), é uma área cultivada há vários anos sob plantio direto, com algumas retiradas de silagem utilizadas para alimentação animal. As características químicas e o teor de argila se encontram no

anexo 2. O experimento foi instalado em abril de 2003, sendo conduzidas três safras, inverno de 2003, verão 2003/04 e inverno de 2004, sendo a cultura de inverno o trigo e de verão o milho.

O experimento M2 foi implantado sobre uma área de pastagem de baquiaria, que foi dessecada para iniciar a produção de grãos. Apresentava alta quantidade de palha sobre a superfície, impossibilitando a semeadura do trigo no inverno de 2003, sendo então a primeira safra a de verão de 2003/04 com o milho. As características químicas estão no anexo 2, assim como o teor de argila. A localização geográfica do experimento é $26^{\circ} 59' 05,48726''$ S e $56^{\circ} 44' 10,69358''$ WO (WGS1984).

No Departamento de Itapúa, o experimento de I1 foi implantado na propriedade do Senhor Rudi Dressler, no município de Bela Vista com posição geográfica de $26^{\circ} 56' 07,09384''$ S e $55^{\circ} 38' 03,81347''$ WO (WGS1984). A vegetação natural predominante são as florestas tropicais e o solo predominante na região é o Oxisol (López et al., 1995). No distrito vizinho de Bela Vista, Obligado, a fertilidade foi classificada como alta, classe na qual se enquadra à média do Departamento de Itapúa (Fatecha, 2004). O experimento foi instalado juntamente com os experimentos de Misiones e nele foram conduzidas três safras, inverno de 2003, verão 2003/04 e inverno de 2004, a cultura de inverno foi o trigo e as de verão foi o milho. A área se encontra sob plantio direto há mais de 15 anos e apresenta alta fertilidade, conforme anexo 2. Conforme relatos do produtor, altas produtividades são obtidas nas culturas conduzidas sobre a área.

O experimento I2 foi implantado na propriedade do Senhor Eugênio Mañko na localidade de Fram, localizado a $27^{\circ} 08' 54,11744''$ S e $56^{\circ} 03' 46,26738''$ WO (WGS1984). Segundo classificação de Fatecha (2004), os solos do distrito em média são de alta fertilidade. O solo predominante da região é o Ultisol (López et al., 1995), na área de condução do experimento é um Ultisol. A vegetação natural predominante são as florestas, com alguns campos nativos nas partes mais baixas dos terrenos, que é suavemente ondulado. Este experimento foi instalado em outubro de 2003, antes da safra de verão. Foram conduzidas duas safras, a de verão de 2003/04 com milho e a de inverno de 2004 com trigo. A área se encontrava sob pousio invernal com baixa produção de palha sobre a superfície. Segundo relatos do produtor, a área foi muito degradada quando estava sob sistema convencional de cultivo, razão pela qual vem obtendo rendimentos não muito altos,

assim como os baixos níveis de fósforo e MO são herança do sistema de cultivo adotado por muitos anos. Atualmente vem sendo conduzida sob o sistema plantio direto.

No departamento do Alto Paraná, o primeiro experimento instalado foi o AP1, em outubro de 2003, no Centro Tecnológico Agropecuário em Paraguai (CETAPAR) na localidade de Iguazu, localizado 25° 27' 23,15682" S e 55° 02' 49,16350" WO (WGS1984). Os solos do distrito foram classificados como de média fertilidade, assim como todo o Departamento de Alto Paraná (Fatecha, 2004). O solo predominante na região é o Oxisol (López et al., 1995) e o terreno da região é suavemente ondulado. A área está sob condução de sistema plantio direto há vários anos. No local foi conduzida a safra de trigo no inverno de 2004. A área apresenta valores intermediários de fertilidade, conforme como pode ser observado no anexo 2.

O experimento AP2 também foi instalado em outubro de 2003, na Cooperativa de Producción Agropecuária de Naranjal Ltda (COPRONAR), na localidade de Naranjal, localizado a 25° 58' 07,17126" S e 55° 12' 48,79724" WO (WGS1984). Fatecha (2004) classificou os solos do distrito como de média fertilidade. O solo da unidade experimental é um Oxisol. A vegetação natural predominante são florestas tropicais densas. Foram conduzidas duas safras no local, a de verão de 2003/04 com milho e a de inverno de 2004 com trigo. A área é cultivada sob sistema plantio direto por vários anos, porém não vinha sofrendo altas adubações, pois estava sob arrendamento. Apesar disso, apresenta altos valores de MO (anexo 2), fato comum nas lavouras da região.

O experimento PJC1 foi instalado no Departamento de Amambaí na localidade de Colonia Raúl Ocampos Rojas (Chiriguelo), no campo experimental da Facultad de Ciencias Agrarias, sede Pedro Juan Caballero, localizado a 22° 39' 17,67833" S e 55° 53' 36,43726" WO (WGS1984). Os solos do Departamento Amambay são de média fertilidade, assim como do distrito de Pedro Juan Cabalero (Fatecha, 2004). O solo da unidade experimental é um Alfisol, o terreno é suavemente ondulado e a vegetação natural predominante é a floresta tropical. A área foi desmatada em 1991, sendo efetuada uma safra de milho permanecendo cobertura de coloniao na área. No ano de 2002 a area foi limpada, iniciando-se a produção de grãos. O local apresenta altos teores de K e MO e baixo de fósforo, fato comum nas lavouras da

região. O experimento foi instalado em outubro de 2003 e foram conduzidas duas safras, a de verão de 2003/04 com milho e a de inverno de 2004 com trigo.

1.3.3 Delineamento, unidades experimentais e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com três repetições (anexo 1). A dimensão das parcelas experimentais foi de 5m por 8m, com exceção para a cultura do trigo de 2004, sob a cultura do milho, onde as parcelas foram subdivididas em 5m por 4m. Os tratamentos para a cultura do trigo de 2003 consistiram de quatro doses de N (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹) sendo efetuada no perfilhamento das plantas. Para a cultura do milho da safra 2003-04, os tratamentos foram cinco doses de N (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹), onde 30 kg ha⁻¹ foram aplicados na semeadura e a cobertura foi realizada 40 dias após a semeadura, sendo realizada em superfície e na linha com umidade adequada visando menor perda. As parcelas do experimento M1 e I1 foram as mesmas utilizadas para a cultura do trigo, sendo colocadas na mesma disposição onde o tratamento 0 no trigo correspondeu ao tratamento 0 no milho e assim sucessivamente, criando-se apenas parcelas novas para a dose 240 kg ha⁻¹ (anexo 1). Nesses locais a cultura anterior foi a soja.

No cultivo do trigo foram utilizadas as mesmas parcelas utilizadas para o milho visando identificar o efeito residual do N aplicado no milho. As parcelas foram subdivididas, metade da parcela não recebeu nenhuma forma de N na semeadura e em cobertura. A outra metade da parcela foi fertilizada com cinco doses (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹), sendo 15 kg na semeadura e o restante no perfilhamento. Estes tratamentos foram dispostos nas respectivas parcelas do milho (0, 60, 120, 180 e 240).

1.3.4 Semeadura, condução e colheita

As semeaduras foram efetuadas nas épocas recomendadas objetivando atingir as máximas produções das culturas. O trigo foi semeado em meados de maio tanto em 2003 como em 2004. A cultura do milho foi implantada na primeira semana de

novembro de 2003. As cultivares utilizadas foram as mais semeadas e produtivas das regiões de condução dos experimentos (anexo 5).

O trigo de safra de 2003 foi semeado sob a resteva de soja cultivada pelo produtor.

As adubações de P e K foram mantidas constantes e satisfatórias para satisfazer as necessidades das culturas, utilizando-se a dose de 100 kg ha⁻¹ e 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O, respectivamente. As fontes utilizadas foram o superfosfato triplo (46% de P₂O₅) e o cloreto de potássio (60% de K₂O). A fonte de N foi a uréia (45% de N₂), tanto na semeadura como em cobertura. Os tratos culturais foram efetuados para a cultura expressar seu máximo potencial produtivo.

Para determinação da produtividade de grãos foram coletadas no trigo de 2003 três amostras de 0,25 m², totalizando 0,75 m² por parcela. Na cultura do milho coletaram-se amostras de 6m lineares (duas linhas de 3m) no centro das parcelas. Para o trigo de 2004, foi coletada uma área de 3,2 m² por parcela. As colheitas de trigo foram efetuadas no mês de setembro nos respectivos anos e a do milho foi efetuada na segunda quinzena de março de 2004. Todas as produtividades foram corrigidas para treze por cento de umidade no grão.

1.3.5 Coleta do solo e análises da matéria orgânica

Foram coletadas amostras de solo a 10 cm de profundidade em todos os locais antes do início da implantação dos experimentos, sendo 6 amostras compostas (uma amostra composta por bloco) de 10 subamostras cada. O teor de MO foi determinado pelo método de oxidação da MO do solo por solução sulfocrômica com calor externo e determinação espectrofotométrica do Cr³⁺ (Tedesco et al., 1995). As demais análises químicas também foram feitas segundo as metodologias descritas por Tedesco et al. (1995).

1.3.6 Interpretação dos resultados

Para todos os experimentos foram elaboradas equações que descrevem a resposta das culturas à aplicação do N. Optou-se pela escolha dos modelos

polinomiais que se ajustavam melhor aos dados, e que fossem adequados à resposta biológica das plantas.

Para a determinação das equações, foi utilizado o programa SigmaPlot. Os valores de máxima eficiência técnica (MET) da utilização do insumo foram calculados a partir da equação de produtividade 1 (equação polinomial quadrática), onde se fez a primeira derivada e igualando a equação a zero, resultando na equação 2. Quando a equação ajustada foi uma polinomial linear positiva, a MET era obtida com a utilização da maior dose, em casos de resposta negativa e MET correspondia a testemunha.

Para determinar a máxima eficiência econômica (MEE), foi utilizada a mesma derivada da equação multiplicando-se pelo preço do produto (pp) e subtraindo o preço do insumo (pi) resultando na equação 3 (Grimm, 1970; Alvarez, 1991). Os preços do insumo são compostos pelo preço de compra mais transporte e aplicação. Foi desconsiderado o custo da aplicação para utilização desta equação. O preço do produto é formado pelo preço pago no mercado mais o transporte até o mesmo. Os preços utilizados nos cálculos dos custos são preços médios praticados no Paraguai, 0,78U\$ kg⁻¹ de N, 0,10U\$ kg⁻¹ de trigo e 0,07U\$ kg⁻¹ de milho (Informações pessoais obtidas com Nilson Osterlein e Bernardino Orquiola Fernández, preços praticados na COPRONAR e Cooperativa Yguazu, 2004). Desta forma, a relação pi/pp para trigo ficou em 7,8 (adotando 8) e para o milho 11,14 (adotando 11).

Os rendimentos relativos das culturas foram determinados pela razão entre o fator “a” da equação de regressão polinomial que representa a produtividade sem aplicação do N (testemunha) e a MET calculada a partir da equação e multiplicada por 100 (equação 4).

$$y = a + bx + cx^2 \text{ (Equação 1)}$$

$$dy/dx: 0 = b + 2cx \text{ (Equação 2)}$$

$$dy/dx: 0 = pp(b + 2cx) - pi \text{ (Equação 3)}$$

$$RR = (\text{Fator "a" da equação} * 100) / MET \text{ (Equação 4)}$$

1.3.7 Recomendação de N

A partir das equações dos experimentos com respostas semelhantes, foram elaboradas equações médias que descrevem a resposta das culturas. Estas equações, juntamente com dados de literatura, foram utilizadas para elaboração das tabelas de recomendação de N para trigo e milho sob plantio direto no Paraguai.

1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As produtividades das culturas nas três safras utilizadas foram afetadas por déficits hídricos (anexos 3 e 4). Na safra de trigo de 2003, M1 teve seu rendimento afetado devido à falta de chuva. No milho 2003-04, os experimentos I2 e PJC1 foram os mais atingidos. No trigo de 2004, os experimentos mais atingidos foram o M1, I1 e PJC1.

Apesar dos déficits hídricos ocorridos nos períodos de condução dos experimentos, as culturas, de maneira geral, responderam à aplicação de N, com algumas exceções como o trigo em PJC1 e AP1 e AP2 na safra de 2004.

1.4.1 Produtividade de trigo após a soja

A produtividade média do trigo no ano de 2003 dos dois experimentos (M1 e I1) foi muito distinta (Tabela 1.1). Esta grande variação foi decorrente das condições climáticas que prejudicaram a produtividade do M1. Além disso, o I1 está com sistema plantio direto conduzido há vários anos, com boa estruturação do solo e um histórico de altas produções. Apesar desta diferença, os dois apresentaram resposta à aplicação de N, sendo que o I1 teve um incremento maior, chegando a 635 kg ha^{-1} , com um fator “b” da equação de 20,02, enquanto M1 elevou em 331 kg ha^{-1} , com um fator “b” de 11,80. Os dois experimentos apresentaram um alto coeficiente de determinação entre a dose aplicada e a resposta da cultura. Resultado semelhante ao I1 foi obtido por Mundstock & Bredemeier (2002), num estudo sobre as épocas e doses de aplicação de nitrogênio para o trigo, que utilizaram diferentes doses na emergência e 40 kg ha^{-1} de N em cobertura na 7ª folha, sendo que a aplicação em cobertura surtiu o maior efeito, aumentando a produtividade em até 730 kg ha^{-1} na ausência de aplicação na emergência.

Na safra de trigo 2004, a resposta à aplicação de N foi diferente nos experimentos, onde nem todos apresentaram incremento na produtividade com as doses aplicadas (Tabela 1.1). O experimento M1 não apresentou nenhuma resposta à aplicação de N, ao contrário, a produtividade decresceu com as doses. O experimento após a colheita de soja sofreu uma compactação do solo pelo tráfico de

máquinas que ocorreu na área. Além disso, ocorreu um déficit hídrico na região. Estes fatores explicam a ausência de resposta do trigo ao N, num solo que em outro ano sob semelhantes condições apresentou resposta.

O experimento I1 não atingiu a mesma produtividade que na safra de 2003. Porém, novamente a cultura apresentou resposta às doses de N atingindo a produtividade máxima com a dose de 91 kg ha^{-1} de N. Este comportamento foi um pouco distinto dos experimentos do Alto Paraná, onde os solos foram capazes de suprir N para produtividade de até 2800 kg ha^{-1} , com semelhante teor de MO e palhada de soja. Fato que pode estar contribuindo para esta menor produtividade atingida é a segunda safra de trigo na mesma área, a qual mostrou sintomas de doenças. Este experimento também apresentou menores produtividades de soja ($2,8 \text{ t ha}^{-1}$), conseqüentemente deixando menor palhada sobre a superfície, ou seja, menos N liberado com a decomposição.

No experimento I2, a resposta às doses de N elevou a produtividade em até 644 kg ha^{-1} com uma dose de 73 kg ha^{-1} de N, sendo que o aumento de produtividade por kg de N adicionado (fator b da equação) foi 17,65 (Tabela 1.1). Neste experimento, a produtividade de soja (1 t ha^{-1}) e a produção de massa seca foram baixas. Além disso, o teor de MO do solo é baixo, justificativas pelas quais o trigo respondeu às doses de N. Da Ros et al. (2003), estudando épocas de aplicação, encontraram um maior aumento na produtividade de trigo, chegando a 1152 kg ha^{-1} com aplicação de 60 kg ha^{-1} de N em cobertura.

No departamento do Alto Paraná, os dois experimentos não apresentaram resposta ao N após a soja (Tabela 1.1). Os solos de AP1 e AP2 foram capazes de suprir as necessidades de N do trigo, ou seja, em torno de 50 a 55 kg ha^{-1} para produtividade de 2700 kg ha^{-1} de trigo. Os solos têm razoável teor de MO, além disso, a decomposição da palhada da soja também disponibilizou N (a produtividade da soja foi de 4 t ha^{-1}).

O experimento PJC1 não apresentou resposta à aplicação de N (Tabela 1.1). Este comportamento pode ser explicado em partes pelo alto teor de MO encontrado no solo, que foi capaz de suprir a necessidade para aquela produtividade. Neste local, houve um déficit hídrico muito grande, não permitindo ao trigo expressar seu potencial produtivo.

De maneira geral, os experimentos que apresentaram resposta polinomial quadrática, apresentaram altos coeficientes de determinação entre as doses aplicadas e os rendimentos das culturas (Tabela 1.1).

TABELA 1.1. Equações de produtividade, coeficiente de determinação, MET e produtividade de trigo em função das doses de N aplicadas após cultivo da soja, safra de 2003 e 2004, Paraguai 2005.

| Local | Equação | r^2 | Dose MET | Produtividade MET kg ha ⁻¹ |
|------------------------|---------------------------------|-------|----------|------------------------------------------|
| ----- Safra 2003 ----- | | | | |
| M1 | $Y = 1370 + 11,80N - 0,1050N^2$ | 0,98 | 56 | 1701 |
| I1 | $Y = 3569 + 20,02N - 0,1578N^2$ | 0,98 | 63 | 4204 |
| ----- Safra 2004 ----- | | | | |
| M1 | $Y = 1591 - 1,42N$ | 0,22 | 0 | 1591 |
| I1 | $Y = 2236 + 10,69N - 0,0586N^2$ | 0,99 | 91 | 2723 |
| I2 | $Y = 2226 + 17,65N - 0,1209N^2$ | 0,95 | 73 | 2870 |
| AP1 | $Y = 2663 - 0,55N$ | 0,27 | 0 | 2663 |
| AP2 | $Y = 2804 + 0,55N$ | 0,05 | 120 | 2870 |
| PJC1 | $Y = 751 + 0,26N - 0,0045N^2$ | 0,21 | 29 | 755 |

y = rendimento esperado em kg ha⁻¹

N = dose de nitrogênio em kg ha⁻¹

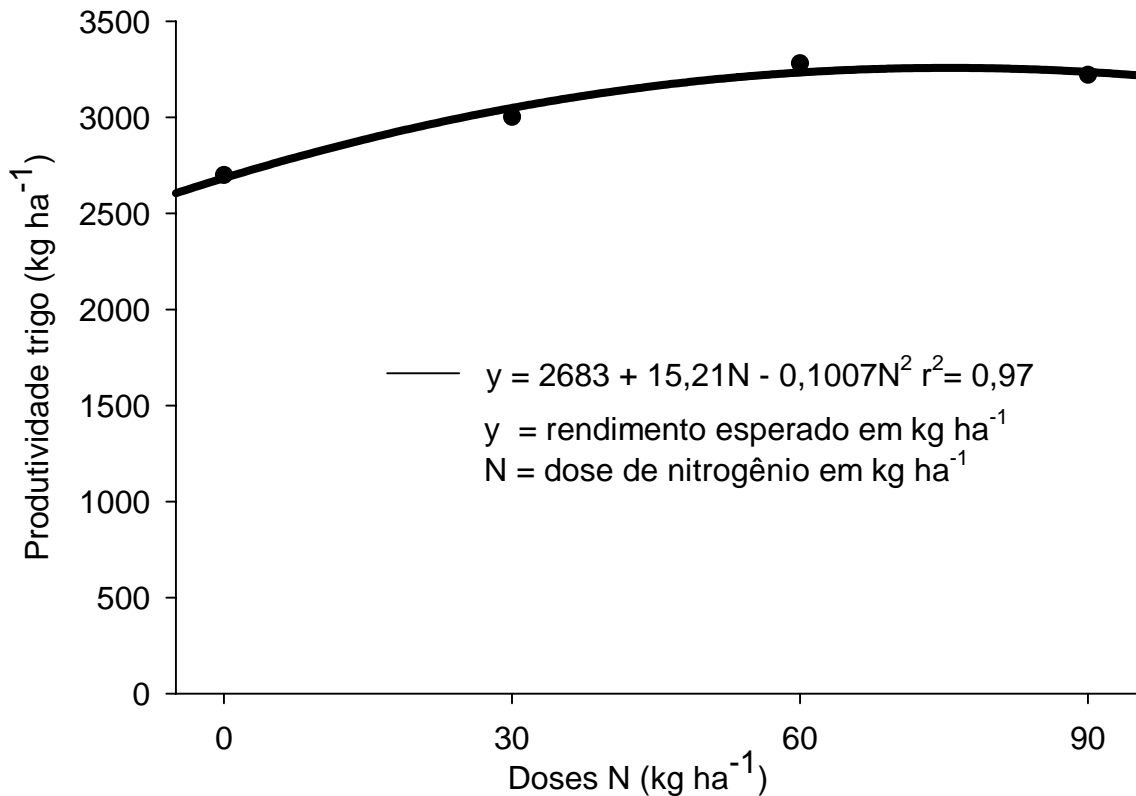


FIGURA 1.1. Curva de resposta média do trigo (I1 safra 2003, I1 e I2 safra 2004) sob sistema plantio direto após soja, Paraguai 2005.

A figura 1.1 representa a resposta média do trigo à aplicação de nitrogênio após a soja num teor de MO menor que 4%. Nesta situação, a resposta máxima do trigo será de 76 kg ha^{-1} de N, onde serão produzidos 3257 kg ha^{-1} . A MEE será atingida com a dose de 36 kg ha^{-1} , considerando o pi/pp de 8, atingindo produtividade de 3098 kg ha^{-1} . Esta resposta do trigo à aplicação de N (15,21) é superior a resposta encontrada por Fontoura et al. (2000), que obteve um retorno de 4,29 kg ha^{-1} de trigo por kg de N aplicado, porém o rendimento inicial obtido foi bem superior, ou seja, produziu 3760 kg ha^{-1} de trigo sem utilização de N. A curva acima demonstra o comportamento do trigo em condições que a cultura pode se desenvolver favoravelmente. Levando-se em consideração esta informação, recomenda-se a aplicação de 35 kg ha^{-1} de N para o trigo após a soja em anos que apresentam boas condições climáticas e onde a expectativa de produtividade é alta. Esta dose pode ser superior ou inferior em anos que a relação de pi/pp for mais favorável ou desfavorável, respectivamente, para o produtor.

A dose encontrada neste trabalho está de acordo com a recomendação técnica de N para trigo no Paraná (IAPAR, 1998), que recomenda uma aplicação de 30 kg ha⁻¹, sendo 10 em semeadura e 20 em cobertura. A Comissão (2004) e a Comissão Sul-Brasileira (2005) recomendam uma dose de 40 kg ha⁻¹ de N para solos com teor médio de MO (2,6 – 5%), sendo 15 a 20 na semeadura e o restante em cobertura, entre os estágios de afilhamento e de alongamento (aproximadamente 30 a 45 dias após a emergência). Fatecha (1999) recomenda aplicação de 20 kg ha⁻¹ na semeadura, 40 kg ha⁻¹ em cobertura quando o teor de MO do solo estiver na faixa baixa (<1,2%) e 30 em cobertura quando a MO estiver na faixa média (1,2 a 3,0% de MO). Comparando-se as recomendações e os dados encontrados nos experimentos, há uma semelhança muito grande nas respostas das plantas. Fatecha (1999) alerta para as condições de seca, não recomendando aplicação de cobertura.

Os experimentos com teor de MO maiores de 4% não apresentaram resposta à aplicação de N no trigo após a soja, ou seja, o residual da palhada da soja mais as quantidades fornecidas pelo solo foram suficientes para suprir as necessidades da cultura para as produtividades alcançadas. Este resultado pode não se repetir quando produtividades maiores de trigo forem atingidas, sendo que as safras foram afetadas por condições climatológicas desfavoráveis. Outro fator a ser considerado quando se deseja eliminar as doses de N, é que o N retirado do sistema pela exportação dos grãos de trigo deverá de alguma forma ser repostado, podendo ser de forma mineral ou então com utilização de leguminosas como adubos verdes.

1.4.2 Produtividade de trigo após o milho

Na safra de trigo sobre o milho (Tabela 1.2 e 1.3), as produtividades foram inferiores às produtividades obtidas sobre a soja (Tabela 1.1). Estes experimentos também apresentaram menor incremento de produtividade com as doses de N.

1.4.2.1 Produtividade de trigo após o milho em função do residual de N aplicado no milho

O trigo respondeu ao residual das doses aplicadas no milho (Tabela 1.2), com exceção do experimento PJC1, este porém apresentou baixíssimas produtividades. Além disso, a alta porcentagem de MO que este apresenta impediu a revelação do efeito residual.

O experimento M1 apresentou pequeno aumento na produtividade em função do residual de N do milho. A produtividade atingida foi superior a produtividade atingida após a soja. Este fato não foi comum nos demais experimentos, sendo mais comum a maior produtividade após a soja. No experimento após a colheita da soja, ocorreu um tráfego de máquinas que provocou compactação do solo, o que pode ser a explicação para a discordância do resultado.

No I1, a produtividade atingida foi bem inferior a produtividade atingida após a soja, ou seja, a sucessão trigo/milho/trigo afetou mais a produtividade de trigo do que a sucessão trigo/soja/trigo. A resposta ao residual foi baixa, elevando em 1,87 kg ha⁻¹ a produtividade do trigo por kg ha⁻¹ de N aplicado no milho. Esta baixa resposta em parte pode ser explicada pela alta produtividade atingida no milho, o qual absorveu e exportou quantidades maiores do N, sendo que o trigo não atingiu a produtividade máxima com o residual da maior dose (Tabela 1.2).

O experimento I2 apresentou a maior resposta ao residual de N aplicado no milho, elevando em até 8,13 kg ha⁻¹ por kg ha⁻¹ de N aplicado no milho, aumentando em 1214 kg ha⁻¹ a produtividade no residual de 240 kg ha⁻¹ de N no milho. Esta alta resposta está associada à baixa produtividade atingida pelo milho nesse experimento e à baixa precipitação ocorrida no período. A produtividade atingida foi praticamente igual a produtividade atingida com aplicação de 73 kg ha⁻¹ de N após a soja e 82 kg ha⁻¹ após o milho, ressaltando que na dose após o milho havia um residual.

No AP2 o trigo apresentou resposta ao N após o milho, elevou a produtividade em 471 kg ha⁻¹ com um residual da dose no milho de 149 kg ha⁻¹. Neste experimento, foram produzidas grandes quantidades de milho (8 t ha⁻¹), inclusive na parcela testemunha, o que provocou um esgotamento das reservas de N no solo, causando a menor resposta do trigo ao residual após o milho.

Esta alta recuperação de N pelo trigo foi decorrente do curto período de entressafra e as baixas precipitações ocorridas no período de condução do milho, na entressafra e na condução da cultura do trigo. Esta resposta do trigo ao residual das doses aplicadas no milho pode não se repetir todos os anos, pois a baixa precipitação pluviométrica desfavoreceu a lixiviação do N, permanecendo maior quantidade à cultura seguinte. Devido ao curto período de entressafra, 45 dias, não foi utilizada nenhuma planta de cobertura. Vários estudos foram realizados no sul do Brasil quanto à recuperação do N aplicado no milho, utilizando o nabo forrageiro na entressafra ao trigo. Conforme Rossato (2004), o residual do N aplicado no milho aumentou a produção de matéria seca do nabo forrageiro e a produtividade de trigo após o nabo em aproximadamente 8%. Sem a utilização do nabo forrageiro, a diferença de produtividade no trigo foi de apenas 4%.

TABELA 1.2. Equações da produtividade de trigo, coeficientes de determinação, dose de máxima eficiência técnica e a produtividade máxima de trigo em função do residual do nitrogênio aplicado no milho, safra 2004.

| Local | Equação | r^2 | Dose MET -----kg ha ⁻¹ ----- | Produtividade -----kg ha ⁻¹ ----- |
|-------|--------------------------------|-------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| M1 | $y = 1694 + 2,39N - 0,0080N^2$ | 0,50 | 148 | 1871 |
| I1 | $y = 1324 + 1,88N - 0,0020N^2$ | 0,84 | 240 | 1659 |
| I2 | $y = 1672 + 8,13N - 0,0128N^2$ | 0,99 | 240 | 2886 |
| AP2 | $y = 2524 + 6,32N - 0,0212N^2$ | 0,77 | 149 | 2995 |
| PJC1 | $y = 643 - 0,02N$ | 0,00 | 0 | 643 |

y = rendimento esperado em kg ha⁻¹

N = dose de nitrogênio em kg ha⁻¹

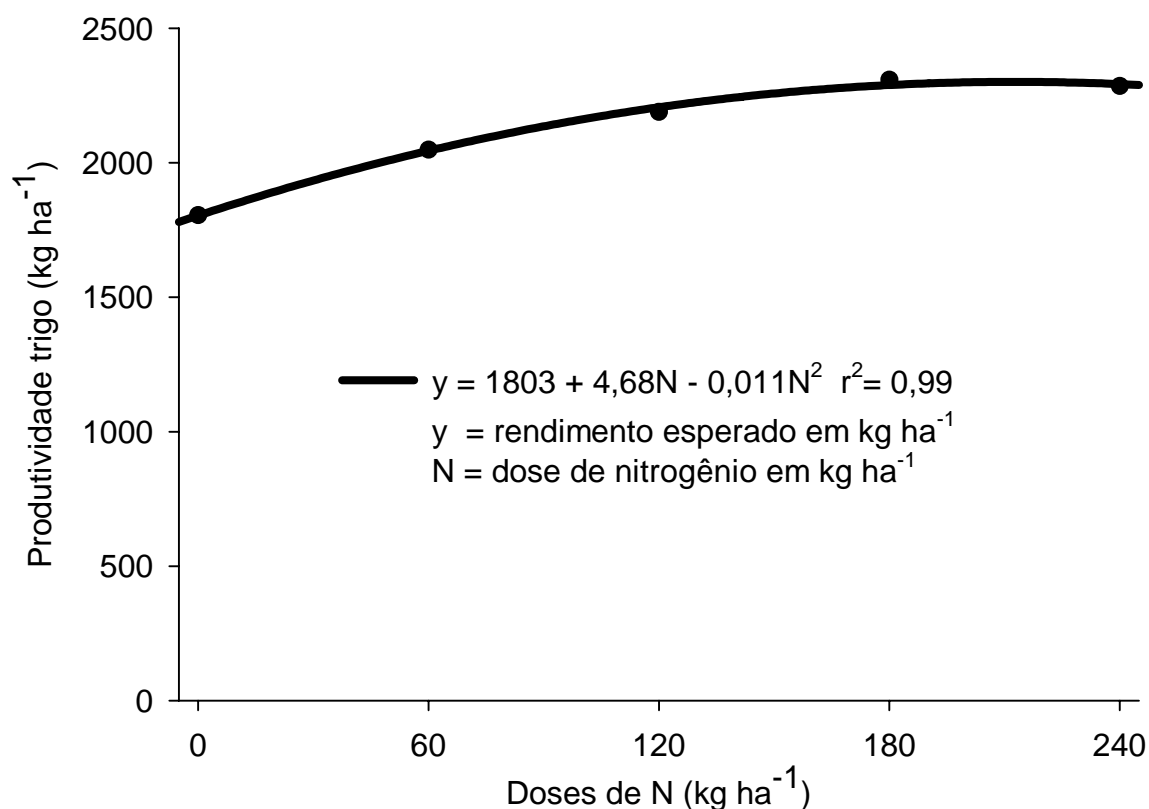


FIGURA 1.2. Produtividade média do trigo (M1, I1, I2 e AP2) em função do efeito residual das doses de N aplicadas no milho, Paraguai 2005.

A figura 1.2 representa a resposta média do trigo ao residual das doses aplicadas no milho. O ponto mais alto da curva foi atingido com 213 kg ha^{-1} de N aplicado no milho, correspondendo a 2300 kg ha^{-1} de grãos de trigo, sendo esta inferior as produtividades atingidas no trigo após soja, porém igual as produtividades atingidas com aplicação de N no trigo após o milho (Figura 1.3). Nesta situação, o residual do N aplicado no milho foi capaz de aumentar a produtividade do trigo em aproximadamente 500 kg ha^{-1} .

Estudos em relação à antecipação de aplicações de nitrogênio são muito comuns na literatura (Basso, 1999; Lera et al., 2000), com resultados muito semelhantes. A antecipação é viável em anos de baixas precipitações pluviométricas, permitindo dessa forma a recuperação no N aplicado antecipadamente ou o residual das culturas anteriores. No caso das aplicações nitrogenadas para o trigo após a cultura do milho por exemplo, esta informação é muito importante na decisão do suprimento adicional do N, onde, em anos de baixa

precipitação, poder-se-á reduzir consideravelmente a adubação. Em anos de precipitação normal, há um período para a tomada de decisão, a qual poderá ser feita sem prejudicar a produtividade. Os produtores já vêm fazendo observações semelhantes, ou seja, a aplicação de cobertura de N é dependente das condições climatológicas desde a sementeira até a aplicação, mas considerando a expectativa de produtividade e a relação pi/pp , para a tomada de decisão.

1.4.2.2 Produtividade de trigo após o milho em função das doses de N mais o residual de N aplicado no milho

As produtividades de trigo atingidas em média após o milho com utilização de doses de N não foram superiores as produtividades atingidas com o residual de N aplicado no milho. Porém as curvas de resposta tiveram uma inclinação maior, respondendo mais por kg de N aplicado e atingindo antes as produtividades máximas.

O experimento M1 apresentou pequena resposta à aplicação de N, comportamento semelhante ao observado com o residual de N do milho, sendo a produtividade máxima (1869 kg ha^{-1}) atingida com a dose de 58 kg ha^{-1} (Tabela 1.3).

No I1 foram alcançadas produtividades um pouco maiores do que com o residual do N aplicado no milho e menor que após a soja com 91 kg ha^{-1} de N. Com a aplicação de N, a MET foi atingida com 71 kg ha^{-1} de N, onde foi obtidas a produtividade de 1979 kg ha^{-1} de trigo, com uma resposta de $13,89 \text{ kg}$ de trigo por kg de N aplicado.

Novamente a maior resposta ao N foi observada no experimento I2, que aumentou a produtividade em 1063 kg ha^{-1} com a dose de 82 kg ha^{-1} de N. Neste local, a resposta do trigo em função do kg de N aplicado foi de $25,94 \text{ kg ha}^{-1}$ de trigo (Tabela 1.3), maior que a resposta encontrada por Fontoura et al. (2000), que foi de $21,35 \text{ kg ha}^{-1}$ por kg de N aplicado.

O experimento AP2 apresentou pequena resposta às doses de N, semelhantes ao encontrado em função do residual, porém a produtividade alcançada foi um pouco inferior a que foi alcançada somente com o residual. O experimento de PJC1 não apresentou resposta às aplicações de N assim como não apresentou ao residual e após a soja.

TABELA 1.3. Equações da produtividade de trigo, coeficiente de determinação, dose de máxima eficiência técnica e a produtividade máxima de trigo em função das doses de nitrogênio aplicadas no trigo mais o residual do nitrogênio aplicado no milho, safra 2004, Paraguai, 2005.

| Local | Equação | r^2 | Dose MET -----Kg ha ⁻¹ ----- | Produtividade |
|-------|---------------------------------|-------|--------------------------------------------|---------------|
| M1 | $Y = 1719 + 5,18N - 0,0446N^2$ | 0,27 | 58 | 1869 |
| I1 | $Y = 1447 + 13,89N - 0,0906N^2$ | 0,96 | 77 | 1979 |
| I2 | $Y = 1669 + 25,94N - 0,1583N^2$ | 1,00 | 82 | 2732 |
| AP2 | $Y = 2476 + 10,47N - 0,0994N^2$ | 0,70 | 53 | 2751 |
| PJC1 | $Y = 501 + 0,30N$ | 0,13 | 120 | 537 |

y = rendimento esperado em kg ha⁻¹

N = dose de nitrogênio em kg ha⁻¹

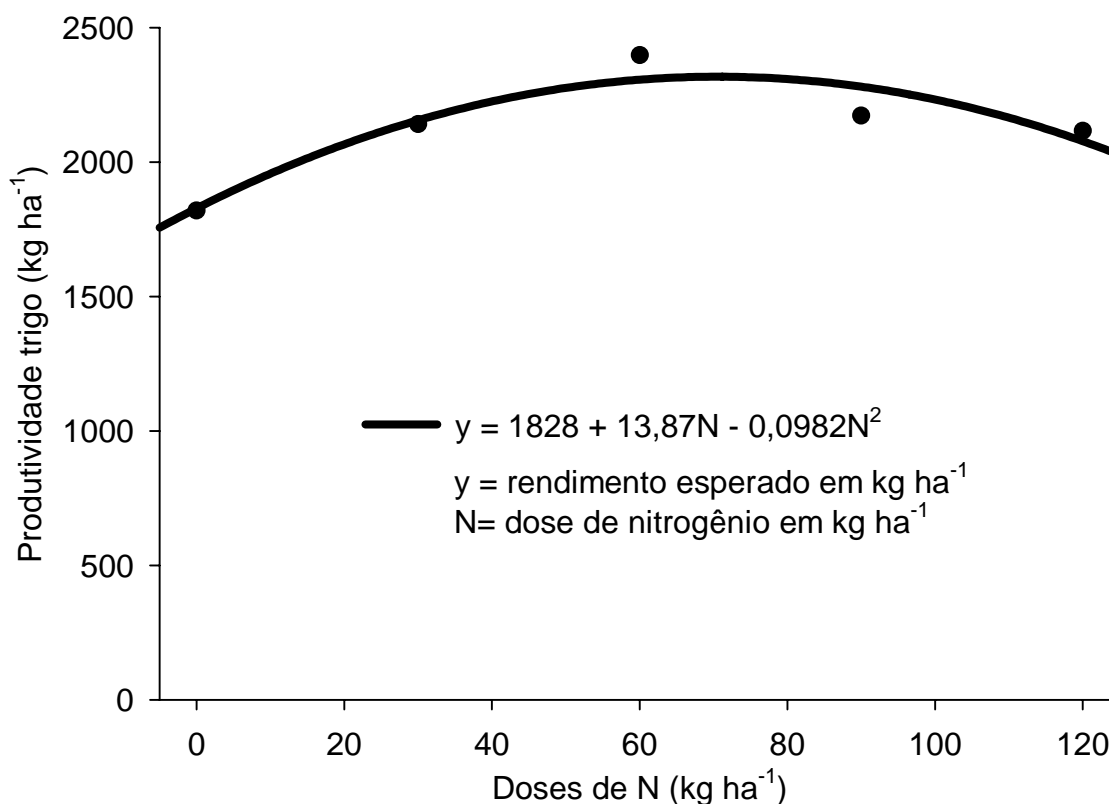


FIGURA 1.3. Produtividade média de trigo (M1, I1, I2 e AP2) em função de doses de N aplicado mais o residual aplicado no milho, Paraguai 2005.

Com a utilização das doses de nitrogênio no trigo aliado ao residual de N da aplicação feita no milho (Tabela 1.2 e 1.3), o trigo respondeu em média até 71 kg ha^{-1} de N (Figura 1.3 e 1.4), atingindo praticamente as mesmas produções que foram atingidas com o residual médio de 213 kg ha^{-1} de N aplicado no milho (Tabela 1.1). Cabe ressaltar que o milho não pode expressar todo seu potencial produtivo devido ao déficit hídrico ocorrido. Desta forma, a absorção e exportação de N foi menor, ocorrendo também menor produção de matéria seca com menor imobilização de N pela mesma, assim como a lixiviação foi desfavorecida. Fontoura et al. (2000) encontraram uma resposta do trigo e cevada superior ao encontrado neste trabalho, onde o fator “b” da equação ficou em torno de 20 após o milho. Neste experimento, as culturas apresentaram altas produtividades mesmo na ausência da aplicação de N, indicando que as culturas tinham condições favoráveis para o desenvolvimento e possivelmente menor residual de N aplicado no milho.

A MEE do trigo após o milho foi atingida com a dose de 30 kg ha⁻¹ de N (Figura 1.4), sendo um pouco inferior à dose encontrado no trigo após a soja. Porém para o cálculo não foi considerado o efeito da dose residual aplicada no milho. Possivelmente a dose aumentaria um pouco para suprir este residual.

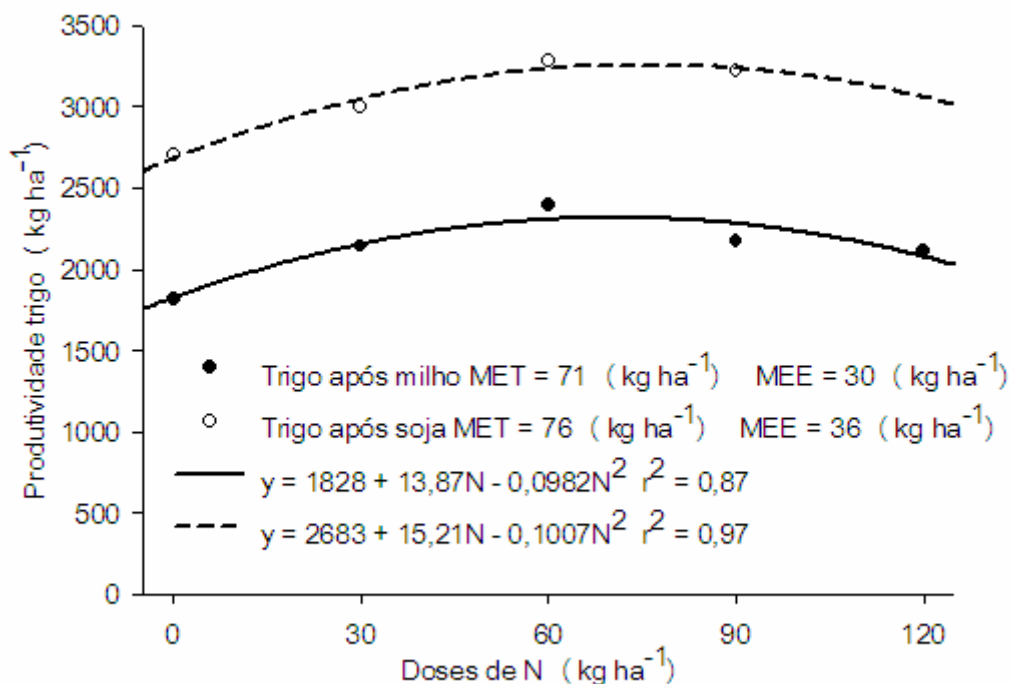


FIGURA 1.4. Produtividade de trigo após milho e soja, em função de doses de N aplicadas, MET e MEE, Paraguai 2005.

Na figura 1.4 podemos observar a semelhança na resposta média do trigo após o milho e a soja, onde a MET foi alcançada com a dose 71 kg ha⁻¹ de N após o milho enquanto que após a soja foi atingido com 76 kg ha⁻¹ (Figura 1.4). A MEE também se apresentou muito semelhante nas duas situações variando em apenas 5 kg ha⁻¹. Ressaltando, estas doses foram as que atingiram a MET e MEE no trigo após o milho, porém havia um residual que sem o qual, possivelmente estaria aumentando estes valores. Outro detalhe muito importante são as produtividades alcançadas pelo trigo após as duas culturas, onde a soja proporcionou melhores condições para o desenvolvimento de trigo. No caso do milho, pode-se concluir que a não obtenção de rendimentos mais elevados não foi devido à deficiência de N, pois as doses aplicadas atingiram a MET.

A elaboração da recomendação de N para o trigo (Tabela 1.4) foi feita a partir dos dados experimentais e com auxílio da literatura (Amado, 1997; IAPAR, 1998; Amado et al., 2002; Comissão, 2004). Foram considerados vários fatores que interferem na produtividade do trigo, assim como sua instabilidade em relação a preços e custos de produção. É fundamental levar em consideração na tomada de decisão: a) a cultura anterior; b) o teor de MO c) a expectativa de produtividade; d) o acompanhamento da lavoura e o histórico de produtividade; e) a expectativa de preço do produto, e f) o preço do insumo. A ordem de importância dos fatores a serem observados varia de ano para ano, por exemplo, anos com expectativa de baixo preço do produto, deve-se optar pelo mínimo custo de produção sacrificando a produtividade. Por outro lado, em anos com expectativa de alto preço do produto, poder-se-á fazer maiores investimentos visando se aproximar da MET.

TABELA 1.4. Recomendação de adubação nitrogenada para o trigo sob sistema plantio direto para o Paraguai, Paraguai, 2005.

| Cultura anterior | MO -----%----- | Expectativa de produtividade (kg ha ⁻¹) | | |
|------------------|-------------------|-----------------------------------------------------|-----------|--------|
| | | < 2500 | 2500-3500 | > 3500 |
| | | -----kg ha ⁻¹ de N----- | | |
| Milho | <2 | 50 | 70 | 90 |
| | 2-4 | 30 | 50 | 70 |
| | >4 | 15 | 30 | 50 |
| Soja | <2 | 30 | 55 | 75 |
| | 2-4 | 15 | 35 | 55 |
| | >4 | - | 15 | 35 |

Após o milho, a dose poderá ser reduzida em anos de baixa precipitação pluviométrica em até 30 kg ha⁻¹ de N quando doses acima de 150 kg ha⁻¹ de N foram aplicadas no milho, porém é necessário cautela para não ocorrer em deficiência, prejudicando a produtividade.

A tabela foi elaborada para a relação pi/pp de 8, variação de 1 valor nesta relação afeta em 5 kg ha⁻¹ a MEE, ou seja, se a relação pi/pp aumentar para 10 (10-8=2 : 2*5=10 kg ha⁻¹) então a dose econômica em qualquer das situações é 10 kg ha⁻¹ inferior.

É fundamental a utilização de uma quantidade de 15 a 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura em linha, principalmente quando a cultura anterior for o milho. Desta forma se aumenta a oferta de N mineral para as plantas, diminuindo a imobilização

na decomposição da palhada com alta relação C/N pelos microorganismos. O período crítico do trigo, onde a cultura vai expressar seu potencial produtivo, vai da emergência até a 7ª folha, sendo que no início do período vai determinar o número de espiguetas por espiga e no final o número de colmos por área (Bredemeier, 2001).

O fator expectativa de produtividade deve ser cuidadosamente elaborado, pois atingir altas produtividades de trigo não depende somente da aplicação de N. Deve-se considerar principalmente o histórico da lavoura e as condições climatológicas. Basicamente, a expectativa vai modificar a dose de cobertura, fato que favorece a tomada de decisão, pois aos 30 dias após a emergência é possível determinar com maior segurança a expectativa de produtividade.

1.4.3 Produtividade de milho

A cultura do milho se apresentou responsiva à aplicação de N em todos os experimentos. Com exceção de PJC1, nos demais experimentos a curva quadrática se ajustou aos dados de produtividade (Tabela 1.5). Os coeficientes de correlação entre o nutriente aplicado e a resposta das plantas foram altos nos experimentos.

No experimento M1, foi alcançada a MET com uma dose de 141 kg ha^{-1} de N, produzindo 5650 kg ha^{-1} de milho, representando um aumento de 2524 kg ha^{-1} de milho. O fator “b” da equação foi de 35,84 (Tabela 1.5). A produtividade poderia ser ainda maior, sendo que ocorreu um déficit hídrico no período. Nesta situação, a MEE foi atingida com 98 kg ha^{-1} de N, considerando a relação pi/pp de 11. Esta dose encontrada está de acordo com Comissão (2004), que recomenda 70 kg ha^{-1} para produtividades de 4000 kg ha^{-1} mais 15 kg ha^{-1} de N por tonelada de grãos produzidos. Fatecha (1999) recomenda uma quantidade um pouco inferior, 60 kg ha^{-1} de N, sendo 30 kg ha^{-1} de N na semeadura e 30 kg ha^{-1} de N em cobertura, ressaltando que o autor destaca que o fósforo cumpre um papel mais importante para obter altas produtividades no milho.

O experimento M2 teve uma resposta maior que o M1, ou seja, a testemunha produziu 1968 kg ha^{-1} e com a dose de 191 kg ha^{-1} foi atingida a produtividade de 5739 kg ha^{-1} (Tabela 1.5). Neste local, o aumento de produtividade em função do kg de N aplicada foi de 39,53 kg de milho, um pouco superior ao M1. Valores

semelhantes, porém um pouco superiores aos encontrados no M1 e M2, foram obtidos por Sá (1998), em quatro locais com um fator “b” médio de 41 e, por outro lado, um pouco inferiores por Sá (1998), em Carambeí-PR com fator “b” de 27,40. Porém em todos os locais a produtividade das testemunhas foram altas, acima de 5000 kg ha⁻¹. Silva (2000) encontrou um fator “b” de 45,30, um pouco superior ao encontrado neste trabalho, sendo que a MET seria atingida com 171 kg ha⁻¹ de N. A menor produtividade na testemunha do M2 é justificada pela alta quantidade de palha existente na superfície do solo, imobilizando o N do solo. Porém o milho se mostrou muito responsivo à aplicação do nutriente. A MEE foi atingida com a dose de 138 kg ha⁻¹ de N.

A maior causa da diferença entre as doses encontradas nos experimentos de Misiones é a quantidade de palha na superfície do experimento M2, onde foi necessária uma grande quantidade de N para satisfazer as necessidades dos microrganismos do solo para decomposição da palhada encontrada na superfície com alta relação C/N.

A maior resposta foi atingida no experimento I1, onde a testemunha atingiu a produtividade de 1409 kg ha⁻¹ de milho, enquanto que a dose de 223 kg ha⁻¹ de N atingiu uma produtividade de 7497 kg ha⁻¹ (Tabela 1.5). A razão desta baixa produtividade do milho na testemunha foi o cultivo do trigo anterior sem utilização de N nesta mesma parcela, onde foram produzidos mais de 3500 kg ha⁻¹ de trigo (Tabela 1.1), e deixada grande quantidade de palha na superfície. Medeiros et al. (1975) encontraram uma resposta até a dose de 230 kg ha⁻¹ de N, sendo que com 20 kg ha⁻¹ de N a produtividade foi de 2133 kg ha⁻¹ de milho e chegou até 6920 kg ha⁻¹ em média, utilizando diferentes densidades de cultivo. Nas condições que foi desenvolvido o experimento e os preços praticados na época, seria viável a aplicação de 178 kg ha⁻¹ de N. Pavinato (2004), num experimento sob irrigação por aspersão, encontrou altas produtividades de milho sem aplicação de N, assim mesmo, a resposta foi economicamente viável até a dose de 187 kg ha⁻¹ de N. Comissão (2004) recomenda uma dose um pouco inferior a encontrada neste experimento, ou seja, aproximadamente 120 kg ha⁻¹. Considerando a não aplicação de N na cultura antecedente, o trigo, a qual absorveu e exportou alta quantidade de N do solo, provocando baixíssima produtividade na testemunha do milho. Naquelas condições seriam aplicados 55 kg ha⁻¹ de N, conforme tabela 1.4, a soma dos valores (120 + 55) atinge o valor de MEE encontrado neste local e safra.

No experimento I2, a produtividade de milho foi severamente afetada pelo déficit hídrico que ocorreu na safra (Anexo 3). Foi alcançada uma produtividade de 3137 kg ha⁻¹ com uma aplicação de 232 kg ha⁻¹ de N, enquanto a testemunha produziu 2075 kg ha⁻¹. O fator “b” da equação foi muito baixo para a cultura do milho(9,1), tornando a aplicação de N inviável economicamente (Tabela 1.5). Resultado semelhante foi encontrado por Buzetti (2000), com um fator “b” de 9,6, porém a produtividade da testemunha foi superior, 5870 kg ha⁻¹. Para essas condições, Comissão (2004) e Fatecha (1999) recomendam aplicações de 80 kg ha⁻¹ e 60 kg ha⁻¹ de N respectivamente, mas que nessas condições climatológicas não teriam proporcionado retornos econômicos ao produtor.

O experimento AP2 apresentou alta produtividade sem aplicação de N, atingindo 8831 kg ha⁻¹ de milho. As respostas às aplicações feitas foram muito baixas, aproximadamente 5 kg de milho por kg de N aplicado, sendo economicamente inviável a aplicação de N, pois a relação pi/pp foi maior que este valor (Tabela 1.5). Resultado semelhante foi obtido por Rolim & Reis (2000), onde o solo apresentava 4,2% de MO, atingindo 115 sacos de milho ha⁻¹, porém a resposta foi linear a aplicação até a dose de 169 kg ha⁻¹ de N, obtendo um fator “b” de 10,20 kg ha⁻¹ de milho. Pandolfo & Veiga (2000), num estudo da necessidade de N após ervilhaca comum, também encontraram resposta linear para doses até 180 kg ha⁻¹ de N, sendo que, no tratamento testemunha produziu 6400 kg ha⁻¹. Estas altas produtividades na testemunha não tendem a se manter por muitos anos, principalmente quando o sistema de cultivo adotado privilegia gramíneas, pois as reservas de N do solo são esgotadas, sendo que o trigo após o milho já apresentou resposta às doses de N aplicadas neste experimento. Para o milho atingir esta produtividade sem aplicação de N, foi necessário à planta absorver mais de 150 kg ha⁻¹ de N das reservas do solo, destacando a alta capacidade daquele solo em fornecer N, porém esta alternativa não é viável ao longo dos anos. Na parcela com a maior dose (240 kg ha⁻¹), foi atingida uma produtividade de 10033 kg ha⁻¹, produtividade muito acima da alcançada nos demais experimentos.

O experimento PJC1 também apresentou baixa resposta à aplicação de N, aproximadamente 7 kg de milho por kg de N aplicado, a produtividade na testemunha alcançada foi de 4200 kg ha⁻¹. Neste local a aplicação de N foi inviável economicamente (Tabela 1.5). O alto teor de MO e o déficit hídrico explicam a baixa resposta na produtividade do milho neste local.

TABELA 1.5. Equações de resposta do milho as aplicações de N, coeficientes de determinação, dose de máxima eficiência técnica e econômica, máxima eficiência técnica, Paraguai, 2005.

| Local | Equação | r^2 | Dose MET | | MET Milho |
|-------|---------------------------------|-------|--------------------------------------|-----|--------------|
| | | | N ----- Kg ha ⁻¹ ----- | | |
| M1 | $Y = 3126 + 35,85N - 0,1273N^2$ | 0,89 | 141 | 95 | 5650 |
| M2 | $Y = 1968 + 39,53N - 0,1036N^2$ | 0,98 | 191 | 135 | 5739 |
| I1 | $y = 1427 + 54,36N - 0,1217N^2$ | 1,00 | 223 | 178 | 7497 |
| I2 | $y = 2075 + 9,17N - 0,0198N^2$ | 0,85 | 232 | 0 | 3137 |
| AP2 | $y = 8831 + 5,01N$ | 0,94 | 240 | 0 | 10033 |
| PJC1 | $y = 4200 + 6,96N - 0,0097N^2$ | 0,58 | 240 | 0 | 5312 |

Em algumas situações, as aplicações de N no milho podem se tornar inviáveis economicamente, devido a condições climáticas desfavoráveis ao desenvolvimento da planta, impedindo-a expressar o potencial produtivo estimado pelo técnico ou produtos. Cabe lembrar que na agricultura existem fatores que não são controláveis e que nessas ocasiões não é culpa do produtor ou técnico o prejuízo na lavoura.

A partir das doses calculadas para o sistema com milho e trigo, pode-se fazer algumas adequações na recomendação quando outros sistemas de cultivo são adotados. Os dados que se encontram na literatura permitem uma aproximação em relação a diversos fatores que interferem na dinâmica e disponibilidade do N do solo para as plantas.

A diferenciação quanto à cultura anterior considera uma produção média de massa seca da cultura anterior, em torno de 2000 kg ha⁻¹, quando quantidades maiores são produzidas de gramíneas deve-se adicionar mais N, pois irá ocorrer maior imobilização e poderá afetar a produtividade. No caso de alta produção de leguminosas, pode-se reduzir em torno de 10 kg ha⁻¹ de N por tonelada de massa seca produzida além de duas toneladas. No caso das gramíneas, com o sistema plantio direto em implantação, deve-se aumentar a dose em 10 kg ha⁻¹ por tonelada acima de duas toneladas produzidas por ha. A utilização de leguminosas como plantas de cobertura de inverno antecedendo o milho poderão suprir altas

quantidades de N. Heinrichs et al. (2001), estudando consórcio de gramíneas e leguminosas encontraram que com a utilização da ervilhaca isoladamente foi possível atingir produtividade igual a que foi atingida com utilização de pousio invernal mais 75 kg ha^{-1} de N e, por outro lado, a utilização da aveia isolada provocou um decréscimo em relação ao pousio sem nenhuma adubação. Com a utilização de consorciação entre gramínea e leguminosa, 10 e 90% de cada espécie, respectivamente, atingiu-se produtividade estatisticamente igual à utilização isolada de leguminosa. A utilização da consorciação tem outros efeitos benéficos no sistema, pela maior produtividade de massa seca por ha, maior será a MO do solo, maior será a atividade biológica, favorecendo a vida do sistema. Aumenta também a ciclagem de nutrientes devido a diversidade do sistema radicular das espécies. Os valores de concentração de N e relação C/N já são conhecidos para muitas plantas de cobertura, principalmente para as mais utilizadas. A aveia preta apresenta $11,1 \text{ g kg}^{-1}$ e 40,3 para concentração de N e relação C/N respectivamente, enquanto a ervilhaca, apresenta $28,8 \text{ g kg}^{-1}$ e 14,8, o nabo forrageiro apresenta valores intermediários de 14,2 e 30,6 respectivamente (Aita & Giacomini, 2003). Outro fator que de forma geral tem grande influência na necessidade de N para as culturas é o teor de MO do solo, onde aproximadamente 1% tem capacidade de suprir 10 kg ha^{-1} de N para as culturas (Comissão, 2004).

A maior necessidade de N para grandes quantidades de palha de gramíneas é necessária somente nos primeiros anos de plantio direto. Esta quantidade é necessária devido à imobilização do N que ocorre pelos microorganismos no solo, porém com o tempo de adoção do sistema será possível diminuir a quantidade de N adicionado, pois o solo terá maior reserva armazenada na MO, aumentando a mineralização. Segundo Sá (1993), após o quarto ano de implantação do sistema parece ocorrer o início do equilíbrio.

TABELA 1.6. Recomendação de nitrogênio para o milho sob sistema plantio direto para o Paraguai, Paraguai, 2005.

| Cultura antecedente | MO % | Expectativa de produtividade (kg ha ⁻¹) | | | |
|-----------------------|---------|-----------------------------------------------------|-----------|-----------|-------|
| | | < 4000 | 4000-6000 | 6000-8000 | >8000 |
| | | -----kg ha ⁻¹ ----- | | | |
| Gramínea | < 2 | 70 | 100 | 130 | 160 |
| | 2 a 4 | 60 | 90 | 120 | 150 |
| | > 4 | 50 | 80 | 110 | 140 |
| Consociação ou pousio | < 2 | 60 | 90 | 120 | 150 |
| | 2 a 4 | 50 | 80 | 110 | 140 |
| | > 4 | 40 | 70 | 100 | 130 |
| Leguminosa | < 2 | 50 | 80 | 110 | 140 |
| | 2 a 4 | 40 | 70 | 100 | 130 |
| | > 4 | 30 | 60 | 90 | 120 |

Obs:

Em casos de a cultura antecedente ser o nabo forrageiro, pode-se considerá-lo como uma leguminosa, pois apresenta alta capacidade de ciclagem de nutrientes, principalmente o N e K.

Algumas destas doses podem não ser econômica na própria cultura, porém são fundamentais para manutenção das produtividades ao longo do tempo.

Uma dose de N na linha de semeadura do milho (20 a 30 kg ha⁻¹) é muito importante para proporcionar maior disponibilidade inicial para as plantas pela menor imobilização.

A quantidade em cobertura poderá ser aplicada em uma ou duas parcelas, dependendo da quantidade e das condições de clima, assim como, da expectativa de colheita em função do clima até então. Recomenda-se fazer a primeira aplicação, quando única também, quando o milho apresenta de 4-6 folhas que correspondem a aproximadamente 30-40 dias após a emergência. Esta época é fundamental, pois o milho vai definir seu potencial produtivo e a necessidade de N deve estar suprida adequadamente. A segunda aplicação de N em cobertura deve ser feita quando há expectativa de altas produtividades, altas precipitações no período e se o solo é arenoso favorável à lixiviação. A segunda aplicação em cobertura deverá ser feita quando a planta apresenta de 7-9 folhas, desta forma proporcionando disponibilidade de N para a expressão do potencial de produtividade do milho definido nos estágios anteriores.

Com o objetivo de suprir as necessidades iniciais de N do milho, aplicações antecipadas de N em plantas de cobertura podem ser feitas, mas que poderão não ser eficientes em anos de altas precipitações. Esta aplicação tem maior efeito no aumento da produção de massa seca da cultura de cobertura do que no fornecimento de N para o milho.

As aplicações em superfície de N devem ser feitas com condições adequadas para diminuir as perdas, principalmente quando a uréia é a fonte. As principais características que devem ser observadas são: a) umidade alta no solo ou expectativa de chuva próxima, b) baixa velocidade do vento; c) temperaturas não muito altas.

Altas produtividades de milho só serão obtidas quando não faltar umidade para as plantas se desenvolverem. Portanto, a utilização de altas doses de N é viável quando a cultura está sob condições de irrigação ou a região apresenta boa distribuição hídrica e suficiente durante o ciclo.

1.5 CONCLUSÕES

A cultura do trigo respondeu economicamente à dose de 35 kg ha⁻¹ de N após a soja, para produtividade em torno de 3100 kg ha⁻¹. Após a cultura do milho, o trigo respondeu economicamente até a dose de 30 kg ha⁻¹, atingindo produtividade em torno de 2100 kg ha⁻¹ de trigo.

Teor de MO maior que 4% tem capacidade de suprir quantidade suficiente de N para produtividades até 2500 kg ha⁻¹ de grãos de trigo.

O trigo respondeu ao residual de N aplicado no milho, elevando a produtividade em 500 kg ha⁻¹ com o residual de 213 kg ha⁻¹ de N aplicado no milho.

Para produtividades de 6000 kg ha⁻¹ de milho, é recomendado aplicar aproximadamente 90 kg ha⁻¹ de N no sistema plantio direto estabilizado e 130 kg ha⁻¹ na fase de estabelecimento.

Para produtividades de 8000 kg ha⁻¹ de milho recomenda-se à aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N.

A cultura do milho é muito responsiva às aplicações de N, assim como, é exigente em condições climáticas favoráveis para que as aplicações de N realmente possam potencializar a produtividade.

1.6 BIBLIOGRAFIA CITADA

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

AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **R. bras. Ci. Solo**, 27:601-612, 2003.

AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio em sistemas de cultura e preparo do solo**. Tese de Doutorado Porto Alegre-RS, 1997.

AMADO, T.J.C. & MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **R. bras. Ci. Solo**, 24:553-560, 2000.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **R. bras. Ci. Solo**, 26:241-248, 2002.

ALVAREZ V., V.H. **Avaliação da fertilidade do solo**: superfície de resposta – modelos aproximativos para expressar a relação fator resposta. Viçosa: Departamento de Solos da Universidade de Viçosa, 1991. 75p.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, 21:105-112, 1997.

BASSO, C.J. **Épocas de aplicação de nitrogênio para milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo, no sistema plantio direto.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1999. 76f. (Dissertação de mestrado).

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. & FORSTHOFER, E.L. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **R. bras. Ci. Solo**, 26:361-366, 2002.

BUZETTI, S.; SILVA, F.C.; ARF, O.; ANDRADE, J.A.daC.; SÁ, M.E.de; FURLANI, E.J. Eficiência de utilização do nitrogênio pela cultura do milho na região de ilha solteira-sp. **Anais... CDROM. FERTBIO 2000**, Santa Maria, 2000.

BREDEMEIER, C. & MUNDSTOCK, C.M. Estádios fenológicos do trigo para a adubação nitrogenada em cobertura. **R. bras. Ci. Solo**, 25:317-323, 2001.

CERETTA, C.A.; AITA, C.; BRAIDA, J.A.; PAVINATO, A. & SALET, R.L. fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **R. bras. Ci. Solo**, 18: 215-220, 1994.

COELHO, A. M. & FRANÇA, G. E. **Seja doutor do seu milho.** Arquivo do agrônomo nº 2. Piracicaba, POTAFOS. 1995. 24p.

IAPAR **Recomendações técnicas para a cultura do trigo no Paraná 1998.** Circular N^o 100 abril/98.

DA ROS, C.O. & AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **R. bras. Ci. Solo**, 20: 135-140, 1996.

DA ROS, C. O.; SALET, R.L.; PORN, R.L. & MACHADO, J.N.C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Cienc. Rur.** v.33, n.5, p. 799-804, set-out, 2003.

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

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

FANCELLI, A.L. & DOURADO NETO. D. Cultura do milho: aspectos fisiológicos e manejo da água. **Inf. Agron.** v 73, p. 1-4, 1996.

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

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

FONTOURA, S.M.V.; ALMEIDA, J.L.; WOBETO, C.; RUGEL, H.; SATTTLER, R.; SANDINI, I.E.; CLAZER, E.R. & NOVATIZKI, M.R. Reposta de cereais de inverno à adubação nitrogenada em cobertura em função da pré-cultura, na região de entre rios, Guarapuava/PR. **Anais...** CDROM. FERTBIO 2000, Santa Maria, 2000.

GOEPFERT, C.F.; SALIM, O. & MOURA, R.L. de Experimento de níveis de N, P e K e calcário, e do efeito residual da adubação e da manutenção com fósforo e potássio no rendimento de trigo em solo Camaquã. **Agron. Sulriograndense**, Porto Alegre, 10(2): 179-188, 1974.

GRIMM, S.S. **Aspectos econômicos da adubação**. Porto Alegre: Faculdade de agronomia da UFRGS, 1970. 14p. (Boletim técnico,6).

HEINRICHS, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C.; FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **R. bras. Ci. Solo**, 25:331-340, 2001.

LERA, F. L.; CANTARELLA, H.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, J. C. V. N.; LARA-CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P.C.O. Absorção pelo milho do nitrogênio aplicado antecipado ou em cobertura, em sistema de plantio direto. **Anais... CDRM. FERTBIO 2000**, Santa Maria, 2000.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: Nutrição de plantas e fertilidade do solo**. Editora agronômica Ceres. São Paulo 560p, Paraguai 1976.

MEDEIROS, J.B. de & SILVA, P.R.F. de Efeitos de níveis de nitrogênio e densidades de plantas sobre o rendimento de grãos e outras características agronômicas de duas cultivares de milho (*Zea mays L.*). **Agron. Sulriograndense**, Porto Alegre, 11 (2): 227-249, 1975.

MELLO, F.A.F.; ARZOLLA, S.; KIEHL, J.C. & NETO, J.B. Efeito de doses e modos de aplicação de uréia na produção de milho. **R. bras. Ci. Solo**, 12: 269-274, 1988.

MUNDSTOCK, C.M. & BREDEMEIER, C. **Dinâmica do afilamento afetada pela disponibilidade de nitrogênio e sua influencia na produção de espigas e grãos de trigo. R. bras. Ci. Solo**, 26: 141-149, 2002.

NOVAIS, M.V.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M. Efeito da adubação nitrogenada e seu parcelamento sobre a cultura do milho em Patos de Minas. **Revista Ceres**, Viçosa, v.21, n.115, p.193-202, 1974.

PANDOLFO, C.M. & VEIGA, M. da Necessidade de nitrogênio pelo milho em sucessão à vicia comum (*Vicia sativa*) em sistema plantio direto, no meio oeste catarinense. **Anais... CDROM. FERTBIO 2000**, Santa Maria, 2000.

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

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

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

ROLIM, M. V. & REIS R.dos A.J. Produtividade de milho sob diferentes doses de nitrogênio em sistema de plantio direto. **Anais... CDROM. FERTBIO 2000**, Santa Maria, 2000.

ROSSATO, R.R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto.** Santa Maria, UFSM, 2004. 106f. Dissertação de mestrado. (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SÁ, J.C.M. **Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto.** In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa Trigo EMBRAPA/CNPT. **Plantio direto no Brasil.** Passo Fundo, 1993. p.37-60.

SÁ, J.C.M. Estratégias de adubação das culturas em sistemas de produção sob plantio direto. **III Conferência anual de plantio direto – Resumos e Palestras.** 26 e 27 de maio de 1998, Ijuí – Rio Grande do Sul – Brasil.

SILVA, B.C. & BUZETTI, S. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays* L.) no sistema plantio direto em solo de cerrado. **Anais...** CDROM. FERTBIO 2000, Santa Maria, 2000.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

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

CAPÍTULO 2

RESUMO

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

CALIBRAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE SOLO MEHLICH 1 E RECOMENDAÇÃO DE POTÁSSIO PARA TRIGO, MILHO E SOJA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO PARA O PARAGUAI.

AUTOR: ADEMIR WENDLING

ORIENTADOR: PROF. FLÁVIO LUIZ FOLETTO ELTZ

Local e data da Defesa: Santa Maria, 08 de Agosto de 2005.

Atualmente um dos maiores desafios da agricultura é fornecer quantidades suficientes de fertilizantes para que as culturas possam expressar seu potencial de produtividade, mas que ao mesmo tempo sejam economicamente viáveis. A ferramenta mais utilizada para determinar a quantidade necessária de insumos para as culturas é a análise de solo. Através desta, avalia-se o estado de fertilidade do solo e determina-se a quantidade de nutrientes para as plantas. Para isso, são necessárias tabelas de recomendação elaboradas a partir de experimentos conduzidos no campo. Um sistema de recomendação normalmente visa suprir as necessidades das culturas e elevar os teores no solo até os níveis de suficiência. No Brasil, os estudos de calibração iniciaram na década de 60, que se estenderam até a década de 80. Nesta calibração, houve a colaboração de diversas instituições de ensino, pesquisa e extensão. Diversas atualizações foram efetuadas, caracterizando o sistema de recomendação como dinâmico e participativo, sendo aprimorado ao longo das décadas. Já no Paraguai, este processo ainda é embrionário e necessita ser iniciado urgentemente. Há possibilidade de transferência de uma grande parcela da experiência acumulada no RS e SC para o Paraguai, uma vez que existe similaridade de condições edafoclimáticas. Com o objetivo de fornecer estas informações, foram conduzidos sete experimentos em rede em quatro departamentos do país, sendo dois no departamento de Misiones, dois no departamento de Itapúa, dois no departamento de Alto Paraná e um no departamento de Amanbay. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos consistiram de cinco doses de K_2O (0,

25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹) e as aplicações foram efetuadas em superfície antes da semeadura das culturas. As adubações de N e P foram mantidas constantes e satisfatórias para atender as necessidades das culturas, utilizando-se a dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para trigo, milho e soja, 60 kg ha⁻¹ de N para o trigo e 180 kg ha⁻¹ de N para o milho. Foi determinado o teor de K no solo pelo método Mehlich 1 e o rendimento de grãos de trigo, milho e soja. Foi calculado o rendimento relativo para cada cultura. Foi adotada a equação de Mitscherlich para elaborar a curva de calibração entre os valores de potássio determinados pelo método Mehlich 1 e os valores de rendimento relativo. O teor crítico foi definido como o valor do nutriente no solo para a probabilidade de aproximadamente 90% do rendimento máximo. O teor crítico de K no solo determinado por Mehlich 1 para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai é de 74 mg dm⁻³. São necessários 5 kg ha⁻¹ de K₂O para elevar em um mg dm⁻³ o teor de potássio no solo. Em teores no solo acima de 150 mg dm⁻³, as plantas apresentam baixa probabilidade de resposta à aplicação de fertilizantes potássicos. Maiores rendimentos relativos e absolutos foram atingidos com o trigo após a soja do que após o milho.

Palavras chave: calibração Mehlich 1, curvas de resposta, teor crítico, classes de fertilidade, recomendação de K, sistema plantio direto.

ABSTRACT

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

Calibration of the Mehlich 1 soil test method and recommendation of Potassium for wheat, corn and soybean under no-tillage system in Paraguay.

AUTHOR: ADEMIR WENDLING

ADVISER: PROF. FLÁVIO LUIZ FOLETTO ELTZ

Dissertation place and date: Santa Maria, August 08, 2005.

Nowadays, one of the biggest challenge in agriculture is to provide sufficient quantities of fertilizers, so that crops may express their productivity potential, and be, at the same time, economically viable. The most used test to determine the necessary quantity of fertilizers for crops is soil test. With this tool, it is possible to evaluate the fertility status of a soil and to determine the quantity of nutrients for the plants. In order to do this, it is necessary to have recommendation tables prepared from experiments carried out in the field. A system of recommendation normally aims to supply the needs of the crops and to improve the levels in the soil until a sufficient levels are attained. In Brazil, calibration studies started in the sixties and went on until the eighties. Several institutions of teaching, research and extension helped in this calibration. Some updating were made, giving a dynamic and participative feature to the recommendation system. It also keeps improving along the decades. However, in Paraguay, this process is still embryonic and needs to be urgently started. There is the possibility of transferring a great amount of experience collected in the Brazilian States of Rio Grande do Sul and Santa Catarina to Paraguay, as there is a similarity of soil and climate conditions. However, even with this transfer, a lack of much needed information remains to complete the recommendation table. With the aim to supply this information, seven experiments were carried out in four Paraguayan Departments: two in Misiones, two in Itapua, two in Alto Parana and one in the Department of Amanbay. The experimental design was random block with three replications. Treatments consisted of five levels of K_2O (0, 25, 50, 75 e 100 kg ha^{-1}). Applications were made on the surface before seeding these crops. Fertilizations of N and P were kept constant and satisfactory to supply the crops

needs, levels used were 100 kg ha^{-1} of P_2O_5 for wheat, corn and soybean; 60 kg ha^{-1} of N for wheat and 180 kg ha^{-1} of N for corn. Potassium level was determined in soil by the Mehlich 1 method and also grain yield of wheat, corn and soybean. A relative productivity for each crop was calculated. The Mitscherlich equation was used to make calibration curve between the values of P determined by the Mehlich1 method and the values of relative productivity. The critical level was defined as the level of the nutrient in the soil for a probability of approximately 90% of maximum productivity. The critical level of K in the soil determined by Mehlich 1 for wheat, corn and soy under no-tillage system in Paraguay is 74 mg dm^{-3} . To increase one mg dm^{-3} the level of K in the soil, 5 kg ha^{-1} of K_2O are needed. In soils with levels above 150 mg dm^{-3} , plants present low probability of response to the application of potassium fertilizers. Higher relative and absolute productivity were reached with wheat after soybean than after corn.

Key words: Mehlich 1 calibration, response curves, critical level, fertility classis, K recommendation, no-tillage system.

2.1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da agricultura é fornecer quantidades suficientes de fertilizantes para as que culturas possam expressar seu potencial máximo de produtividade, mas ao mesmo tempo precisa ser economicamente viável. A ferramenta mais utilizada para determinar a quantidade necessária de insumos para as culturas é a análise de solo. A principal finalidade da análise de solo é avaliar o estado de fertilidade do mesmo e determinar a quantidade de nutrientes para as plantas, servindo de base para uma recomendação racional e econômica de corretivos e fertilizantes. Contudo, a análise de solo é viável somente se apoiada a um programa de calibração dos valores obtidos pela metodologia analítica com o rendimento das culturas (Schlindwein, 2003). Para tanto, as análises deverão ser feitas segundo as metodologias utilizadas para a calibração.

A calibração de uma metodologia de análise de solo consiste em relacionar o teor por ela determinada no solo com algum parâmetro de resposta das plantas. A partir da calibração da metodologia e as respostas das culturas são elaboradas tabelas para recomendação de fertilizantes. A elaboração de tabelas de recomendação considera a máxima eficiência econômica da utilização do elemento, assim como, a quantidade do elemento necessária para atingir níveis de suficiência do nutriente no solo, determinados anteriormente pela calibração.

No Brasil os estudos de calibração iniciaram na década de 60 (Mielniczuk et al, 1969b), sendo que se estenderam até a década de 80. Nesta calibração, houve a colaboração de diversas instituições de ensino, pesquisa e extensão. A mudança do sistema de cultivo, alteração do sistema de coleta de solo, utilização de variedades mais produtivas são razões que têm conduzido a adaptações nas recomendações de adubação e calagem. Diversas atualizações foram efetuadas, caracterizando o sistema de recomendação como dinâmico e participativo, sendo aprimorado ao longo das décadas.

Este processo ainda é embrionário no Paraguai e necessita urgentemente ter início. Há possibilidade de transferência de uma grande parcela da experiência acumulada no RS e SC para o Paraguai, uma vez que existe similaridade de condições edafoclimáticas.

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2.1 K no solo

O potássio ocorre no solo em duas formas: como componentes da fase sólida e como íon K^+ na fase líquida, solução do solo. O potássio na fase sólida faz parte da estrutura de minerais primários (feldspatos e micas) e de minerais secundários (ilitas, argilominerais interestratificados, vermiculitas) ou adsorvido na superfície de argilominerais e de compostos orgânicos. No processo de intemperização dos feldspatos potássicos e das micas, o K é liberado da estrutura destes minerais para a solução do solo (Mielniczuk, 1982). Em solos muito intemperizados das regiões tropicais, como os latossolos (oxisols), os feldspatos potássicos já podem ter sido completamente dissolvidos. Em solos menos desenvolvidos ou de regiões temperadas, estes podem ser uma importante fonte de nutriente para as plantas. As micas contêm aproximadamente 10% de K, e, com o intemperismo, originam outros minerais no solo, como a ilita, a vermiculita, a esmectita e a caulinita (argilominerais secundários), que podem conter ou não potássio. Em cada etapa de transformação ou dissolução/neoformação, há liberação de potássio para o solo, sendo que a caulinita não possui mais potássio na sua estrutura.

O potássio é um elemento pouco móvel no solo (Eltz et al., 1989; Ceretta & Pavinato, 2003). Porém sua forma catiônica apresenta comportamento muito distinto do P no solo. A fração na fase sólida do solo se encontra em torno de 95% do K total, em equilíbrio com a fase líquida, que facilmente passa de uma fração para outra.

No SPD, o K é aplicado basicamente de duas formas. A primeira é em conjunto com a semeadura, onde geralmente é feita uma adubação de diversos elementos, sendo posicionado um pouco abaixo e ao lado da posição da semente no solo para evitar a desidratação da semente. A segunda forma é feita a lanço na superfície do solo nas mais diferentes épocas do ano. Quanto à eficiência dos dois sistemas de aplicação, tem-se mostrado semelhantes quando o solo apresenta teores acima do teor crítico no solo (Wiethölter, 1996; Pöttker, 1999; Pavinato, 2004). Quando o solo apresenta teores no solo abaixo do teor crítico, aumenta a probabilidade de resposta das culturas onde a aplicação é em linha, criando uma zona de alta concentração do

elemento próximo à raiz. De maneira geral, é recomendada uma pequena dose na linha, principalmente quando se objetiva altas produtividades, dose esta que favorece o arranque inicial das plantas, fortalecendo seu crescimento, resistência a doenças e pragas e maior competição com plantas daninhas. Com a adoção do SPD, as perdas de nutrientes são diminuídas enormemente. Wendling et al. (2000) detectaram que a adoção do sistema plantio direto provoca uma redução de 95% das perdas de solo e água comparada ao solo descoberto, semelhante ao campo nativo, vegetação predominante e em equilíbrio.

2.2.2 Potássio na Planta

O potássio é um macronutriente presente nas plantas em quantidades similares ao nitrogênio. Para um ótimo crescimento, os teores adequados situam-se entre 2 a 5% do peso seco, dependendo de cada espécie, do estágio de desenvolvimento e do órgão da planta. O nutriente apresenta alta mobilidade na planta, tanto entre células, como entre tecidos e também entre diferentes partes da planta, via xilema e floema. É muito comum que o potássio seja redistribuído de folhas velhas para folhas novas.

O potássio não faz parte da estrutura química de compostos da planta, mas tem funções reguladoras muito importantes. Ele é necessário para ativar pelo menos 50 enzimas. Está ligado também ao processo fotossintético em vários níveis; participa da síntese do ATP (adenosina trifosfato – unidade de armazenamento e transporte de energia na forma química necessária aos processos celulares que requerem energia); afeta a taxa de assimilação do CO₂ e a manutenção do turgor das células – guarda, que controlam a abertura e o fechamento dos estômatos para regular a taxa de transpiração das plantas e a difusão do CO₂ atmosférico.

A deficiência de potássio não provoca sintomas imediatos visíveis. No início da deficiência, ocorre uma redução na taxa de crescimento das plantas e, mais tarde, aparecem as cloroses e necroses. Geralmente estes sintomas começam nas folhas mais velhas, pelo fato que estas suprem as folhas mais novas com potássio quando ocorre a deficiência.

2.2.3 Programa de análise de solo

Para que um programa de recomendação seja eficaz é necessário que seja feita boa amostragem de solo, laboratórios com metodologias padronizadas, seleção de métodos de análise com boa correlação entre teores determinados pela análise e algum parâmetro de planta e calibração do método a campo.

Raij (1981) diz que, para que as recomendações de adubação baseadas em análise de solo sejam eficazes são necessários vários processos: a) amostragem de solo representativa da área; b) ensaios de adubação; c) seleção de métodos eficientes de análise de solo; d) laboratórios capacitados; e) correlação entre teores no solo e respostas de culturas a nutrientes aplicados; f) estabelecimento de classes de teores de nutrientes; g) estabelecimento de níveis de adubação.

2.2.3.1 Amostragem do solo

A heterogeneidade é uma característica intrínseca dos solos devido aos fatores de sua formação. As práticas de manejo da adubação e da calagem aumentam esta heterogeneidade, dificultando a coleta de amostras representativas. A amostra deve representar a condição real média da fertilidade do solo. Ela pode representar desde um vaso de flores até muitos hectares, sendo a homogeneidade o principal fator que determina a área a ser abrangida pela amostra. Por esse motivo, todas as instruções para a coleta de solo devem ser observadas para obter amostras representativas.

A amostragem do solo é o primeiro passo para efetuar uma recomendação de fertilizantes para determinada cultura. Sua validade e eficiência são, no entanto, tanto maior quanto mais representativa da área onde se pretende instalar a cultura for a amostra enviada ao laboratório. A capacidade de uma amostra representar uma determinada área vai depender da variabilidade dos teores e do número de subamostras colhidas na área.

A variabilidade dos parâmetros indicativos da fertilidade do solo é maior no sistema plantio direto do que no preparo convencional. Isso ocorre tanto no sentido horizontal, pela permanência das linhas de adubação, como no vertical, pela formação de gradientes em profundidade, permanência de resíduos culturais na superfície e aplicação superficial de adubo e de calcário (Comissão, 2004).

Um dos requisitos básicos da avaliação da fertilidade do solo é a coleta de amostras que representam adequadamente uma determinada área. Sendo o solo um corpo heterogêneo por natureza, o seu cultivo e as adições de fertilizantes e de calcário ampliam a variabilidade espacial, nas direções vertical e horizontal. No sistema convencional em que a cada safra o solo é revolvido e as diversas camadas misturadas, a amostragem padrão é coletar a camada de 20 cm de profundidade. Porém, no SPD, a aplicação a lanço de fertilizantes e de calcário, aumenta os gradientes verticais normalmente verificados nesse sistema e a aplicação de fertilizantes na linha de semeadura, também pode gerar gradientes horizontais.

Vários estudos foram realizados na década de 90 visando determinar a profundidade ideal de amostragem e o número mínimo de subamostras para amostrar solos sob plantio direto (Anghinoni & Salet, 1998; Silveira & Stone, 2002). Tem sido observado em vários experimentos (Eltz et al., 1989; Schindwein & Anghinoni, 2000), que o sistema plantio direto forma camadas de distintas concentrações de nutrientes. Geralmente essas concentrações são maiores na camada superficial de 0 a 5 cm. Anghinoni (1999) determinou a necessidade de um mínimo 10 a 15 subamostras para compor uma amostra representativa de solo sob plantio direto. No SPD a metodologia de amostragem do solo foi alterada, passando de uma profundidade de 0 a 20cm no solo para 0 a 10cm. Porém, para iniciar o sistema, recomenda-se uma amostragem mais profunda para correção de possíveis problemas que possam estar ocorrendo em profundidade, os quais apresentarão dificuldades de correção posterior à adoção do sistema.

Na tentativa de diminuir a variabilidade das áreas de coleta, devem-se subdividir áreas grandes da propriedade em zonas homogêneas, onde se considera o tipo de solo, a topografia, a vegetação e o histórico da área (Comissão, 2004).

Atualmente num novo passo da agricultura mundial, a agricultura de precisão, as áreas vem sendo divididas e as amostragens são feitas geo-referenciadas, possibilitando dessa forma trabalhar com a variabilidade da fertilidade do solo. Através desta tecnologia, pode-se diminuir o número de subamostras para compor uma amostra, pois se estará determinando a quantidade do elemento no ponto. O ponto vai representar uma área, e a união das áreas representadas pelos diversos pontos formarão os mapas dos elementos no solo. Através dos mapas da fertilidade do solo poder-se-á fazer aplicações a taxa variáveis de acordo com o teor no solo, as necessidades da cultura, os recursos disponíveis e o interesse do agricultor.

Desta forma, é possível alocar da melhor forma os insumos de produção, reduzindo os custos, aumentando a produtividade e garantindo a permanência do homem no campo.

2.2.3.2 Laboratórios com metodologias calibradas

No RS e SC existe a Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo dos estados do RS e SC (ROLAS), que foi criada em 1969 com o objetivo de uniformizar as metodologias de análise. Na rede são feitas reuniões anuais onde são discutidos: metodologia de análise, interpretação de resultados analíticos, recomendações de adubação e controle de qualidade intra e inter laboratórios por amostras padrão (Tedesco, 1995). Foi adotada uma metodologia padrão nos laboratórios que fazem parte da ROLAS em 1973, com base na proposição de métodos de análise de (Mielniczuk et al., 1969b). Em 1987 foi introduzida a determinação de textura (Tedesco, 1984).

No Paraguai em 2004 foi criada a Red Nacional de Laboratórios de Suelo (RENALAS). Atualmente estão associados à rede os seguintes laboratórios de análise de solo: Facultad Asunción, IAN, CRIA, Facultad P.J.Caballero, Escuela Agrícola Concepcion, Facultad Caazapa, Cana de azucar, Facultad Ciudad del Este, SUELOANALISIS, Facultad Hoenau, TROCIUK, Facultad Pilar y CETAPAR. Até o momento, foram realizados dois seminários com o objetivo de padronizar as metodologias utilizadas nos laboratórios associados e estão sendo realizados trabalhos iniciais de controle de qualidade das análises feitas por estes laboratórios.

2.2.3.3 Determinação do método

Basicamente a seleção de um ou mais métodos de análise de solo consiste na identificação daquele(s) método(s) com baixo custo, praticidade de execução em laboratório e mecanismos de extração dos nutrientes do solo que possam ser correlacionados e cujos valores se correlacionam com os parâmetros de plantas (Corey, 1987). Geralmente os estudos de correlação são feitos em casa de vegetação, onde são utilizados aqueles solos mais representativos de uma determinada região na qual se pretende implantar um sistema de recomendação de adubação pela análise de solo. Além disso, é de vital importância que estes solos

tenham diferentes níveis de fertilidade visando a identificação dos métodos que apresentam altas correlações entre os nutrientes extraídos pelo método e os nutrientes absorvidos pelas plantas (Corey, 1987; Dahnke & Olson, 1990; Mielniczuk, 1995). Os estudos de correlação em casa-de-vegetação apresentam algumas vantagens como o controle dos fatores de crescimento, a possibilidade de cultivo em qualquer época do ano e a utilização de um grande número de solos em um espaço reduzido, entre outras. Os estudos de correlação em casa de vegetação são válidos somente para a seleção do método a ser calibrado, pois as respostas das plantas cultivadas em vasos são normalmente menores do que aquelas cultivadas a campo, considerando a competição das raízes pelos nutrientes e efeitos do sistema radicular sobre a disponibilidade de nutrientes (Corey, 1987). Para a sua determinação, são conduzidos experimentos em casa de vegetação e relaciona-se a capacidade que os diferentes métodos apresentam em extrair o elemento em estudo com a proporcionalidade na absorção pelas plantas, sendo que para tal se mede o coeficiente de determinação (r^2) entre os dois. Uma vez selecionado o método a ser calibrado iniciam-se os trabalhos de calibração.

O método de análise de solo Mehlich 1, Carolina do Norte ou Duplo ácido, é o método de análise de solo padrão adotado nos laboratórios do Rio Grande do Sul e Santa Catarina-Brasil, sendo que também foi adotado para este estudo. O método é utilizado por apresentar boa correlação entre os teores determinados no solo e os rendimentos das culturas, baixo custo e praticidade de análise de rotina em laboratório (Anghinoni & Wolkweiss, 1984; Mielniczuk, 1995). Baseia-se na solubilização do K pelo efeito do pH da solução (entre 2 e 3), deslocando a maior parte do K trocável do solo.

Uma série de estudos foram conduzidos no decorrer das décadas para encontrar o melhor método de análise de solo, ou seja, o método que apresenta o maior r^2 em relação ao K absorvidos pela planta (Anderson & Morgensen, 1962; Galvão & Wolkweiss, 1981; Schlindwen, 2003). De maneira geral, todos encontraram boa correlação para o método Mehlich 1. Devido a este fato, o método foi adotado para este estudo, pois atende a boa correlação entre análise e o rendimento das culturas, apresenta baixo custo e praticidade em laboratório.

2.2.3.4 Calibração do método de análise Mehlich 1

Pode-se utilizar um método de análise para recomendação de adubação se o método utilizado apresenta correlação entre o resultado analítico e a resposta das culturas (Raij, 1981).

A calibração de um método de análise do solo refere-se em relacionar ou determinar o teor de um determinado elemento no solo, o qual é obtido por uma determinada metodologia de análise de solo, com um ou mais parâmetros de plantas cultivadas a campo, por exemplo, índice de crescimento, produção da cultura, em condições naturais de produção (Anghinoni & Volkweiss, 1984; Dahnke & Olson, 1990).

Para a calibração do método de análise selecionado, experimentos devem ser conduzidos durante vários anos e em vários locais. Geralmente esses locais são os mais representativos dos solos da região em estudo. Nos estudos de calibração utiliza-se o rendimento relativo das culturas, que é obtido pela relação entre o rendimento da cultura sem a aplicação do fertilizante pela máxima eficiência técnica da cultura com o nutriente. Raij (1991) destaca que o rendimento relativo somente é empregado na fase de calibração dos teores dos nutrientes no solo. Desta fase em diante, as produções absolutas são utilizadas para estabelecer as doses de fertilizantes.

2.2.3.4.1 Determinação do teor crítico e faixas de fertilidade

Para a determinação do teor crítico do nutriente no solo pode-se utilizar o método gráfico ou matemático (Cate & Nelson, 1965, 1973). Pelo método gráfico, os pontos são graficados num quadrante x e y, relacionando os teores determinados no solo pelo método em estudo no eixo x e no eixo y os rendimentos relativos encontrados pelas culturas em estudo. Após os pontos no gráfico, move-se um filme plástico transparente com duas linhas traçadas perpendicularmente, uma paralela ao eixo x e uma ao eixo y, de forma que o máximo de pontos caiam em quadrantes opostos, onde a linha paralela ao eixo y toca o eixo x denomina-se o teor crítico do nutriente no solo (Raij, 1981; Schlindwein, 2003). Matematicamente se ajusta uma equação aos dados de rendimento relativo e os teores determinados no solo, onde se escolhe a equação que melhor se ajusta aos dados, usando como critérios o r^2 e

a resposta biológica das plantas. Neste caso, pode-se detectar o teor crítico de duas formas: pelo ponto de inflexão da curva que separa a alta probabilidade de resposta das plantas da baixa probabilidade de resposta aos teores no solo, ou pela adoção de um valor entre 80 e 95% do rendimento relativo (Kochmann, 1982). Na calibração feita nos estados do RS e SC, foi utilizado o rendimento relativo de 90% para definição do teor crítico no solo (Mielniczuk et al., 1969 a, b; Universidade..., 1973; Tabelas..., 1976; Manual..., 1981; Siqueira et al., 1987; Comissão..., 1989, 1995, 2004; Raij et al., 1997; Schlindwein, 2003).

A determinação de faixas de fertilidade pode ser obtida pela subdivisão do rendimento relativo Raij et al. (1997), ou pela subdivisão dos teores no solo em quantidades eqüidistantes (Mielniczuk et al., 1969 a, b; Universidade..., 1973; Tabelas..., 1976; Manual..., 1981; Siqueira et al., 1987; Comissão..., 1989, 1995, 2004; Schlindwein, 2003).

2.2.3.4.2 Interpretação e recomendação

As recomendações de fertilizantes devem ser orientadas pelos teores dos nutrientes determinados na análise de solo, que são interpretadas geralmente em três a cinco níveis, que vão de “muito baixa” (MB), “baixo” (B), “médio” (M), “alto” (A) e “muito alto” (MA). A partir da interpretação do nutriente no solo se faz a recomendação para a(s) cultura(s) de acordo com determinada filosofia. As filosofias utilizadas para a elaboração de fertilizantes tem sido basicamente de construção da fertilidade e manutenção da mesma em teores adequados, geralmente na faixa de fertilidade “alta”.

2.3.4 Sistema de recomendação de fertilizantes no Paraguai

O Paraguai, um país com uma história de agricultura recente, tem uma recomendação feita na década de 90 (Fatecha, 1999), que visa somente a adubação da cultura e foi feita para o sistema convencional de preparo do solo. Outras recomendações utilizadas no país são de diferentes locais do Brasil como do Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo e Minas Gerais, assim como da Argentina. Estas não foram testadas e calibradas, ficando a dúvida sobre a sua validade. Atualmente

mais de 60% de toda área cultivada do país esta sob condições de SPD de cultivo onde a dinâmica dos nutrientes é distinta, principalmente do nitrogênio.

Com o objetivo de obter informações para uma recomendação inicial de fertilizantes para o Paraguai, em 2003 se iniciou um projeto de condução de vários experimentos em diferentes locais e por vários anos com as principais culturas de grãos do país sob SPD. Os trabalhos vem sendo conduzidos em conjunto com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Câmara Paraguaia de Exportadores de Cereales e Oleaginosas (CAPECO), instituições de pesquisa, Cooperativas e produtores rurais do Paraguai. Esta dissertação foi elaborada com os dados de N e K desses experimentos até a safra de trigo de 2004. Os experimentos continuam sendo conduzidos e novos serão introduzidos para que a calibração fique ainda mais confiável, caracterizando o processo como dinâmico e participativo, aprimorado ao longo dos anos.

No Rio Grande do Sul existe um sistema de calibração e recomendação de fertilizantes e calagem que vem sendo aperfeiçoado desde a primeira aproximação que foi proposta por Mohr (1950). A partir desta data vários avanços foram feitos para o aperfeiçoamento deste sistema iniciado. Um aspecto muito importante deste período foi a criação da ROLAS (Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solo e Tecido Vegetal do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina) em 1968, tendo sido esta responsável pelos aperfeiçoamentos nas recomendações até a versão de 1981 (ROLAS, 1981). A década de 70 ainda foi importante pela adesão do Estado de Santa Catarina a ROLAS em 1972 (Tedesco et al., 1994), pelo início do controle de qualidade da ROLAS no mesmo ano e pela elaboração da quarta (UFRGS, 1973) e quinta (Tabelas, 1976) recomendações. Na década de 80 ocorreram três aperfeiçoamentos. A sexta versão (ROLAS, 1981) introduziu significativos aperfeiçoamentos em várias culturas e foi a última versão elaborada pela ROLAS, tendo sido, a partir da sétima versão, passado à Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC (Siqueira et al., 1987). A versão proposta em 1987 modificou substancialmente a filosofia de recomendação, passando de um sistema de adubação corretiva e de manutenção, para um sistema misto (correção gradual ao longo dos anos e reposição), no qual o objetivo é atingir os níveis de suficiência de P e K em três culturas ou anos e a adubação destinada ao programa de rotação de culturas planejado, com base à resposta econômica ao fertilizante (Siqueira et al., 1987). A oitava versão (Comissão, 1989) inseriu aperfeiçoamentos sem alterar

substancialmente a versão de 1987. Em 2004 foi lançada a versão utilizada atualmente (Comissão, 2004), a qual modificou os teores críticos de K no solo, passando de 80 mg dm^{-3} para 45, 60 e 90 para CTC no solo de até 5, de 5 a 15 e maior que $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ respectivamente. Depreende-se, pois, que o sistema de recomendação no Sul do Brasil é dinâmico e participativo, sendo aprimorado ao longo das décadas.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1 Clima

O clima desta Região é tropical a sub-tropical úmido, mesotérmico, com verões quentes e invernos com geadas ocasionais. A precipitação anual oscila entre 1300 mm ao Oeste e 1900 mm ao Leste, com uma média anual de 1700 mm. A temperatura média mensal do ar é de 18 a 28 °C, com temperaturas médias mínimas de 15 °C e médias máximas de 30 °C (Abate, 2000).

2.3.2 Descrição dos experimentos

Os solos do país são predominantemente Alfisols e Ultisols (ocupam 65% das terras), seguidos com 16% de Entisols, sendo encontrados também Inceptisols, Oxisols, entre outros (López et al., 1995). Foram conduzidos sete experimentos em rede em quatro departamentos do país, sendo dois no departamento de Misiones (M1 e M2), dois no departamento de Itapúa (I1 e I2), dois no departamento de Alto Paraná (AP1 e AP2) e um no departamento de Amanbay (PJC1). Nem todos os locais tiveram as mesmas safras conduzidas. A safra do trigo de 2003 foi conduzida somente no M1 e I1, a safra do milho foi conduzido em todos os experimentos à exceção do AP1 e o trigo de 2004 em todos com exceção de M2. As características dos dois experimentos de Misiones são bastante semelhantes, tanto que foram conduzidos na mesma propriedade, do Engenheiro Agrônomo Fabian Pereira (Lactosur), no distrito de San Patrício. O solo predominante na região é o Ultisol (López et al., 1995), com terrenos suavemente ondulados e a vegetação predominante são os campos nativos. Segundo levantamento de Fatecha (2004), o Departamento apresenta fertilidade média baixa, assim como no distrito de San Patrício. O experimento M1, localizado a 26° 59' 55,29266" S e 56° 45' 01,75456" WO (WGS1984), tem área cultivada há vários anos sobre plantio direto, com algumas retiradas de silagem utilizadas para alimentação animal. As características

químicas e o teor de argila se encontram no anexo 2. O experimento foi instalado em abril de 2003, sendo conduzidas três safras, inverno de 2003, verão 2003/04 e inverno de 2004, sendo a cultura de inverno o trigo e de verão o milho e a soja.

O experimento M2 foi implantado sobre uma área de pastagem de braquiaria, que foi dessecada para iniciar a produtividade de grãos. Apresentava alta quantidade de palha sobre a superfície, impossibilitando a semeadura do trigo no inverno de 2003, sendo então a primeira safra a de verão de 2003/04 com as culturas de milho e soja. As características químicas estão no anexo 2, assim com o teor de argila. A localização geográfica do experimento é 26° 59' 05,48726" S e 56° 44' 10,69358" WO (WGS1984).

No Departamento de Itapúa o experimento de I1 foi implantado na propriedade do Senhor Rudi Dressler, no município de Bela Vista com posição geográfica de 26° 56' 07,09384" S e 55° 38' 03,81347" WO (WGS1984). A vegetação natural predominante são as florestas tropicais e os solos predominantes na região são os Oxisols (López et al., 1995). No distrito vizinho de Bela Vista, Obligado, a fertilidade foi classificada como alta, classe na qual se enquadra a média do Departamento de Itapúa (Fatecha, 2004). O experimento foi instalado juntamente com os experimentos de Misiones e nele foram conduzidas três safras, inverno de 2003, verão 2003/04 e inverno de 2004, a cultura de inverno foi o trigo e as de verão foram o milho e a soja. A área se encontra sob plantio direto há mais de 15 anos e apresenta alta fertilidade, conforme anexo 2. Conforme relatos do produtor, vem obtendo altas produtividades nas culturas conduzidas na área.

O experimento I2 foi implantado na propriedade do Senhor Eugênio Mañko na localidade de Fram, localizado a 27° 08' 54,11744" S e 56° 03' 46,26738" WO (WGS1984). Segundo classificação de Fatecha (2004), os solos do distrito em média são de alta fertilidade. Os solos predominantes da região são Ultisol (López et al., 1995), na área de condução do experimento é um Ultisol, a vegetação natural predominante são as florestas, com alguns campos nativos nas partes mais baixas dos terrenos, que é suavemente ondulado. Este experimento foi instalado em outubro de 2003, antes da safra de verão. Foram conduzidas duas safras, a do verão de 2003/04 com milho e soja e a de inverno de 2004 com trigo. A área se encontrava sob pousio invernal com baixa produção de palha sobre a superfície. Segundo relatos do produtor, a área foi muito degradada quando estava sob sistema

convencional de cultivo, razão pela qual vem obtendo rendimentos não muito altos, assim como os baixos níveis de fósforo e MO são herança do sistema de cultivo adotado por muitos anos. Atualmente vem sendo conduzida sob o sistema plantio direto.

No departamento do Alto Paraná, o primeiro experimento instalado foi o AP1, instalado também em outubro de 2003. Foi instalado no Centro Tecnológico Agropecuário en Paraguai (CETAPAR) na localidade de Iguazu, localizado 25° 27' 23,15682" S e 55° 02' 49,16350" WO (WGS1984). Os solos do distrito foram classificados de média fertilidade, assim de todo o Departamento de Alto Paraná (Fatecha, 2004). Solos predominantes na região são Oxisols (López et al., 1995), e o terreno da região é suavemente ondulado. A área está sob condução de sistema plantio direto há vários anos. No local foram conduzidas duas safras, a de verão de 2003/04, onde foi conduzida somente a cultura da soja, devido a um herbicida que foi aplicado antes da escolha da área para condução do experimento, que era seletivo a gramíneas, e a de inverno de 2004 com a cultura de trigo. A área apresenta valores intermediários de fertilidade conforme pode ser observado no anexo 2.

O experimento AP2 também foi instalado em outubro de 2003, na Cooperativa de Producción Agropecuária de Naranjal Ltda (COPRONAR), no distrito de Naranjal, localizado a 25° 58' 07,17126" S e 55° 12' 48,79724" WO (WGS1984). Fatecha (2004) classificou os solos do distrito como de média fertilidade. O solo da unidade experimental é um Oxisol. A vegetação natural predominante são florestas tropicais densas. Foram conduzidas duas safras no local, a de verão de 2003/04 com milho e soja e a de inverno de 2004 com trigo. A área vem sob sistema plantio direto por vários anos, porém não vinha sofrendo altas adubações, pois estava sob arrendamento. Apesar disso, apresenta altos valores de MO (anexo 2), fato comum nas lavouras da região.

O experimento PJC1 instalado no Departamento de Amambay na localidade Colonia Raúl Ocampos Rojas (Chiriguelo), no campo experimental da Facultad de Ciencias Agrarias, sede Pedro Juan Caballero, localizado a 22° 39' 17,67833" S e 55° 53' 36,43726" WO (WGS1984). Os solos do Departamento Amambay são de média fertilidade assim como do distrito de Pedro Juan Cabalero (Fatecha, 2004). O solo da unidade experimental é um Oxisol, o terreno é suavemente ondulado e a vegetação natural predominante é a floresta tropical. A área foi desmatada há

poucos anos e estava sob grama missioneira e pastejo de bovinos. No ano de 2002 foi limpa, iniciando-se a produção de grãos. O local apresenta altos teores de K e MO e baixo de fósforo, fato comum nas lavouras da região. O experimento foi instalado em outubro de 2003, sendo conduzidas duas safras, a de verão de 2003/04 com milho e soja e a de inverno de 2004 com trigo.

2.3.3 Delineamento, unidades experimentais e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com três repetições, conforme anexo 1. As dimensões das parcelas experimentais foram de 5m por 8m. Os tratamentos consistiram de cinco doses de K_2O (0, 25, 50, 75 e 100 $kg\ ha^{-1}$) com as aplicações sendo efetuadas em superfície antes da semeadura das culturas. As doses foram aplicadas safra após safra na mesma quantidade nas mesmas parcelas. Foram aplicadas 3 doses nos experimentos M1, M2 e I1, a primeira no trigo de 2003, a segunda na safra milho/soja de 2003/04 e a terceira no trigo de 2004. Os tratamentos com 100 $kg\ ha^{-1}$ foram implantados após a primeira safra de trigo, sendo aplicadas somente duas doses. Nos experimentos I2, AP1, AP2 e PJC1 foram aplicadas duas doses, sendo a primeira antes da safra de milho e soja 2003/04 e a segunda na safra de trigo de 2004.

2.3.4 Semeadura, condução e colheita

Todos os experimentos foram conduzidos em sistema de plantio direto. As semeaduras foram efetuadas nas épocas recomendadas objetivando atingir as máximas produções das culturas. O trigo foi semeado em meados de maio tanto 2003 como 2004. O milho e a soja foram implantados na primeira semana de novembro de 2003. As cultivares utilizadas foram as mais semeadas e produtivas das regiões de condução dos experimentos (anexo 5).

As adubações de N e P foram mantidas constantes e satisfatórias para atender as necessidades das culturas, utilizando-se a dose de 100 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 para trigo, milho e soja, 60 $kg\ ha^{-1}$ de N para o trigo e 180 $kg\ ha^{-1}$ de N para o milho, sendo 30 na semeadura e 150 em cobertura 40 dias após a semeadura. As fontes

utilizadas foram o superfosfato triplo (46% de P_2O_5) e a uréia (45% de N). A fonte de K utilizada foi o cloreto de potássio (60% de K_2O). Os tratos culturais foram efetuados para a cultura expressar seu máximo potencial produtivo.

As aplicações de P, K e N no trigo foram feitas a lanço. Para tal as parcelas foram delimitadas nos quatro limites, delimitando exatamente a área para a aplicação. A aplicação de nitrogênio em cobertura do milho foi efetuada na linha com o auxílio de uma adubadora manual, a qual foi regulada para aplicação de 150 kg ha^{-1} .

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

2.3.5 Coletas de solo e análises

As coletas de solos foram efetuadas após a colheita das culturas, sendo efetuadas dez sub-amostras de 0 a 10cm de profundidade por parcela compondo a amostra representativa da parcela. Todos as parcelas e todos os tratamentos foram amostrados após cada cultivo. Nos experimentos M1 e M2, a coleta após o trigo de 2004 foi antecipada, sendo efetuada no enchimento de grãos da cultura do trigo.

As análises foram feitas segundo a metodologia descrita por TEDESCO (1995), anexo 6.

2.3.6 Determinação do rendimento relativo (RR) das culturas

O rendimento relativo das culturas foi obtido pela relação:

$$RR = (\text{Fator "a" da equação} * 100) / \text{MET (equação 1)}$$

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

2.3.7 Calibração

A curva de calibração foi obtida pela relação entre os valores de potássio determinados pelo método Mehlich 1 e os valores de rendimento relativo calculado pela equação 1.

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

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

Onde:

y representa o rendimento relativo,

A representa a produtividade máxima,

b é o coeficiente de eficácia do elemento,

x é a quantidade de nutriente em kg ha^{-1} .

O teor crítico foi definido como o valor do nutriente no solo para a probabilidade de aproximadamente 90% do rendimento máximo, como foi definido nos Programas de Adubação no RS e SC (Mielniczuk et al. 1969a, b; Universidade..., 1973;

Tabelas..., 1976; Manual..., 1981; Siqueira et al., 1987; Comissão..., 1989, 1995, 2004; Schlindwein, 2003).

O teor crítico foi ajustado para adequar classes de teores eqüidistantes, denominadas “muito baixo”, “baixo” e “médio” abaixo do teor crítico. Acima do teor crítico, também foram estabelecidas duas classes de fertilidade, onde o teor crítico foi multiplicado por dois obtendo-se o limite entre as duas faixas, denominadas “alto” e “muito alto”.

Foram calculadas doses de fertilizantes de K_2O para a correção do teor de K no solo, doses necessárias para a manutenção do K no solo acima do teor crítico e doses de reposição. As doses de correção são calculadas para atingir valores acima do teor crítico em três cultivos.

A quantificação da dose de K_2O para as faixas de fertilidade, muito baixa, baixa e média, foi obtida multiplicando-se a quantidade necessária para elevar o teor em 1 mg dm^{-3} no solo pela diferença entre o valor do teor crítico e o valor intermediário da faixa de fertilidade em estudo. Este valor foi dividido por três cultivos, sendo que, se aplicará aproximadamente 50%, 30% e 20% do total no primeiro, segundo e terceiro cultivos, respectivamente.

2.3.8 Recomendação de fertilizantes

Para estimativa do poder tampão do solo ao potássio, elaborou-se as equações de resposta no solo às aplicações de K, onde foi utilizada a quantidade acumulada de potássio aplicada pelos teores encontrados no solo. Desta forma, foi obtido o fator “b” das equações lineares que corresponde aos mg dm^{-3} elevados por kg ha^{-1} de K_2O aplicado. O cálculo para obter a quantidade de kg de K_2O necessários para elevar um mg dm^{-3} o K no solo foi realizado através de regra de três simples.

As doses de manutenção foram obtidas a partir da exportação de nutrientes por cada cultura multiplicadas por um fator de segurança de 25% para garantir a manutenção do teor no solo suprindo eventuais perdas no sistema.

Doses de reposição são iguais às quantidades exportadas pelos grãos na referente cultura.

Em casos de teores no solo na faixa muito alto, a aplicação de K_2O é opcional por duas a três safras, até uma próxima análise.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 Produtividade das culturas em função das doses de potássio

Devido aos altos teores de potássio encontrados em 5 dos sete experimentos conduzidos no período, as respostas do trigo, milho e soja foram muito baixas ou não existiram na maioria dos locais e safras. Os dois experimentos do Departamento de Misiones (M1 e M2), com solos mais arenosos e teores teores mais baixos de K, apresentaram respostas à adubação potássica chegando a um rendimento relativo de 53% na testemunha do milho da safra de 2003-04 em M1 (Tabela 2.1).

2.4.1.1 Produtividade do trigo

Na safra de trigo de 2003 (Figura 2.1), podemos observar uma grande diferença nas produtividades dos dois experimentos, com baixa resposta à aplicação de potássio em ambos. O fato da aplicação ter sido feita a lanço na superfície do solo na semeadura do trigo, pode ser uma causa da baixa resposta no experimento M1. A difusão é o processo de maior influência na absorção de K pelas plantas e é diretamente afetada pela disponibilidade de água no solo. Como as aplicações foram feitas superficialmente e as precipitações no período foram baixas, as raízes tiveram pouco contato com o potássio aplicado.

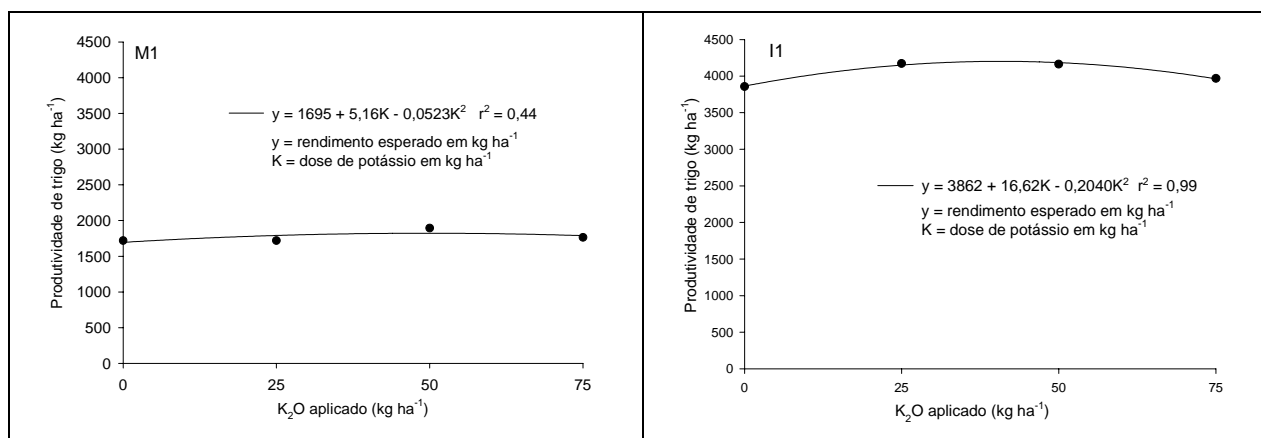


FIGURA 2.1. Produtividade de grãos de trigo, equação de resposta das culturas e coeficiente de correlação em função das doses de potássio adicionadas, Paraguai 2003.

Na safra de trigo de 2004 no experimento M1 (Figura 2.2), a cultura do trigo respondeu mais à aplicação de K em relação a 2003. Nesta safra já havia um residual de K aplicado na cultura do trigo 2003 e milho/soja de 2003/04, que provavelmente tenha contribuído para a resposta das plantas. Essas doses elevaram o teor no solo após o milho até aproximadamente 68 mg dm^{-3} com duas aplicações de 75 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 2.7), enquanto na testemunha apresentava 37 mg dm^{-3} (Figura 2.7).

O rendimento relativo do trigo após a soja na dose testemunha foi de 73,9 % sendo o teor no solo de 49 mg dm^{-3} , atingindo produtividade de 2322 kg ha^{-1} com 97 kg ha^{-1} de K_2O (Tabela 2.1). A produção após o milho atingiu 2400 kg ha^{-1} com dose de 100 kg ha^{-1} de K_2O e um rendimento relativo de 56%. Neste local pode-se perceber a menor disponibilidade no solo após o milho, o que provocou menor RR na parcela testemunha (Tabela 2.1). A equação que melhor se ajustou aos dados de trigo após a soja no experimento M1 foi a quadrática, apresentando um retorno de $12,42 \text{ kg}$ de trigo por kg de K_2O aplicado (Figura 2.3). Por outro lado, a equação que se ajustou melhor aos dados do trigo após o milho foi a linear, com um fator “b” de $10,56$ (Figura 2.2).

A cultura do trigo no experimento I1 não apresentou nenhuma resposta à aplicação de K (Figura 2.2 e 2.3), mostrando o alto potencial que o solo apresenta em fornecer quantidades suficientes de K para as culturas mesmo após duas, três ou até mais safras consecutivas sem aplicação do elemento. No experimento I2, o

comportamento foi igual ao I1, ou seja, o trigo não respondeu às doses de K, caracterizando a alta capacidade de suprimento do elemento nos solos da região de Itapúa.

No experimento AP1, AP2 e PJC, locais com teores de K no solo muito altos, duas vezes acima do teor crítico, não ocorreu resposta do trigo às doses de K após o milho e após a soja (Tabela 2.1).

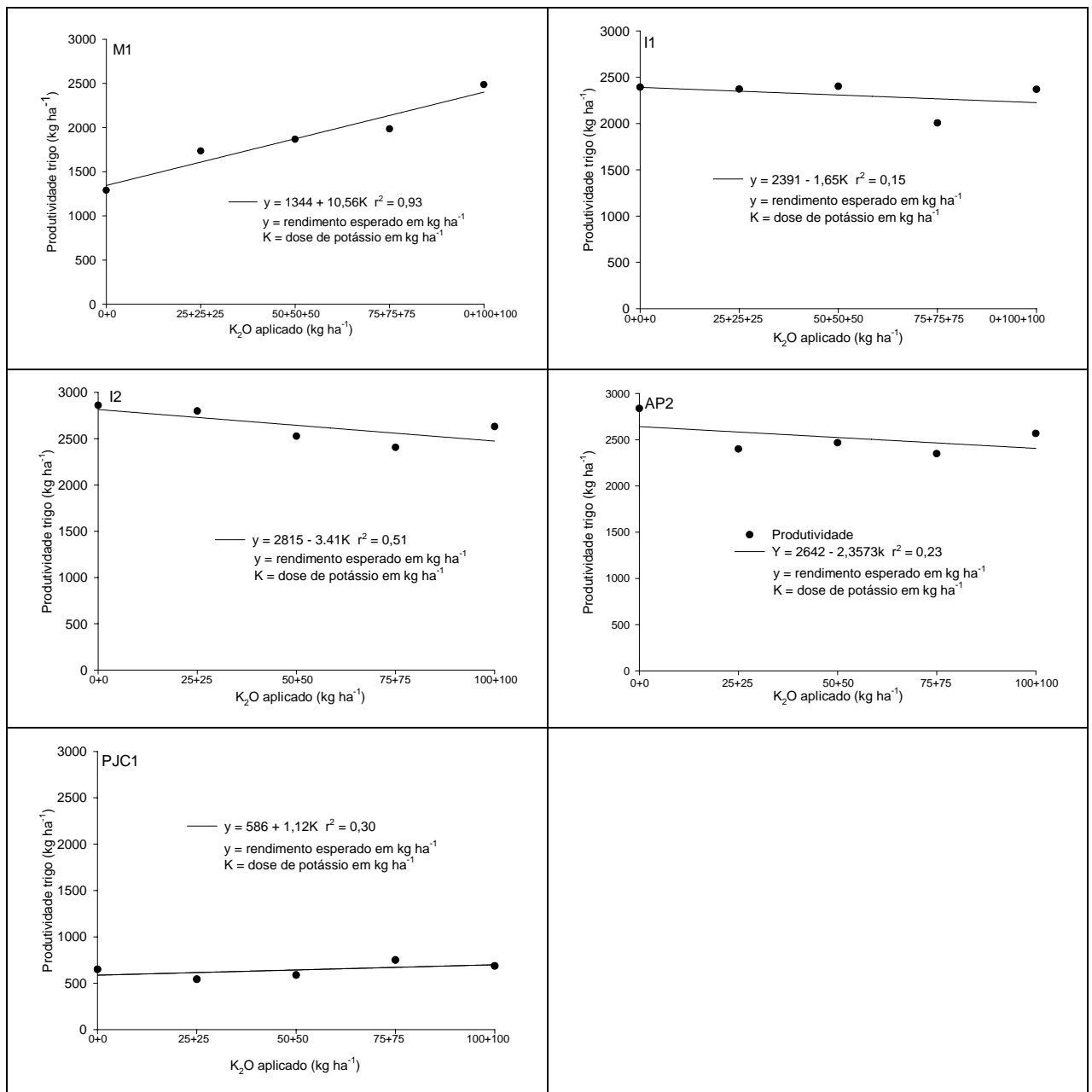


FIGURA 2.2. Produtividade de grãos de trigo após o milho, equação de resposta das culturas e coeficiente de correlação em função das doses de potássio adicionadas, Paraguai, 2004.

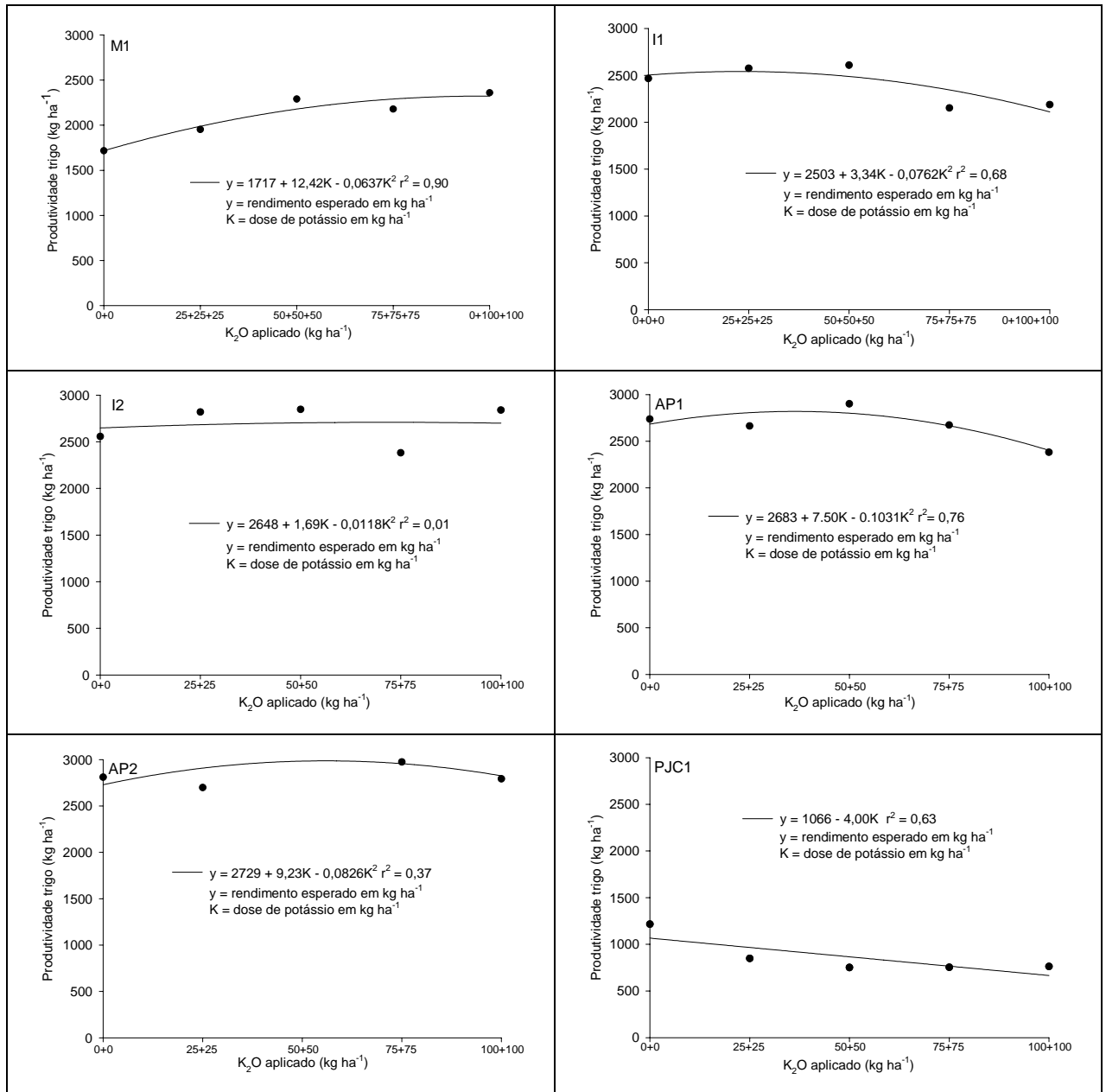


FIGURA 2.3. Produtividade de grãos de trigo após a soja, equação de resposta das culturas e coeficiente de correlação em função das doses de potássio adicionadas, Paraguai, 2004.

2.4.1.2 Produtividade do milho

O experimento M1 teve uma resposta bastante grande à aplicação de K, sendo que aumentou a produtividade em até 883 kg ha⁻¹ (Figura 2.4). Foi ajustada uma equação quadrática aos dados, onde a MET não foi atingida até a dose máxima de 100 kg ha⁻¹. A resposta por kg de K₂O aplicado foi de 11,70 kg de milho (Figura 2.4), semelhante aos valores encontrados no trigo de 2004 (Figura 2.2 e 2.3).

A maior resposta foi encontrada no M2 com um aumento de 926 kg ha⁻¹ de milho com uma dose de 71 kg ha⁻¹ de K₂O. A equação que melhor se ajustou aos dados foi uma quadrática, com um fator “b” de 25,96 (Figura 2.4).

Apesar do teor de K no solo nos dois experimentos ser diferente na parcela testemunha, onde M1 apresentou 50, contra 130 mg dm⁻³ no M2, os rendimentos relativos foram semelhantes nos dois, em torno de 81% (Tabela 2.1). Porém M1 apresenta uma inclinação de curva diferente de M2, ou seja, sua resposta continua crescente acima das doses aplicadas, demonstrando que a dose não foi o suficiente para atingir a máxima eficiência técnica.

Os experimentos I1, I2, AP2 e PJC1 apresentaram rendimento relativo acima de 90%, mostrando a baixa probabilidade de resposta com altos teores de K no solo, conforme pode ser observado na tabela 2.1 Mielniczuk (1969a) também observou ausência de resposta das culturas quando o solo apresenta elevados teores do elemento extraível no solo.

2.4.1.3. Produtividade da soja

A soja não se apresentou tão responsiva a aplicação de K₂O como o milho, com o rendimento relativo de 89,3% no M1 a 96,3 no M2. Ambos atingiram estes patamares de produção com a dose de 52 kg ha⁻¹ (Tabela 2.1). Como as produtividades atingidas não foram muito altas, as plantas de soja não necessitaram de alta quantidade de K para completar seu ciclo. Isto pode ser um fator que contribuiu para a menor resposta em relação ao milho que necessita absorver altas quantidades de K para desenvolver a planta e produzir grãos.

Novamente as respostas dos I1, I2, AP1, AP2 e PJC1 foram muito baixas, ou inexistentes, apresentando rendimento relativo acima de 90% (Tabela 2.1). Além disso, I2, AP1 e PJC apresentaram decréscimo de produtividade com incremento do

fertilizante, porém os coeficientes de correlação das equações foram muito baixos, demonstrando a baixa correlação entre a dose e as produtividades. VIDOR et al. (1973) não encontraram nenhuma resposta de produtividade da soja com a aplicação de K, devido aos teores no solo estarem acima do 80 mg dm^{-3} nos solos em estudo.

Estes resultados são muito importantes para a agricultura do Paraguai. Como se pode observar, grande parte das terras estão com um teor de K muito alto no solo, onde é possível reduzir ou até eliminar as adubações potássicas. Esta é uma estratégia recomendável em anos onde a expectativa de preço é baixa, ou em safras após uma frustração de safra, onde as condições financeiras dos agricultores geralmente são baixas, podendo-se então economizar um fator que não irá reduzir a produtividade. Cabe lembrar que quanto menores as adubações, mais rápido será o esgotamento da reserva do nutriente no solo, mais cedo será necessário adotar adubações de manutenção. O que o agricultor tem na verdade é uma reserva de nutrientes que poderá ser aproveitada em anos de necessidade.

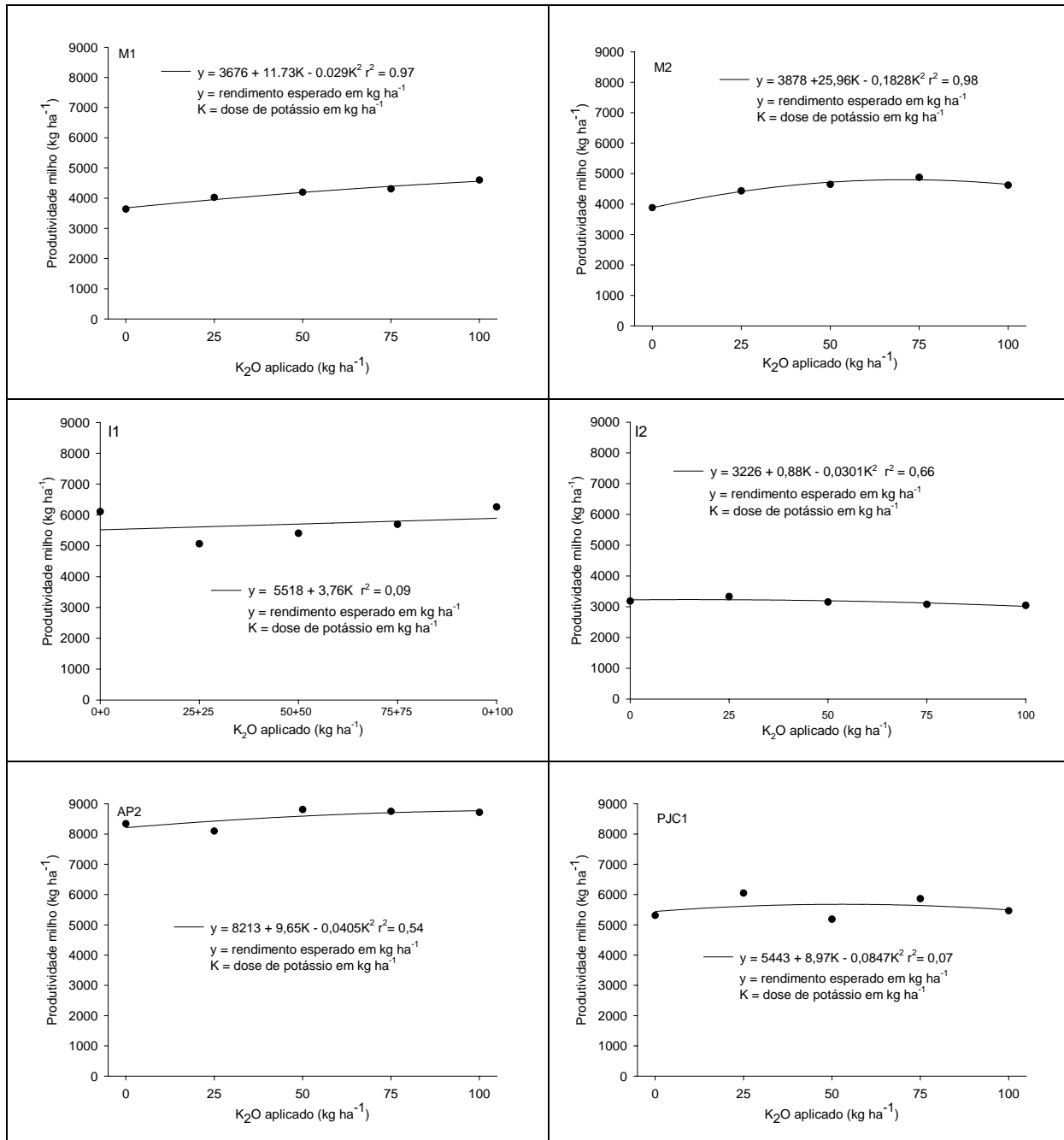


FIGURA 2.4. Produtividade de grãos de milho, equação de resposta das culturas e coeficiente de correlação em função das doses de potássio adicionadas, Paraguai 2004.

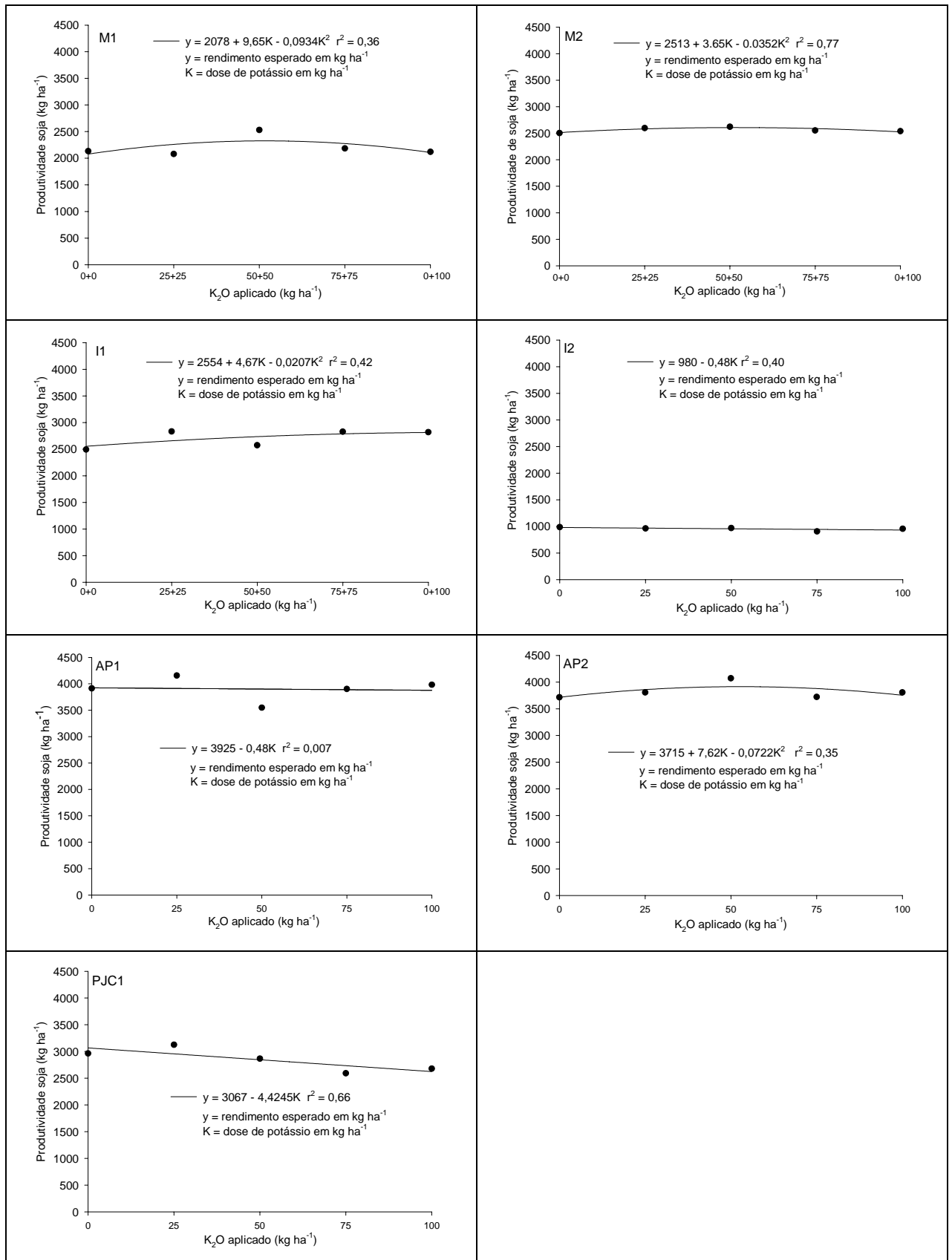


FIGURA 2.5. Produtividade de grãos de soja, equação de resposta das culturas e coeficiente de correlação em função das doses de potássio adicionadas, Paraguai 2003.

2.4.2. Doses de máxima eficiência técnica

TABELA 2.1. Experimento, safra de condução, dose de máxima eficiência técnica, produtividade máxima, K extraível por Mehlich 1 e rendimento relativo do trigo, milho e soja em função das doses de K₂O aplicadas sob sistema plantio direto, Paraguai, 2005.

| Experimento | | Máxima eficiência técnica (kg ha ⁻¹) | | K no solo | RR |
|---------------------------------|---------------|--------------------------------------------------|---------------|---------------------|---------|
| | | Dose K ₂ O | Produtividade | mg dm ⁻³ | ---%--- |
| ----- Trigo safra 2003 ----- | | | | | |
| M1 | Após soja | 49 | 1822 | 47 | 93,0 |
| I1 | Após soja | 41 | 4200 | 200 | 92,0 |
| ----- Trigo safra 2004 ----- | | | | | |
| M1 | Após soja | 97 | 2322 | 49 | 73,9 |
| I1 | Após soja | 22 | 2540 | 283 | 98,5 |
| I2 | Após soja | 72 | 2708 | 183 | 97,8 |
| AP1 | Após soja | 36 | 2819 | 200 | 95,2 |
| AP2 | Após soja | 56 | 1987 | 364 | 91,4 |
| PJC1 | Após soja | 0 | 1066 | 231 | 100 |
| Média | | | 2433 | | 92,7 |
| M1 | Após milho | 100 | 2400 | 37 | 56,0 |
| I1 | Após milho | 0 | 2391 | 245 | 100 |
| I2 | Após milho | 0 | 2815 | 182 | 100 |
| AP2 | Após milho | 0 | 2642 | 336 | 100 |
| PJC1 | Após milho | 100 | 698 | 263 | 84,0 |
| Média | | | 2189 | | 88,0 |
| ----- Milho safra 2003/04 ----- | | | | | |
| M1 | Após trigo | 100 | 4559 | 50 | 80,6 |
| M2 | Após pastagem | 71 | 4804 | 130 | 80,7 |
| I1 | Após trigo | 100 | 5894 | 179 | 93,6 |
| I2 | Após pousio | 14 | 3232 | 185 | 99,8 |
| AP2 | Após trigo | 100 | 8773 | 200 | 93,6 |
| PJC | Após pousio | 53 | 5680 | 263 | 95,8 |
| Média | | | 5490 | | 90,7 |
| ----- Soja safra 2003/04 ----- | | | | | |
| M1 | Após trigo | 52 | 2327 | 50 | 89,3 |
| M2 | Após pastagem | 52 | 2608 | 130 | 96,3 |
| I1 | Após trigo | 100 | 2814 | 245 | 90,8 |
| I2 | Após pousio | 0 | 980 | 183 | 100 |
| AP1 | Após aveia | 0 | 3925 | 200 | 100 |
| AP2 | Após trigo | 53 | 2916 | 364 | 93,1 |
| PJC | Após pousio | 0 | 3067 | 231 | 100 |
| Média | | | 2662 | | 95,6 |

Considerando a resposta dos experimentos M1 e M2, as culturas atingiram em geral o máximo rendimento a partir de 49 kg ha^{-1} de K_2O , sendo que a máxima produtividade não foi atingida com a dose 100 kg ha^{-1} (Tabela 2.1). Desta forma, pode-se considerar que para atingir máximas produtividades são necessárias doses a partir de 50 kg ha^{-1} , sendo que não foi encontrada a dose máxima a que as plantas respondem. Na decisão de aplicação de doses altas de K, deve-se levar em consideração o tipo de solo, pois em algumas situações poder-se-á estar aplicando sem necessidade e esta quantidade poderá ser perdida por lixiviação, em se falando de solos com baixo teor de argila e baixa capacidade de troca de cátions (Sanzonowicz & Mielniczuk, 1985). Para reduzir as possibilidades de perdas por lixiviação, altas quantidades de K devem ser aplicadas para atingir maiores volumes de solo para que a concentração não fique muito alta, utilizar fontes menos solúveis e/ou portadoras de ânions menos móveis no solo (KAlSiO_4 , K_2SO_4), assim como uma boa cobertura vegetal no solo. Por outro lado, em solos muito argilosos ou com alta capacidade de troca de cátions, o K é um elemento pouco móvel no solo. Nestas situações, a perda por lixiviação é praticamente inexistente, sendo possível a criação de teores mais altos de fertilidade do solo. Assim fica possível fazer a adubação do sistema e não mais de cada cultura individualmente. Esta situação é desejável para otimização das operações de semeadura e aplicação de fertilizantes, fazendo uma distribuição das tarefas ao longo do ano.

A produtividade máxima dos experimentos com trigo após a soja chegou a 2433 kg ha^{-1} em média, sendo o rendimento relativo de 92,7%. Após o milho, a produtividade atingida foi um pouco inferior, alcançando 2189 kg ha^{-1} e o RR em torno de 88%. O milho atingiu em média uma produtividade máxima de 5490 kg ha^{-1} e o rendimento relativo foi de 90,7%. A soja apresentou um rendimento médio máximo de 2662 kg ha^{-1} registrando o maior rendimento relativo na testemunha, de 95,6%, demonstrando que a soja apresenta baixa resposta à aplicação de K. Os altos rendimentos relativos obtidos estão relacionados principalmente com os altos níveis de K nos solos onde foram conduzidos os experimentos.

2.4.3. Determinação do Teor Crítico

A obtenção do teor crítico de potássio no solo extraído pelo método de análise Mehlich 1 foi a partir da elaboração da equação exponencial que melhor se ajustou aos dados de rendimento relativo com o teor extraído do solo. A equação que melhor se ajustou aos dados foi a de Mitscherlich, descrita em Raij (1981), que descreve a lei dos retornos decrescentes, ou seja, com o aumento do insumo aumenta a produtividade, porém reduz o incremento de produto pelo incremento de insumo, chegando a uma quantidade máxima de produtividade. Esta equação pode não estar correta para teores muito altos de potássio no solo, onde o nutriente poderá chegar a ser prejudicial para as plantas, reduzindo a produtividade. Porém, nos níveis encontrados nos experimentos, não foi possível detectar uma tendência de decréscimo da produtividade.

Com os dados experimentais obtidos chegou-se a um teor crítico de K no solo determinado pelo Mehlich 1 igual a 74 mg dm^{-3} , correspondendo a um rendimento relativo de 90%. Para determinação deste teor crítico foram utilizados os dados de todos os experimentos, assim como das três culturas em estudo. Esta junção dos dados foi necessária devido ao pequeno número de dados disponíveis.

Segundo Comissão (2004), o teor crítico de K no solo se encontra entre 45 e 90 mg dm^{-3} , dependendo da CTC dos solos, ou seja, para CTC menor que 5, entre 5 e 15 e acima de 15 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, apresentam teores críticos de 45, 60 e 90 mg dm^{-3} no solo extraído pela solução Mehlich 1, para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Por outro lado, o valor de 60 mg dm^{-3} foi utilizado como teor crítico até 1986 (Mielniczuk et al., 1969a, b; Universidade..., 1973; Tabelas..., 1976; Manual..., 1981). A partir da recomendação de Siqueira et al. (1987), foi adotado o valor de 80 mg dm^{-3} até a recomendação da Comissão (2004).

Sch lindwein (2003), na calibração dos métodos Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina, encontrou um teor crítico de K no solo de 125 mg dm^{-3} , semelhante para todos os métodos testados.

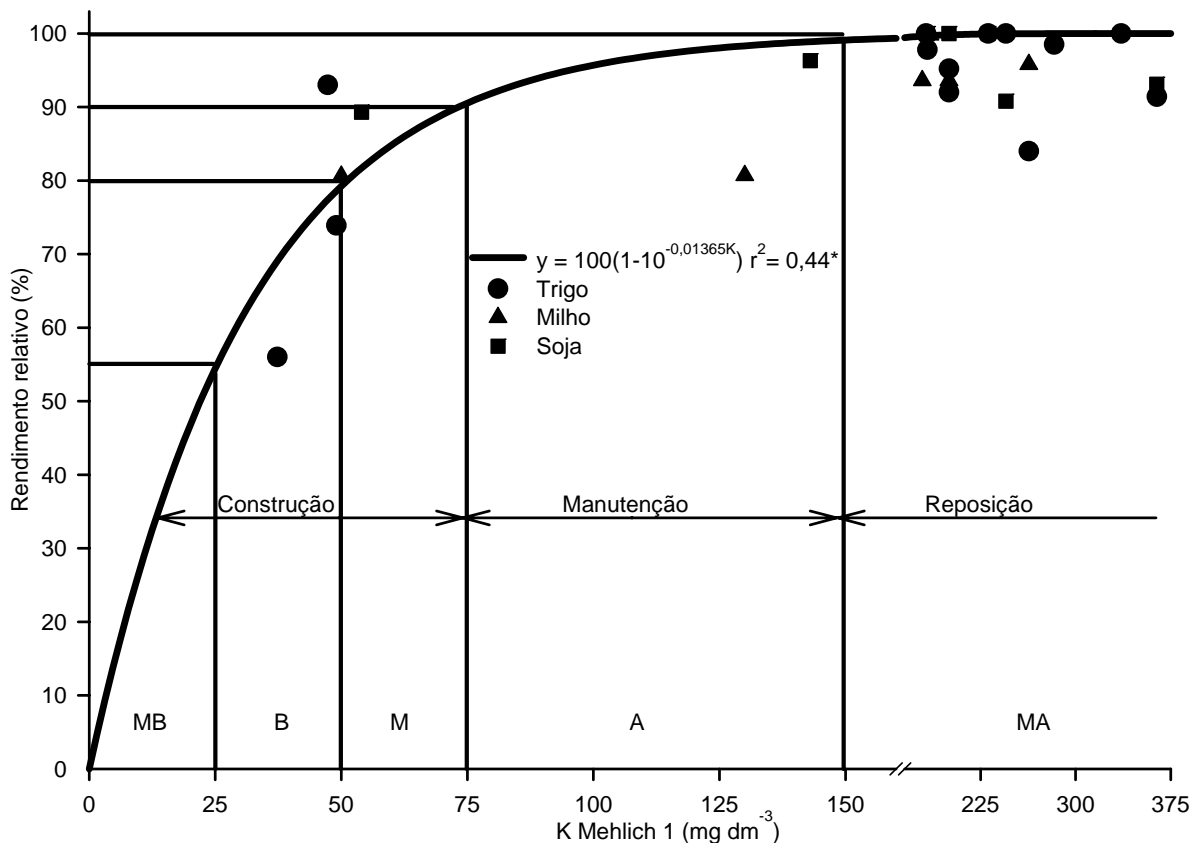


FIGURA 2.6. Relação entre K extraído pela solução Mehlich I e o rendimento relativo obtido com trigo, milho e soja sob plantio direto, equação de produção, coeficiente de correlação, teor crítico e faixas de fertilidade para potássio sob plantio direto no Paraguai, Paraguai, 2005. * Significativo ($P < 0,01$)

2.4.4. Determinação das classes de fertilidade no solo

A partir da determinação do teor crítico de K no solo pela equação de Mitcherlich, ajustou-se o valor encontrado para 75 mg dm^{-3} , representando o limite superior da classe “médio”, sendo este dividido por três para obter classes equidistantes, chamadas “muito baixo”, “baixo” e “médio” e multiplicado por dois para obter o limite entre as classes “alto” e “muito alto”. A tabela 2.2 descreve as classes de disponibilidade de K para o Paraguai.

TABELA 2.2. Classes de disponibilidade de K para as culturas, teor de K extraível por Mehlich 1 em cada classe, rendimento relativo esperado e probabilidade de resposta das culturas a aplicação de fertilizantes potássicos, Paraguai 2005.

| Classe | K Mehlich 1 (mg dm ⁻³) | RR | Probabilidade de resposta |
|-------------|------------------------------------|-----------|---------------------------|
| Muito baixo | Até 25 | Menor 55% | Alta |
| Baixo | 26 – 50 | 56-80% | Média |
| Médio | 51 – 75 | 81-90% | Baixa |
| Alto | 76 – 150 | 90-100% | Muito baixa |
| Muito alto | Maior que 150 | 100% | Inexistente ou casual |

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

2.4.5. Determinação de doses

A partir do teor de potássio determinado pelo método de análise de solo Mehlich 1, cada solo deverá ser enquadrado dentro de uma classe de fertilidade de acordo com a tabela 2.2, a partir desta classificação se fará a recomendação.

2.4.5.1. Doses para adubação de correção

Adubações de correção deverão ser realizadas em ocasiões onde o teor determinado pelo método Mehlich 1 for inferior a 75 mg dm^{-3} , sendo o objetivo da adubação de correção atingir este valor no solo e suprir as necessidades das culturas. Em algumas condições, a adubação de correção pode não ser a mais econômica em curto espaço de tempo, porém a longo tempo o será.

Para discussão da criação de níveis de fertilidade no solo serão considerados os experimentos do Departamento de Misiones (M1 e M2), pois nos demais o teor no solo está acima do teor “muito alto” (anexo 2). No Paraguai, como na região Sul do Brasil, ao contrário de algumas regiões e solos do Brasil, grande parte dos solos são ricos em potássio, encontrando-se nas faixas de fertilidade “alto” ou “muito alto”, onde a probabilidade de resposta às adubações potássicas é muito baixa ou nula. Em grande área do Paraguai, a agricultura iniciou na década de 80, sendo que logo após o início da agricultura já foi introduzido o SPD, que foi responsável pela manutenção da fertilidade natural de K dos solos. Na metade do século passado, a superfície da Região Oriental encontrava-se coberta por florestas. Hoje em dia dois terços das florestas desapareceram como conseqüência do avanço da agropecuária (Cubilla & Moriya, 2001). No Brasil, principalmente no sul, houve um grande período de degradação do solo, muita queima de resíduos culturais e anos de erosão incontroláveis que reduziram drasticamente os teores de K no solo.

Rheinheimer et al. (2001), num levantamento da situação de fertilidade dos solos do estado do Rio Grande do Sul (168.200 amostras utilizadas), encontrou que 1,3% das análises realizadas no estado se encontram na classe limitante ($< 21 \text{ mg dm}^{-3}$), 10,7% estão na classe muito baixa (21 a 40 mg dm^{-3}), 14,9% na classe baixa (41 a 60 mg dm^{-3}), 14,4% na classe média (mg dm^{-3}), 22,6% na classe suficiente (81 a 120 mg dm^{-3}) e 36,1% na classe alta ($> 120 \text{ mg dm}^{-3}$). Desta forma, 58,7% das

amostras analisadas se encontrariam acima do teor crítico de fertilidade no solo (Comissão, 1995) igual a 80 mg dm^{-3} , onde a probabilidade de resposta à aplicação de fertilizantes potássicos é baixa. Comparativamente, estes valores encontrados são maiores que os valores encontrados em 1981 por Tedesco et al. (1985), com uma porcentagem de 49,3 acima do teor crítico e os encontrados em 1988 por Dresscher et al. (1995) de 45,9%. Os dois primeiros levantamentos apresentaram uma porcentagem semelhante de amostras acima do teor crítico, onde se pode concluir que as quantidades adicionadas foram semelhantes às quantidades exportadas e perdidas no sistema. Já para o levantamento de 2001, houve um aumento da quantidade de amostras apresentando valores acima do teor crítico. Fato que pode ter proporcionado este aumento na quantidade de K extraível no solo é a maior concentração do elemento nas fórmulas comercializadas, assim como a metodologia de amostragem adotada, passando a ser de 0 a 10cm de profundidade (camada com maior concentração de nutrientes) e não mais de 0 a 20cm de profundidade. Neste levantamento, o autor também conseguiu detectar regiões que apresentam menor número de amostras abaixo do teor crítico como as regiões de Planalto Médio, Alto Vale do Uruguai, etc, e, por outro lado, regiões que apresentam maior porcentagem de amostras abaixo do teor crítico como a Depressão Central, São Borja, etc. Esta variação na disponibilidade é devida ao material de origem pobre em potássio, a baixa quantidade de argila e pouca área cultivada. Correlacionando estes resultados com as regiões e solos do Paraguai, percebe-se a semelhança entre os solos e a disponibilidade de K, porém no país os teores nos solos são maiores, principalmente nos solos originários de derrames basálticos com alto teor de argila nos Departamentos de Itapúa, Alto Paraná e Amambay, assim como outros onde não foram desenvolvidos experimentos.

O conhecimento das regiões que apresentam altos e baixos teores do elemento no solo é importante para as empresas de comercialização de fertilizantes, como Cooperativas e empresas privadas, para a compra dos fertilizantes que melhor se enquadram para a maioria dos solos de sua região de comercialização. Desta forma, estarão contribuindo para a melhoria da adubação das culturas em casos de produtores que estão fazendo a adubação sem utilização de análises de solo, apesar de esta prática não ser recomendada.

Para as regiões de alta quantidade de K no solo, será necessário conduzir experimentos por longo período sem utilização do elemento para que a grande

quantidade no solo seja esgotada e a planta comece a sentir deficiência para o seu desenvolvimento e produção de grãos. Desta forma, será possível determinar o teor crítico para estes solos, que poderão talvez ser maiores pela alta CTC que os solos apresentam. Segundo Comissão (2004), solos com maiores capacidades de troca de cátions apresentam maior teor crítico no solo.

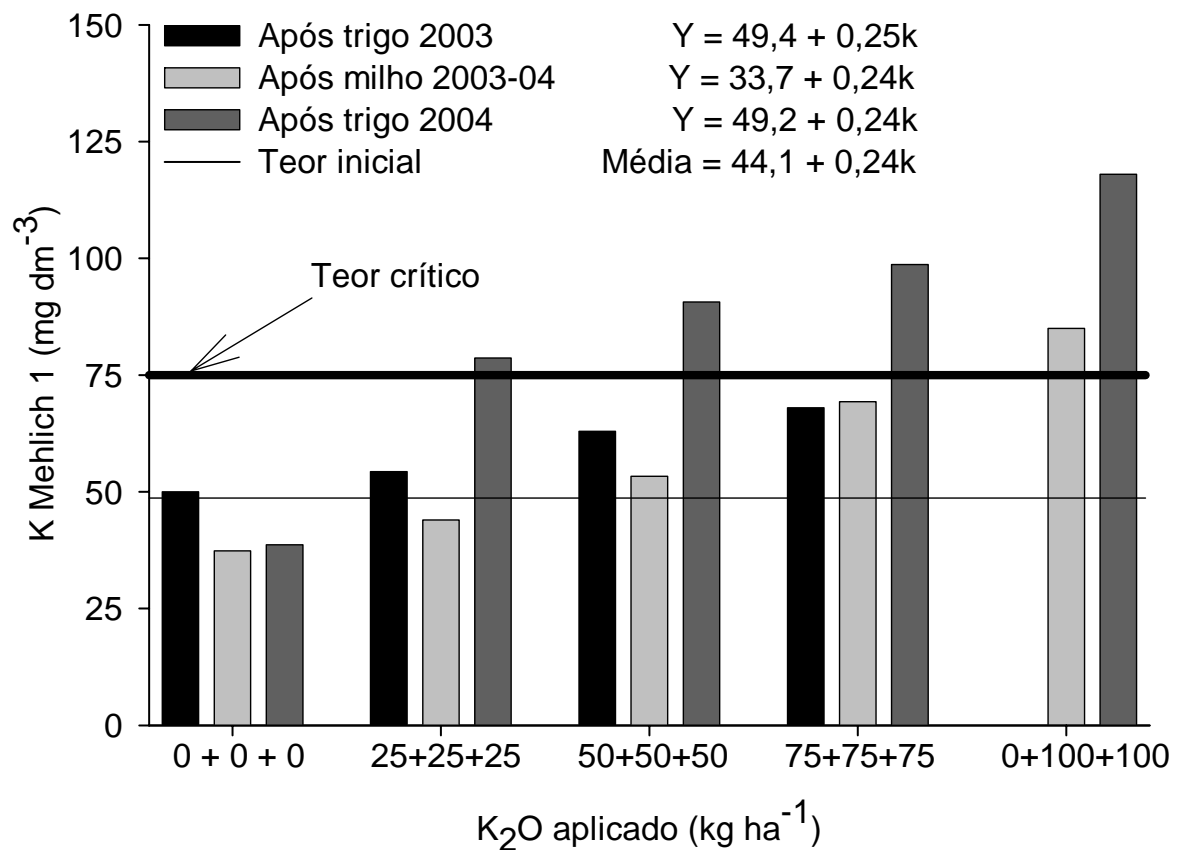


FIGURA 2.7. Teor de K extraído por Mehlich 1 em três épocas, teor inicial, equações de resposta do solo a aplicação de K na sucessão trigo/milho/trigo no experimento M1, Paraguai 2005.

Na figura 2.7, está demonstrado o comportamento do K num solo que apresentava no início do experimento 47 mg dm^{-3} de K extraído por Mehlich 1, sendo classificado quanto a disponibilidade de K como "baixo". Pode-se perceber que a adição de doses nem sempre resultam em elevações no teor do solo, após uma safra, mesmo com quantidade consideráveis como 75 kg ha^{-1} de K_2O . Este é um comportamento muito comum para o potássio, devido à alta absorção necessária

para formar o tecido das plantas, podendo ocorrer consumo de luxo. Em condições de altas produtividades as plantas de milho podem absorver mais de 250 kg ha^{-1} de K (Rossato, 2004). O retorno do elemento absorvido pela planta ao solo, dependendo da cultura ocorre em menor ou maior grau. Comparando as figuras 11 e 12, podemos observar que o teor extraído após o milho é menor que o teor extraído após a soja. Devido à relação C/N da soja e a forma de colheita (deixando toda palhada em contato com o solo), seu tecido foi decomposto rapidamente, elevando o teor extraído. Por outro lado, o milho foi mais lento nesse processo. Diante desta dinâmica do potássio no solo, é necessário ter muito cuidado na época de amostragem com a sua interpretação. RAIJ (1981) alerta sobre alguns cuidados que devem ser tomados na interpretação das análises de solo, o K apresenta valores mais baixos quando a área apresenta muita vegetação.

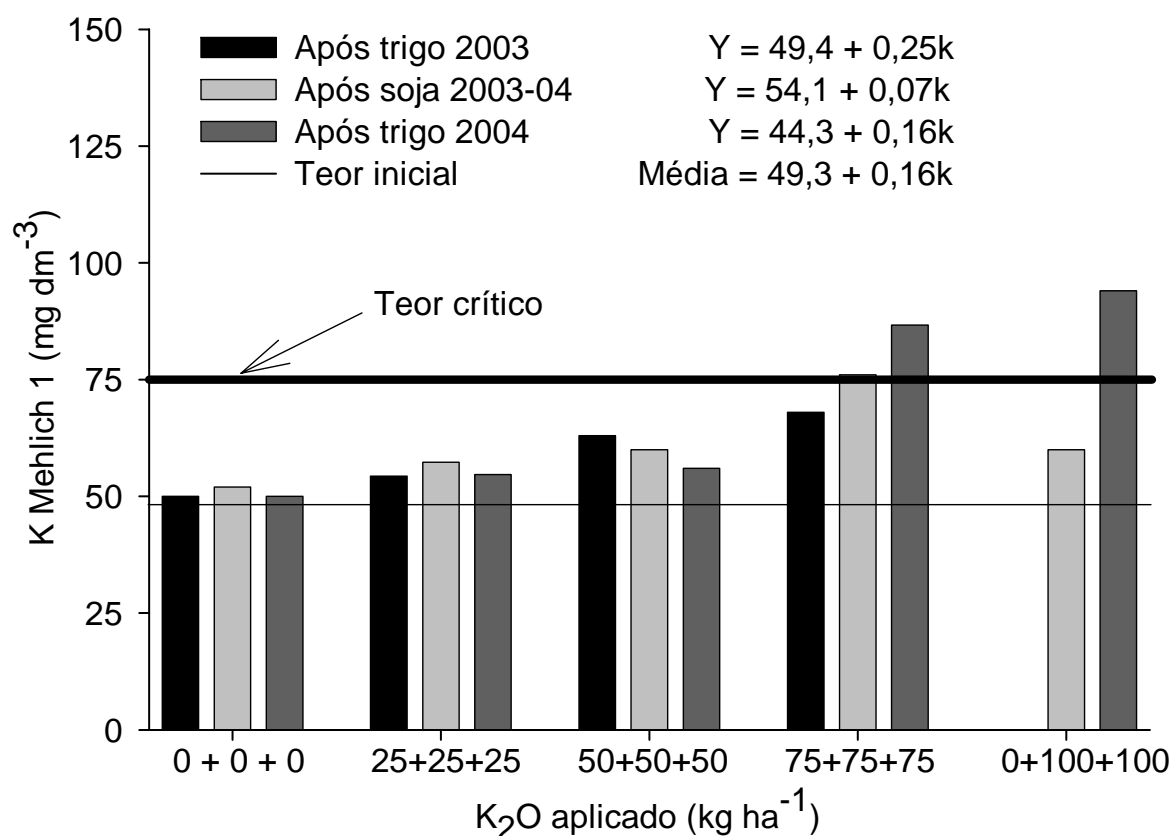


FIGURA 2.8. Teor de K extraído por Mehlich 1 em três épocas, teor inicial, equações de resposta do solo a aplicação de K na sucessão trigo/soja/trigo no experimento M1, Paraguai 2005.

Observando o fator “b” das equações, que relacionam o K_2O adicionado e o K extraído pelo método Mehlich 1, das diferentes épocas de avaliação, percebe-se que o trigo em sucessão ao milho (Figura 2.7) apresenta em valor semelhante nas três épocas de avaliação, ou seja, em torno de 0,25k. A partir deste valor, pode-se determinar a quantidade necessária para elevar um $mg\ dm^{-3}$ de K no solo, sendo neste caso necessários aproximadamente $4\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O para elevar em um $mg\ dm^{-3}$ o teor no solo. Em sucessão com a soja (Figura 2.8), este valor é um pouco menor, apresentando uma média de 0,16k, sendo necessários aproximadamente $6\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O para elevar um $mg\ dm^{-3}$ no solo. Para maior certeza desses valores, é necessário conduzir experimentos por um período de tempo maior, acompanhando o comportamento do K no solo, assim como, considerar os valores de exportação, mas provavelmente são necessários de 4 a $6\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O para elevar um $mg\ dm^{-3}$ o K no solo.

A partir da média destes valores ($5\ kg\ ha^{-1}$ para elevar um $mg\ dm^{-3}$ o teor de K no solo), são determinadas as quantidades necessárias para fazer a correção das deficiências de K dos solos.

2.4.5.2 Adubação de manutenção

A adubação de manutenção tem por objetivo manter o teor de potássio no solo acima do teor crítico, onde a probabilidade de resposta das plantas é baixa. Para tal, se repõe os nutrientes exportados pelas plantas através dos grãos, massa seca, carne, etc, adicionando uma quantidade a fim de suprir eventuais perdas que possam ocorrer no sistema. As perdas de maneira geral são consideradas de 20 a 30% (Comissão, 2004).

2.4.5.3 Adubação de reposição

Quando os teores de K encontrados no solo estão na classe “muito alto”, as adubações podem ser mais flexíveis. Pode-se adotar a filosofia de adubação do sistema, onde se faz em qualquer época ou cultura, a adubação de todo o sistema, podendo ser em linha (para menores doses) ou em superfície. Mesmo o solo estando na classe “muito alto”, algumas culturas poderão beneficiar-se com a

adubação potássica principalmente no arranque inicial das plantas quando feita em linha.

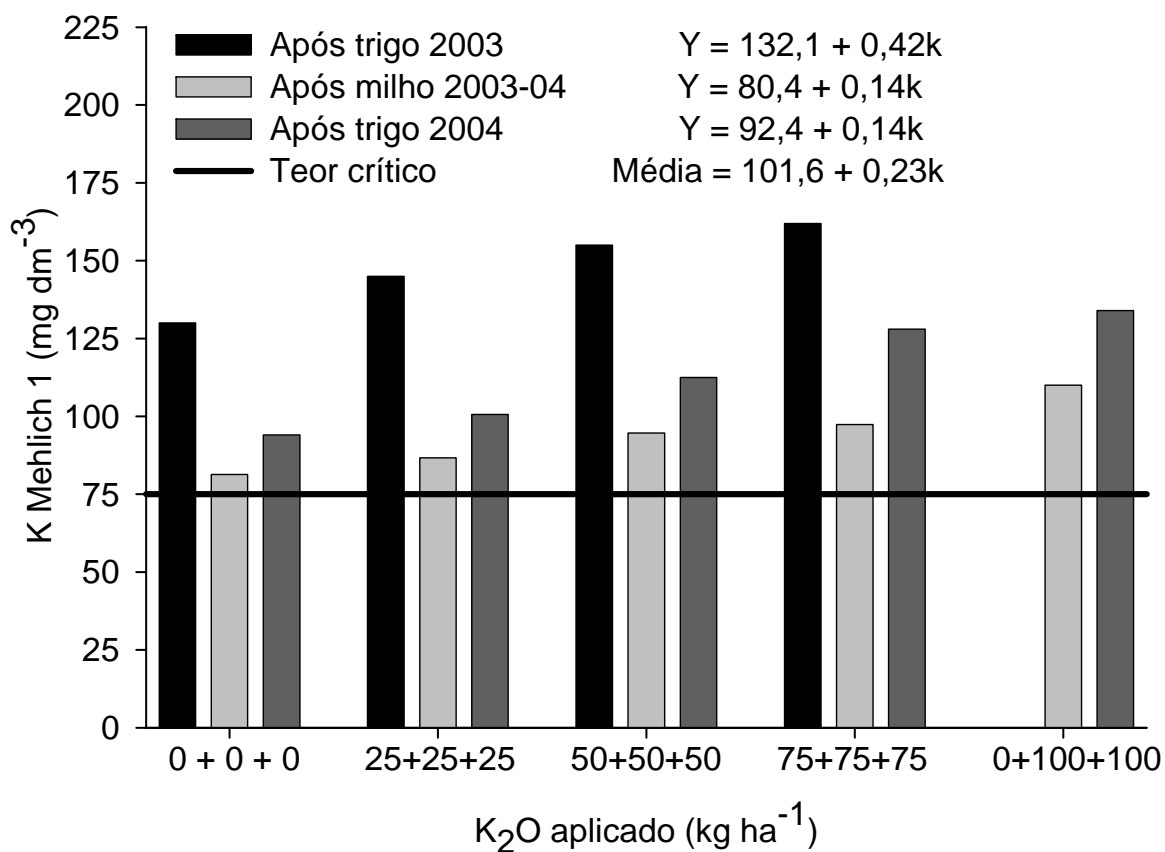


FIGURA 2.9. Teor de K extraído por Mehlich 1 em três épocas, teor inicial e curva de crescimento médio de K na sucessão trigo/milho/trigo no experimento M2, Paraguai 2005.

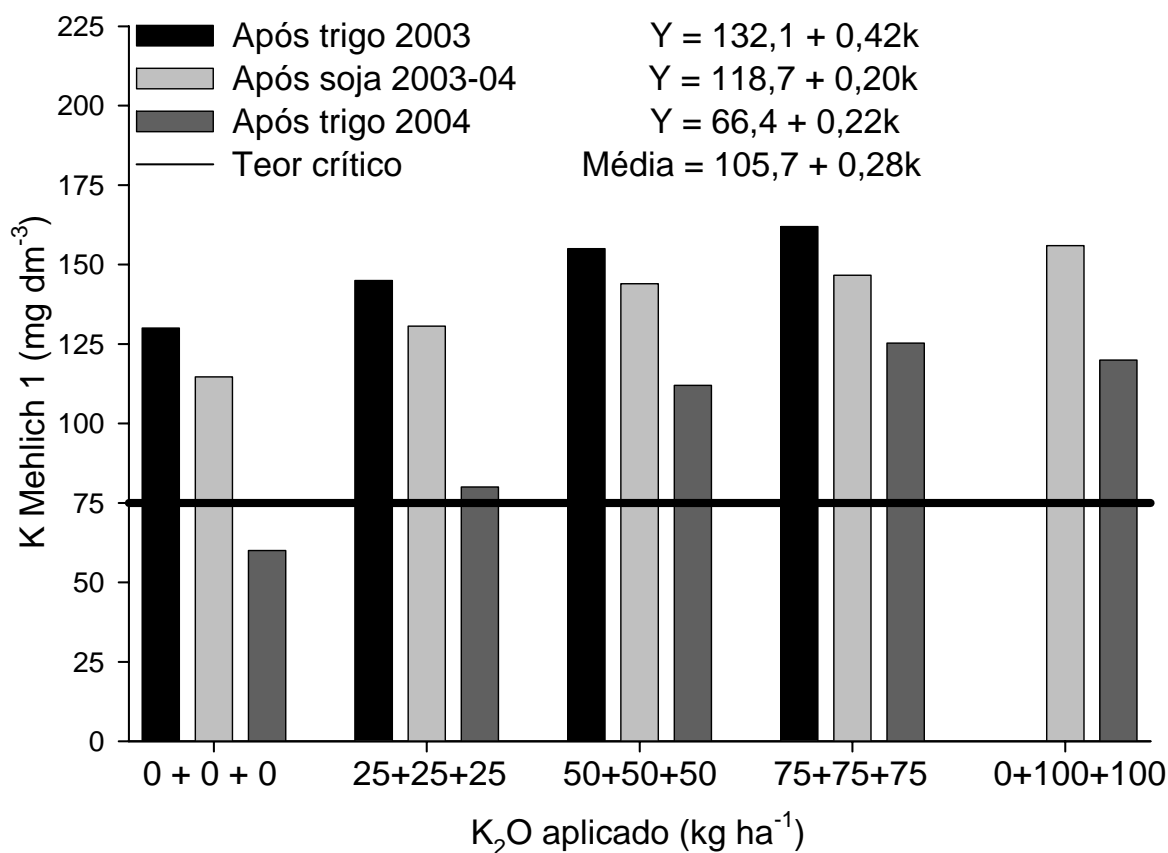


FIGURA 2.10. Teor de K extraído por Mehlich 1 em três épocas, teor inicial e curva de crescimento médio de K na sucessão trigo/soja/trigo no experimento M2, Paraguai 2005.

Nas figuras 2.9 e 2.10, pode-se perceber que as doses utilizadas mantiveram o teor no solo acima do teor crítico. Porém, com a testemunha as menores doses os teores no solo baixaram muito, chegando perto do limite do teor crítico. As doses maiores, de 75 e 100 kg ha⁻¹ de K₂O, mantiveram os teores de potássio no solo chegando até a elevá-los. Porém, são doses altas para as produtividades atingidas no local, ou seja, maiores que as de manutenção, destacando a importância do acompanhamento da lavoura com análises periódicas do solo para adequação das doses ao comportamento do K no solo.

Foram encontrados valores mais baixos de K extraível no solo após a cultura do milho em relação à cultura de soja. Sanzonowicz & Mielniczuk (1985) encontraram uma influência do milho na diminuição do potássio disponível no solo. Esta diminuição com utilização de milho e a diferença entre a utilização do milho e

a soja é resultante da grande quantidade absorvida pelas gramíneas e a reposição mais lenta desta quantidade retida no tecido ao solo. Por outro lado, a quantidade armazenada no tecido da soja retorna mais rapidamente ao solo após a cultura. Para melhor entendimento dessa dinâmica do K no solo, será necessário o acompanhamento da quantidade de K acumulada no tecido e o tempo necessário para retornar ao solo.

TABELA 2.3. Recomendação de potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai, Paraguai, 2005.

| Classe | Recomendação para três cultivos | | | Total |
|-------------|----------------------------------------------------|------------|------------|---------|
| | 1º cultivo | 2º cultivo | 3º cultivo | |
| | -----kg ha ⁻¹ de K ₂ O ----- | | | |
| Muito baixo | 150 | 100 | 60 | 310 |
| Baixo | 90 | 60 | 40 | 190 |
| Médio | 60 | M | M | 60 + 2M |
| Alto | M | M | M | 3M |
| Muito alto | R | R | R | 3R |

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

R = reposição (Exportação das culturas) Trigo e milho: 6 kg de K₂O por tonelada e soja: 20 kg de K₂O por tonelada de grãos exportados.

As culturas de trigo e milho exportam em média 6 kg de K₂O por tonelada de grãos retirados da cultura. A soja apresenta uma taxa de exportação por tonelada produzida muito superior, chegando a 20 kg de K₂O por tonelada (Comissão, 2004). Esses valores correspondem as doses de reposição. A partir desses valores, calcula-se as doses de manutenção, multiplicando-os por 1,25. Desta forma, a dose para manutenção ficará de 7,5 kg ha⁻¹ de K₂O para trigo e milho e de 25 kg ha⁻¹ de K₂O para a soja por tonelada de grãos exportados. Pode-se perceber a alta taxa de exportação de K pela soja, porém a cultura é pouco responsiva às aplicações do elemento.

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

recomendação é manter o teor nesta classe, ou seja, estar acima do teor crítico onde a probabilidade de resposta é muito baixa. Quando o teor no solo está na classe “muito alto”, pode-se permanecer por determinado período sem aplicação, ou aplicação de pequenas doses, desta forma economizando e construindo a fertilidade de outros nutrientes e corrigindo demais problemas que podem estar limitando a produtividade da lavoura.

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

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

Quando se procura alcançar altas produtividades, de milho principalmente, é recomendável a aplicação de pequena dose na linha de semeadura (mesmo com teor “muito alto” no solo) para que as plantas possam ter um rápido desenvolvimento inicial com maior resistência a pragas e doenças e maior competição com plantas invasoras.

2.5 CONCLUSÕES

O teor crítico de K no solo determinado pelo método Mehlich 1 para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai é de 74 mg dm^{-3} .

As classes de fertilidade de potássio no solo são “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto”, correspondendo respectivamente a menos de 25, de 26 a 50, de 51 a 75, de 76 a 150 e maior que 150 mg dm^{-3} de K no solo, determinado pelo método Mehlich 1.

É recomendada aplicação de 310 kg ha^{-1} de K_2O para atingir o teor crítico no solo quando este se encontra na classe “muito baixo”, 190 kg ha^{-1} quando se encontra na classe “baixo” e 60 kg ha^{-1} quando se encontra na classe “médio”, feitas em três cultivos.

Quando o solo se enquadra na classe de fertilidade “alto”, a recomendação de K é de manutenção, $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$ por tonelada de grãos de trigo e milho exportados e 25 kg ha^{-1} por tonelada de soja exportada.

A aplicação de K é opcional quando o solo se enquadra na faixa “muito alto” de fertilidade, objetivando o arranque inicial das plantas e a reposição do K exportado anteriormente.

A soja respondeu menos à aplicação de fertilizantes potássicos do que o trigo e o milho sob sistema plantio direto no Paraguai.

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

2.6 BIBLIOGRAFIA CITADA

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

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

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

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

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

CATE, R.B. Jr. & NELSON, L.A. **A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data**. North Carolina Agric. Exp. STN., Internacional Soil Testing Series Tech. Bull. n^o 1, 1965.

CATE, R.B. Jr. & NELSON, L.A. **Discontinuous models for rapid correlation, interpretation and utilization of soil analysis and fertilizer response data**.

International soil fertility evaluation and improvement program. North Carolina, 1973. 77p. (Technical Bulletin, 7).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MIELNICKZUK, J. **O potássio no solo**. POTAFOS Boletim técnico 2. Piracicaba, SP. 1982.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ROSSATO, R.R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto**. Santa Maria, UFSM, 2004. 106f. Dissertação de mestrado. (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SANZONOWICZ, C. & MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. **R. bras. Ci. Solo** 9:45-50, 1985.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

WENDLING, A.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C.; BRUM, A.C.R. de; WENDLING, B.; PROCHNOW, D.; STRECK, C.A. Perdas de solo, nutrientes e matéria orgânica em solo descoberto, pousio invernal e diferentes sistemas de culturas com adubos verdes sob plantio direto. Anais... CDROM. FERTBIO 2000, Santa Maria, 2000.

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

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

ANEXOS

Anexo 1. Esquema experimental com os tratamentos de potássio e nitrogênio, Paraguai, 2005.

| Safrá de inverno de 2003 | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|-----|-----|-----|-------|---|----|----|----|-----|
| Trigo | | | | | | Trigo | | | | | |
| K | 0 | 25 | 50 | 75 | | K | 0 | 25 | 50 | 75 | |
| N | 0 | 30 | 60 | 90 | | N | 0 | 30 | 60 | 90 | |
| Parcelas de K receberam 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ e 60 kg ha ⁻¹ de N; Parcelas de N receberam 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ e 75 kg ha ⁻¹ de K ₂ O | | | | | | | | | | | |
| Safrá verão 2003/04 | | | | | | | | | | | |
| Milho | | | | | | Soja | | | | | |
| K | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 | K | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| N | 0 | 60 | 120 | 180 | 240 | | | | | | |
| Parcelas de K receberam 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ e 180 kg ha ⁻¹ de N; Parcelas de N receberam 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ e 75 kg ha ⁻¹ de K ₂ O | | | | | | | | | | | |
| Safrá inverno 2004 | | | | | | | | | | | |
| Trigo | | | | | | Trigo | | | | | |
| K | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 | K | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| N | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | N | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 |
| Parcelas de K receberam 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ e 60 kg ha ⁻¹ de N Parcelas de N receberam 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ e 75 kg ha ⁻¹ de K ₂ O | | | | | | | | | | | |

Anexo 2. Tipo de solo, posição geográfica, cultivos efetuados, características químicas, teor de argila na camada 0 – 10 cm e histórico de cultivos nos locais, antes da instalação dos experimentos, Paraguai, 2005.

| Local | Solos | Posição Geográfica | | Cultivos | pH | Argila --(%) -- | MO g kg ⁻¹ | P - (mg dm ⁻³) - | K | Observações |
|-------|------------|--------------------|-----------|-----------|-----|--------------------|--------------------------|---------------------------------|-------|-------------------|
| | | Latitude | Longitude | | | | | | | |
| M1 | Ultisol | 26° 59' | 56° 45' | M | 5,2 | 25,0 | 25 | 11,9 | 47,3 | Vários anos de PD |
| | | 55,29266" | 01,75456" | S | | | | | | |
| M2 | Ultisol | 26° 59' | 56° 44' | T – M – T | 5,1 | 25,0 | 27 | 4,3 | 126,3 | PD sob Braquiária |
| | | 05,48726" | 10,69358" | T – S - T | | | | | | |
| I1 | Oxisol | 26° 56' | 55° 38' | T – M – T | 5,6 | 47,5 | 30 | 12,7 | 206,3 | Vários anos de PD |
| | | 07,09384" | 03,81347" | T – S - T | | | | | | |
| I2 | Ultisol | 27° 08' | 56° 03' | M – T | 6,2 | 35,5 | 25 | 3,5 | 195,4 | PD sem cobertura |
| | | 54,11744" | 46,26738" | S – T | | | | | | |
| AP1 | Oxisol | 25° 27' | 55° 02' | T | 5,3 | 39,5 | 29 | 7,6 | 203,9 | Vários anos de PD |
| | | 23,15682" | 49,16350" | S – T | | | | | | |
| AP2 | Oxisol | 25° 58' | 55° 12' | M – T | 6,5 | 47,0 | 42 | 7,9 | 359,0 | Vários anos de PD |
| | | 07,17126" | 48,79724" | S – T | | | | | | |
| PJC1 | Inceptisol | 22° 39' | 55° 53' | M – T | 6,7 | 56,0 | 44 | 5,2 | 256,0 | Área nova |
| | | 17,67833" | 36,43726" | S – T | | | | | | |

M1= Misiones 1; M2= Misiones 2; I1= Itapúa 1; I2= Itapúa 2, AP1= Alto Paraná1; AP2= Alto paraná2; PJC1= Pedro Juan Cabaleiro; T= trigo; M= milho; S= soja

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

| Período/dias Mês | 1-10 | 11-20 | 21-31 | Total |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | -----mm----- | | | |
| Safra trigo 2003 | | | | |
| Abril/2003 | 28,8 | 82,5 | 52,0 | 163,0 |
| Maio/2003 | 0,0 | 0,0 | 20,5 | 20,5 |
| Junho/2003 | 33,7 | 45,0 | 0,0 | 78,7 |
| Julho/2003 | 3,0 | 8,0 | 0,5 | 11,5 |
| Agosto/2003 | 31,0 | 29,5 | 33,2 | 93,7 |
| Setembro/2003 | 69,0 | 6,5 | 19,0 | 94,5 |
| Total da safra | 165,5 | 135,5 | 71,0 | 241,7 |
| Safra milho e trigo 2003/04 | | | | |
| Outubro/2003 | 90,0 | 104,5 | 56,0 | 250,5 |
| Novembro/2003 | 9,9 | 150,4 | 124,2 | 284,5 |
| Dezembro/2003 | 27,0 | 169,0 | 135,5 | 331,5 |
| Janeiro/2004 | 4,5 | 28,5 | 24,5 | 57,5 |
| Fevereiro/2004 | 93,0 | 37,0 | 0,0 | 130,0 |
| Março/2004 | 27,0 | 58,0 | 0,0 | 85,0 |
| Total da safra | 237,0 | 264,0 | 56,0 | 215,0 |
| Safra trigo 2004 | | | | |
| Abril/2004 | 28,6 | 39,0 | 100,0 | 167,6 |
| Maio/2004 | 4,6 | 11,0 | 64,4 | 79,8 |
| Junho/2004 | 33,4 | 0,0 | 61,4 | 94,8 |
| Julho/2004 | 4,9 | 60,5 | 16,0 | 81,4 |
| Agosto/2004 | 15,5 | 1,4 | 44,5 | 61,4 |
| Setembro/2004 | 0,5 | 40,5 | 112,3 | 153,3 |
| Total da safra | 58,9 | 152,4 | 334,2 | 309,5 |
| Total | 461,4 | 551,9 | 461,2 | 766,2 |

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

| Período/dias Mês | 1-10 | 11-20 | 21-31 | Total |
|-----------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | -----mm----- | | | |
| Safra trigo 2003 | | | | |
| Abril/2003 | 89 | 64 | 0 | 153 |
| Maio/2003 | 63 | 0 | 9 | 72 |
| Junho/2003 | 66 | 14 | 0 | 80 |
| Julho/2003 | 28 | 12 | 0 | 40 |
| Agosto/2003 | 43 | 6 | 18 | 67 |
| Setembro/2003 | 110 | 0 | 162 | 272 |
| Total da safra | 399 | 96 | 189 | 684 |
| Safra milho e trigo 2003/04 | | | | |
| Outubro/2003 | 193 | 15 | 239 | 447 |
| Novembro/2003 | 0 | 156 | 72 | 228 |
| Dezembro/2003 | 31 | 310 | 210 | 551 |
| Janeiro/2004 | 25 | 0 | 60 | 85 |
| Fevereiro/2004 | 9 | 19 | 5 | 33 |
| Março/2004 | 68 | 8 | 0 | 76 |
| Total da safra | 326 | 508 | 586 | 1420 |
| Safra trigo 2004 | | | | |
| Abril/2004 | 31 | 36 | 95 | 162 |
| Maio/2004 | 60 | 160 | 207 | 427 |
| Junho/2004 | 12 | 0 | 119 | 131 |
| Julho/2004 | 61 | 158 | 16 | 235 |
| Agosto/2004 | 0 | 0 | 16 | 16 |
| Setembro/2004 | 0 | 54 | 13 | 67 |
| Total da safra | 164 | 408 | 466 | 1038 |
| Total | 889 | 1012 | 1241 | 2942 |

Anexo 5. Precipitação ocorrida em Pedro Juan Cabaleiro.

| Período/dias Mês | 1-10 | 11-20 | 21-31 | Total |
|-----------------------------|--------------|-------|-------|---------------|
| | -----mm----- | | | |
| Safra trigo 2003 | | | | |
| Abril/2003 | | | | 152,3 |
| Maio/2003 | | | | 79,0 |
| Junho/2003 | | | | 84,5 |
| Julho/2003 | | | | 32,8 |
| Agosto/2003 | | | | 16,0 |
| Setembro/2003 | | | | 130,0 |
| Total da safra | | | | 494,6 |
| Safra milho e trigo 2003/04 | | | | |
| Outubro/2003 | | | | 134,8 |
| Novembro/2003 | | | | 271,8 |
| Dezembro/2003 | | | | 161,1 |
| Janeiro/2004 | | | | 181,3 |
| Fevereiro/2004 | | | | 16,8 |
| Março/2004 | | | | 62,7 |
| Total da safra | | | | 828,5 |
| Safra trigo 2004 | | | | |
| Abril/2004 | | | | 242,8 |
| Maio/2004 | | | | 220,2 |
| Junho/2004 | | | | 241,4 |
| Julho/2004 | | | | 89,5 |
| Agosto/2004 | | | | 0 |
| Setembro/2004 | | | | 0 |
| Total da safra | | | | 793,9 |
| Total | | | | 2117,0 |

Anexo 6. Cultivares utilizadas nos respectivos locais e safras, Paraguai, 2005.

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

* Semente produzida na propriedade.

- Anexo 7. Determinação de potássio pelo método Mehlich 1, Paraguai, 2005.

As amostras devem ser secas a 60⁰ C em estufa de circulação forçada, moídas em moinho de martelo e peneiradas com peneira de 2mm.

Reagentes necessários:

- Ácido clorídrico (HCl) concentrado (d = 1,191; 37,7%; 12,31M)
- Ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado (d = 1,840; 96,7%; 18,02M)

Preparo da solução Mehlich 1 (18 litros):

- Colocar 1000 ml de água destilada em balão de 2 litros;
- Adicionar 73,1 ml de HCl;
- Adicionar 12,5 ml de H₂SO₄;
- Completar o volume com água destilada e agitar;
- Transferir para um tambor plástico de 20 litros;
- Adicionar mais 16 litros de água destilada com balão volumétrico;
- Agitar bem para homogeneizar a solução.

O equipamento utilizado para leitura é o fotômetro de chama que deverá ser calibrado. Usa-se uma solução sem K (água destilada), igualando a emissão no fotômetro de chama a zero e uma solução de concentração de 20 mg dm⁻³ que deverá ser igualada a emissão 100 no fotômetro de chama.

Procedimento de análise:

- Medir 3 ml de solo e colocar em frasco de erlenmayer de 50 ml,
- adicionar 30 ml da solução duplo ácido,
- agitar por 5 minutos (agitador horizontal)
- deixar em repouso até o dia seguinte (15 a 18 horas),
- retirar 6 ml de sobrenadante,
- fazer a determinação no fotômetro de chama.

A concentração de K é obtida pela leitura no fotômetro de chama multiplicado pelo fator de diluição que no caso são 10 vezes, desta forma é possível determinar teores até 200 mg dm⁻³. Para teores maiores no solo fazer mais diluições.

Anexo 8. Análise de significância dos experimentos de nitrogênio em trigo e milho, Paraguai, 2005.

| Experimento | | | | |
|------------------------------------------|------------------|---------------------------------|-----|------|
| | Cultura anterior | Equação | Sig | CV |
| ----- Trigo, safra 2003 ----- | | | | |
| M1 | Soja | $Y = 1370 + 11,79N + 0,1050N^2$ | *** | 16,6 |
| I1 | Soja | $Y = 3569 + 20,01N + 0,1577N^2$ | *** | 9,5 |
| ----- Trigo, safra 2004 ----- | | | | |
| M1 | Soja | $Y = 1591 - 1,42N$ | NS | 19,9 |
| I1 | Soja | $Y = 2236 + 10,69N - 0,0586N^2$ | NS | 15,8 |
| I2 | Soja | $Y = 2226 + 17,65N - 0,1209N^2$ | *** | 13,4 |
| AP1 | Soja | $Y = 2663 - 0,55N$ | NS | 14,3 |
| AP2 | Soja | $Y = 2804 + 0,55N$ | NS | 12,0 |
| PJC1 | Soja | $Y = 751 + 0,26N - 0,0045N^2$ | NS | 17,7 |
| M1 | Milho | $Y = 1719 + 5,18N - 0,0446N^2$ | NS | 5,7 |
| I1 | Milho | $Y = 1447 + 13,89N - 0,0906N^2$ | NS | 6,4 |
| I2 | Milho | $Y = 1669 + 25,94N - 0,1583N^2$ | NS | 11,4 |
| AP2 | Milho | $Y = 2476 + 10,47N - 0,0994N^2$ | NS | 15,7 |
| PJC1 | Milho | $Y = 501 + 0,30N$ | NS | 17,3 |
| ----- Trigo só residual safra 2004 ----- | | | | |
| M1 | Trigo | $Y = 1694 + 2,39N - 0,0080N^2$ | *** | 4,74 |
| I1 | Trigo | $Y = 1324 + 1,88N - 0,0020N^2$ | * | 7,2 |
| I2 | Trigo | $Y = 1672 + 8,13N - 0,0128N^2$ | NS | 17,3 |
| AP2 | Trigo | $Y = 2524 + 6,32N - 0,0212N^2$ | NS | 7,3 |
| PJC | Trigo | $Y = 643 - 0,02N$ | NS | 15,4 |
| ----- Milho safra 2003/04 ----- | | | | |
| M1 | Trigo | $Y = 3126 + 35,85N - 0,1273N^2$ | * | 10,2 |
| M2 | Trigo | $Y = 1968 + 39,53N - 0,1036N^2$ | NS | 23,4 |
| I1 | Trigo | $Y = 1427 + 54,36N - 0,1217N^2$ | * | 15,5 |
| I2 | Trigo | $Y = 2075 + 9,17N - 0,0198N^2$ | NS | 11,9 |
| AP2 | Trigo | $Y = 8831 + 5,01N$ | * | 1,6 |
| PJC | Trigo | $Y = 4200 + 6,96N - 0,0097N^2$ | NS | 13,4 |

* Significativo a 1%, *** Significativo a 10%, NS Não significativo, CV coeficiente de variação.

Anexo 9. Análise de significância dos experimentos de potássio em trigo, milho e soja, Paraguai, 2005.

| Experimento | | | | | |
|--------------------------------|------------------|---------------------------------|-----|------|--|
| | Cultura anterior | Equação | Sig | CV | |
| ----- Trigo, safra 2003 ----- | | | | | |
| M1 | Soja | $Y = 1695 + 5,16K - 0,0523K^2$ | NS | 19,9 | |
| I1 | Soja | $Y = 3862 + 16,62K - 0,2040K^2$ | *** | 6,5 | |
| ----- Trigo, safra 2004 ----- | | | | | |
| M1 | Soja | $Y = 1717 + 12,42K - 0,0637K^2$ | NS | 21,9 | |
| I1 | Soja | $Y = 2503 + 3,34K - 0,0762K^2$ | NS | 20,6 | |
| I2 | Soja | $Y = 2648 + 1,69K - 0,0011K^2$ | NS | 6,9 | |
| AP1 | Soja | $Y = 2683 + 7,50K - 0,1031K^2$ | NS | 9,5 | |
| AP2 | Soja | $Y = 2729 + 9,23K - 0,0826K^2$ | NS | 9,3 | |
| PJC1 | Soja | $Y = 1066 - 4,00K$ | NS | 33,2 | |
| M1 | Milho | $Y = 1344 + 10,56K$ | * | 13,0 | |
| I1 | Milho | $Y = 2391 - 1,65K$ | *** | 5,2 | |
| I2 | Milho | $Y = 2815 - 3,41K$ | *** | 9,4 | |
| AP2 | Milho | $Y = 2642 - 2,36K$ | NS | 14,2 | |
| PJC1 | Milho | $Y = 586 + 1,12K$ | NS | 28,4 | |
| -----Soja safra 2003/04 ----- | | | | | |
| M1 | Trigo | $Y = 2078 + 9,65K - 0,0934K^2$ | NS | 13,4 | |
| M2 | Trigo | $Y = 2513 + 3,65K - 0,0352K^2$ | NS | 14,7 | |
| I1 | Trigo | $Y = 2554 + 4,67K - 0,0207K^2$ | NS | 7,2 | |
| I2 | Trigo | $Y = 980 - 0,48K$ | NS | 13,5 | |
| AP1 | Trigo | $Y = 3925 - 0,48K$ | NS | 6,8 | |
| AP2 | Trigo | $Y = 3715 + 7,62k - 0,0722k^2$ | NS | 3,7 | |
| PJC | Trigo | $Y = 3067 - 4,42k$ | NS | 19,5 | |
| -----Milho safra 2003/04 ----- | | | | | |
| M1 | Trigo | $Y = 3676 + 11,73K - 0,029K^2$ | NS | 9,6 | |
| M2 | Trigo | $Y = 3878 + 25,96K - 0,1828K^2$ | NS | 20,6 | |
| I1 | Trigo | $Y = 5518 - 3,76K$ | NS | 11,4 | |
| I2 | Trigo | $Y = 3226 + 0,88K - 0,0301K^2$ | NS | 19,0 | |
| AP2 | Trigo | $Y = 8213 + 9,65K - 0,0405K^2$ | NS | 7,9 | |
| PJC | Trigo | $Y = 5443 + 8,97K - 0,0847K^2$ | NS | 16,7 | |

* Significativo a 1%, *** Significativo a 10%, NS Não significativo, CV Coeficiente de variação.