

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES PARA
AS PLANTAS EM SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL**

Leandro Bortolon
(Dissertação)

Porto Alegre (RS) Brasil
Agosto de 2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES PARA
AS PLANTAS EM SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL**

LEANDRO BORTOLON
Engenheiro-Agrônomo (UFPel)

Dissertação apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Agosto de 2005

AGRADECIMENTOS

À Elisandra, minha esposa e companheira de todas as horas, pelo amor, apoio, renúncia, compreensão e, especialmente, por participar diariamente da sua vida acadêmica como colega de faculdade e de mestrado.

Aos meus pais, Ady João e Maria, pela vida, pelo amor, pela educação, valores, princípios de vida e estímulo para minha formação. As minhas irmãs, Juliana e Raquel, pelo apoio e incentivo mesmo estando distantes.

À família da Elisandra, em especial aos pais Daltro e Lúcia e aos irmãos Eliana, Elisângela e Daniel, pelo incentivo e compreensão.

Ao Prof. Clesio Gianello, pela orientação, pela oportunidade de convivência, pelo exemplo profissional, paciência, estímulo, dedicação e, sobretudo, pela amizade e auxílio num momento importante da minha vida. Ao Prof. Clesio, meu grande apreço.

Ao Prof. Marino Tedesco, pela co – orientação, pela oportunidade de convivência, pela dedicação e fundamental apoio durante a realização dos experimentos. Ao Prof. Marino, meu grande apreço.

A UFRGS pela possibilidade de realizar esse trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de realizar o curso.

Ao Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Solos – UFRGS, pelo empréstimo dos equipamentos, instalações e recursos financeiros para a realização do trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do

Solo pelo aprendizado.

Aos colegas do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em especial ao Márcio Wally (“Aero Wyllis”), Márcio Lauschner (“Caniço”), Cláudio, Rodrigo, Margarete, Gustavo, Fabiano, Alaerto e Jonatas pelo companheirismo, amizade e pelos bons momentos de descontração.

Ao Alessandro, Analú, Clarissa, Daniele, Éder, Kelly, Luís Gustavo, Maurício e Viviane pelo convívio e momentos de descontração.

Aos funcionários do LAS, Alessandra, Bernadete, Diogo, Élio, Josi, Licínio (Pissit), Lisandra, Marrieti, Micheli, Raquel, Tiago e Vítor, pela prestatividade e convivência. Em especial ao Daniel, Elis, Plínio e Taís pelas sugestões, ensinamentos, convivência e prestatividade.

Aos demais funcionários do Departamento de Solos, em especial a Denise, ao Jader Jorge, ao Paulo Ricardo e ao Zé pela prestatividade.

Ao Léo, pelo auxílio e momentos de descontração nas atividades no cercado.

Ao Leandro Zancanaro e equipe (Fundação MT) pelo envio de solos da região dos cerrados.

Ao povo brasileiro, cujos impostos custearam meus estudos desde a graduação.

Aos demais não citados que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho, meu sincero obrigado.

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES PARA AS PLANTAS EM SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL ^{1/}

Autor: Leandro Bortolon

Orientador: Prof. Clesio Gianello

RESUMO

Com o objetivo de selecionar métodos de extração e de avaliar sua eficácia em estimar a disponibilidade dos nutrientes zinco, cobre, fósforo e potássio, foram conduzidos estudos em microparcels expostas ao tempo e em laboratório. Nas microparcels foram cultivados, em vasos com 9 dm³ de solo, 65 solos representativos do estado RS com plantas de milho (*Zea mays*) e, em seqüência, com soja (*Glycine max*) por 45 dias cada cultivo. Os métodos de extração estudados foram as soluções de HCl 0,1 mol L⁻¹, de Mehlich 1 e de Mehlich 3 para cobre e zinco; de Mehlich 1, de Mehlich 3 e resina trocadora de íons para fósforo e potássio; e ainda a solução de acetato de amônio 1 mol L⁻¹ a pH 7 para o potássio. Em laboratório, foi comparada a capacidade de extração de potássio, cálcio e magnésio dos métodos Mehlich 1, Mehlich 3 e resina trocadora de íons em relação ao método padrão de acetato de amônio 1 mol L⁻¹ a pH 7; e ainda para cálcio e magnésio a solução de KCl 1 mol L⁻¹. Os coeficientes de determinação obtidos entre as quantidades de cobre absorvido pelas plantas e o extraído pelas soluções de HCl, Mehlich 1 e Mehlich 3 foram, respectivamente, 0,56, 0,35 e 0,46 no primeiro cultivo e 0,66, 0,43 e 0,93 no segundo cultivo. Para o zinco absorvido e o extraído pelas soluções acima, estes foram, respectivamente, 0,18, 0,32 e 0,10 no primeiro cultivo e 0,37, 0,36, e 0,31 no segundo cultivo. Os coeficientes de determinação obtidos entre o fósforo absorvido e o extraído pelas soluções de Mehlich 1, de Mehlich 3 e resina trocadora de íons foram, respectivamente 0,59, 0,45 e 0,59 no primeiro cultivo e 0,57, 0,57 e 0,52 no segundo cultivo. Para o potássio, estes foram 0,67, 0,56 e 0,63 no primeiro cultivo e 0,47, 0,58 e 0,29 no segundo cultivo. Os coeficientes de determinação entre o potássio absorvido e o extraído por acetato de amônio foram 0,64 e 0,56 respectivamente para o primeiro e o segundo cultivos. Na comparação da capacidade extratora de cálcio, magnésio e potássio, todos os métodos extraíram quantidades semelhantes às do acetato de amônio, exceção feita à resina trocadora de íons que subestimou as quantidades. Todos os métodos testados apresentaram baixa eficácia na estimativa da disponibilidade de nutrientes para as plantas, principalmente para o zinco. Pelos resultados, esses métodos devem ser utilizados com ressalvas em laboratórios de rotina de análises solos.

^{1/} Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (111 p.) Agosto, 2005. Trabalho realizado com apoio financeiro do LAS-Depto de Solos/UFRGS.

SOIL AVAILABLE NUTRIENTS FOR PLANTS BY SOIL TESTING METHODS IN THE SOILS OF RIO GRANDE DO SUL ^{1/}

Author: Leandro Bortolon

Adviser: Prof. Clesio Gianello

ABSTRACT

In order to select and evaluate the efficiency of several methods for extracting zinc, copper, phosphorus and potassium and their ability to predict the availability of these nutrients to plants, two studies were conducted, one in the greenhouse and the other in the laboratory. In the greenhouse, 65 soils of Rio Grande do Sul (Brazil) state, were cultivated in 9 dm³ microplots for 45 days with corn (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*) in sequence. The methods evaluated were: HCl 0.1 mol L⁻¹ (HCl), Mehlich 1 (M1) and Mehlich 3 (M3) solutions for zinc and copper; Mehlich 1, Mehlich 3 and ion exchange resin (resin) for phosphorus and potassium; the 1 mol L⁻¹, pH 7 ammonium acetate (AA) was also tested for potassium. In the laboratory, the extraction capacity of Mehlich 1, Mehlich 3 and resin for potassium, calcium and magnesium was compared with the standard ammonium acetate 1 mol L⁻¹, pH 7 (AA). It was also tested the KCl 1 mol L⁻¹ solution for calcium and magnesium. The coefficients of determination between plant absorbed copper and the amounts extracted by HCl solution, Mehlich 1 and Mehlich 3 were, respectively 0.56, 0.35 and 0.46 for corn; and 0.66, 0.43 and 0.93 for soybean plants. For plant absorbed zinc and the amounts extracted by HCl solution, Mehlich 1 and Mehlich 3 were, respectively, 0.18, 0.32 and 0.10 for corn; and 0.37, 0.36 and 0.31 soybean plants. The coefficient of determination obtained between plant absorbed phosphorus and the amounts extracted by M1, M3 and resin were, respectively, 0.59, 0.45 and 0.59 for corn; and 0.57, 0.57 and 0.52 for soybean plants. For plant absorbed potassium and the amounts extracted by AA, M1, M3 and resin the coefficients were 0.64, 0.67, 0.56 and 0.63 for corn; and 0.56, 0.47, 0.58 and 0.29 for soybean plants. High correlation coefficients were obtained between the amounts of potassium, calcium and magnesium extracted by different methods and the standard ammonium acetate solution. The amounts extracted were almost equivalent, exception made to the resin which extracted somewhat lower amount. All the methods tested were not capable of well estimating the availability of these nutrients to plants. The results show that the use of these methods in routine soil testing labs must be done exception.

^{1/} M.Sc. Dissertation in Soil Science – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (111 p.) August, 2005. Research supported by LAS-Depto Solos/UFRGS.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Micronutrientes.....	3
2.1.1 Disponibilidade de zinco e cobre para as plantas	5
2.1.2 Avaliação da disponibilidade de zinco e cobre para as plantas.....	8
2.2 Seleção de métodos de extração de nutrientes do solo.....	12
2.3 Métodos de avaliação da disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio para as plantas.....	13
2.3.1 Fósforo.....	13
2.3.2 Potássio, cálcio e magnésio.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Experimento em microparcelas	20
3.1.1 Solos utilizados	20
3.1.2 Caracterização física e química dos solos	21
3.1.3 Correção, adubação e incubação dos solos	22
3.1.4 Amostragem do solo para análise	22
3.1.5 Condução do experimento	23
3.1.6 Extração e determinação do fósforo e do potássio disponíveis no solo	24
3.1.6.1 Solução de Mehlich 1	24
3.1.6.2 Solução de Mehlich 3	24
3.1.6.3 Resina de troca iônica em membrana	25
3.1.7 Extração e determinação do potássio, do cálcio e do magnésio trocáveis no solo	25
3.1.7.1 Solução de acetato de amônio 1 mol L ⁻¹ , pH 7	25
3.1.7.2 Solução de KCl 1 mol L ⁻¹	25
3.1.7.3 Resina de troca iônica	25
3.1.7.4 Solução de Mehlich 1	26

3.1.7.5 Solução de Mehlich 3	26
3.1.8 Extração e determinação do cobre e zinco disponíveis no solo.....	26
3.1.8.1 Solução de HCl 0,1 mol L ⁻¹	26
3.1.8.2 Solução de Mehlich 1	26
3.1.8.3 Solução de Mehlich 3	26
3.2 Detalhamento da fase experimental	27
3.2.1 Experimento em microparcels.....	27
3.2.1.1 Avaliação da disponibilidade de cobre e zinco do solo para as plantas	27
3.2.1.2 Avaliação da disponibilidade de fósforo e potássio do solo para as plantas	27
3.2.2 Comparação de métodos de extração de potássio, cálcio e magnésio	28
3.3 Análise dos resultados	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Métodos de avaliação da disponibilidade de cobre e zinco do solo para o milho e a soja	31
4.1.1 Cobre	31
4.1.1.1 Comparação entre métodos de extração	31
4.1.1.2 Relação entre as quantidades extraídas pelos métodos e a absorção pelas plantas	34
4.1.2 Zinco	39
4.1.2.1 Comparação entre métodos de extração	39
4.1.2.2 Relação entre as quantidades extraídas pelos métodos e a absorção pelas plantas	42
4.2 Métodos de avaliação da disponibilidade de fósforo e potássio do solo para o milho e a soja	45
4.2.1 Fósforo	45
4.2.1.1 Comparação entre métodos de extração	45
4.2.1.2 Relação entre as quantidades extraídas pelas soluções e a absorção pelas plantas	48

4.2.2 Potássio	52
4.2.2.1 Comparação entre métodos de extração	52
4.2.2.2 Relação entre as quantidades extraídas pelas soluções e a absorção pelas plantas	58
4.3 Correlação entre métodos de avaliação de potássio, cálcio e magnésio em solos do Rio Grande do Sul	61
4.3.1 Potássio	61
4.3.2 Cálcio	63
4.3.3 Magnésio	65
5. CONCLUSÕES	69
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
7. APÊNDICES	82

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
01. Correlação entre as quantidades de cobre extraído pelas soluções de HCl e de Mehlich 1 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	32
02. Correlação entre as quantidades de cobre extraído pelas soluções de HCl e de Mehlich 3 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	33
03. Regressão entre as quantidades de cobre extraído pela solução de HCl e a quantidade absorvida pelas plantas de milho e soja no primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	35
04. Regressão entre as quantidades de cobre extraído pela solução de Mehlich 1 e as quantidades absorvidas pelas plantas de milho e de soja no primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	36
05. Regressão entre as quantidades de cobre extraído pela solução de Mehlich 3 e as quantidades absorvidas pelas plantas de milho e de soja no primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	37

- 06.** Correlação entre as quantidades de zinco extraído pelas soluções de HCl e de Mehlich 1 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo 39
- 07.** Correlação entre as quantidades de zinco extraído pelas soluções de HCl e de Mehlich 3 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo..... 41
- 08.** Regressão entre as quantidades de zinco extraído pela solução de HCl em amostras de solos coletadas antes dos cultivos e as quantidades absorvidas pelas plantas de milho e soja no primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo..... 42
- 09.** Regressão entre as quantidades de zinco extraído pela solução de Mehlich 1 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e as quantidades absorvida pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo..... 43
- 10.** Regressão entre as quantidades de zinco extraído pela solução de Mehlich 3 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e as quantidades absorvidas pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo..... 44
- 11.** Correlação entre as quantidades de fósforo extraído pelas soluções de Mehlich 1 e de Mehlich 3 em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo..... 46

12.	Correlação entre as quantidades de fósforo extraído pelas soluções de Mehlich 1 e pela resina trocadora de íons em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	47
13.	Regressão entre as quantidades de fósforo extraído pela solução de Mehlich 1 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e as quantidades de fósforo absorvido pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	49
14.	Regressão entre as quantidades de fósforo extraído pela solução de Mehlich 3 em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e as quantidades de fósforo absorvido pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	50
15.	Regressão entre as quantidades de fósforo extraído pela resina de troca iônica em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e o fósforo absorvido pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	51
16.	Correlação entre as quantidades de potássio extraído pelas soluções de acetato de amônio e de Mehlich 1 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e do segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	53

17.	Correlação entre as quantidades de potássio extraído pelas soluções de acetato de amônio e de Mehlich 3 em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	54
18.	Correlação entre as quantidades de potássio extraído pela solução de acetato de amônio e pela resina trocadora de íons em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	55
19.	Correlação entre as quantidades de potássio extraído pelas soluções de Mehlich 1 e de Mehlich 3 em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	56
20.	Correlação entre as quantidades de potássio extraído pela solução de Mehlich 1 e pela resina trocadora de íons em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	57
21.	Regressão entre as quantidades extraídas pela solução entre as quantidades de potássio absorvido pelas plantas de milho e soja e as quantidades de potássio extraído pela solução de acetato de amônio. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	58

22.	Regressão entre as quantidades de potássio extraído pela solução de Mehlich 1 em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos o potássio absorvido pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	59
23.	Regressão entre as quantidades de potássio extraído pela solução de Mehlich 3 em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e o potássio absorvido pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	59
24.	Regressão entre as quantidades de potássio extraído pela resina trocadora de íons em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e o potássio absorvido pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.....	60
25.	Correlação entre as quantidades de potássio extraído pela solução de acetato de amônio a pH 7,0 e pelas soluções de M1 (a), de M3 (b) e resina trocadora de íons (c) em amostras de solo coletadas antes do primeiro e do segundo cultivos (n = 130 amostras).....	62
26.	Correlação entre as quantidades de potássio extraído pela solução de Mehlich 1 e o potássio extraído pela solução de Mehlich 3 (a) e resina de troca iônica (b) (n = 130 amostras)....	63
27.	Correlação entre as quantidades de cálcio extraído pela solução de acetato de amônio e extraído pelas soluções de KCl (a), resina de troca iônica (b) Mehlich 1 (c) e Mehlich 3 (d) (n = 130 amostras).....	64

- 28.** Correlação entre as quantidades de cálcio extraído pela solução de KCl em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e o Ca extraído pela resina de trocadora de íons (a) e soluções de Mehlich 1 (b) e de Mehlich 3 (c) (n = 130 amostras)..... 65
- 29.** Correlação entre as quantidades de magnésio extraído pela solução de AA e pela solução de KCl (a), resina de troca iônica (b), solução de Mehlich 1 (c) e solução de Mehlich 3 (d) em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos (n = 130 amostras)..... 67
- 30.** Correlação entre as quantidades de magnésio extraído pela solução de KCl e pela resina de troca iônica (a), solução de Mehlich 1 (b) e solução de Mehlich 3 (c) em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos (n = 130 amostras)..... 68

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
01. Classificação, material de origem e locais de coleta das amostras de solos utilizadas no experimento	83
02. Características físicas e químicas das amostras dos solos utilizados na época da coleta	84
03. Caracterização físico-química dos solos utilizados no experimento	85
04. Solos utilizados no primeiro cultivo para avaliação da disponibilidade de cobre e zinco para as plantas	87
05. Solos utilizados no segundo cultivo para avaliação da disponibilidade de cobre e zinco para as plantas	88
06. Solos utilizados no primeiro cultivo para avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas	89
07. Solos utilizados no segundo cultivo para avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas	90
08. Solos utilizados no primeiro cultivo para avaliação da disponibilidade de potássio para as plantas	91
09. Solos utilizados no segundo cultivo para avaliação da disponibilidade de potássio para as plantas	92
10. Produção de matéria seca do milho e da soja nos solos utilizados	93

11.	Quantidade de cobre extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de cobre na parte aérea e produção de matéria seca do milho (média de 2 repetições)	95
12.	Quantidade de cobre extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de cobre na parte aérea e produção de matéria seca da soja (média de 2 repetições)	96
13.	Quantidade de zinco extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de zinco na parte aérea e produção de matéria seca do milho (média de 2 repetições)	97
14.	Quantidade de zinco extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de zinco na parte aérea e produção de matéria seca da soja (média de 2 repetições)	98
15.	Quantidade de fósforo extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de fósforo na parte aérea e produção de matéria seca do milho (Média de 2 repetições)	99
16.	Quantidade de fósforo extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de fósforo na parte aérea e produção de matéria seca da soja (média de 2 repetições)	100

17. Quantidade de potássio extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de potássio na parte aérea e produção de matéria seca do milho (média de 2 repetições)	101
18. Quantidade de potássio extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de potássio na parte aérea e produção de matéria seca da soja (média de 2 repetições)	102
19. Quantidade de potássio extraído por diferentes métodos (média de três repetições) nos solos do primeiro e segundo cultivos	103
20. Quantidade de cálcio extraído por diferentes métodos (média de três repetições) nos solos do primeiro e segundo cultivos ...	106
21. Quantidade de magnésio extraído por diferentes métodos (média de três repetições) nos solos do primeiro e segundo cultivos	109

1. INTRODUÇÃO

A eficiência, a sustentabilidade, a lucratividade e a produtividade são aspectos importantes a serem considerados no processo produtivo agrícola. Nesse contexto, recentemente, os micronutrientes passaram a ser utilizados mais intensamente nas adubações em muitas regiões do Brasil e para as mais diversas condições de solos e de culturas.

A grande expansão das áreas agrícolas, o aumento da produtividade das culturas, a maior utilização do calcário e sua aplicação na superfície do solo, em quantidade recomendada para a camada 0-20 cm incorporada, e a maior pureza nos fertilizantes NPK, que deixam de fornecer os micronutrientes como impurezas, têm contribuído para a ocorrência das deficiências de micronutrientes no solo.

O desenvolvimento de processos analíticos com a finalidade de diagnóstico da disponibilidade de nutrientes foi iniciado há mais de um século e tem continuado até nossos dias. A análise de solo tem sido usada como instrumento básico de diagnóstico da fertilidade do solo e como suporte técnico para os programas de utilização de corretivos e de fertilizantes na agricultura.

Para cumprir esses objetivos, deve-se escolher métodos adequados de extração de nutrientes disponíveis às plantas, e correlacionar as quantidades extraídas pelo método com as quantidades do nutriente absorvidas pela planta e calibrar o método a campo para recomendação de fertilizante.

Com o objetivo de selecionar métodos de extração de nutrientes do solo para fins de recomendação de adubação, foi conduzido um experimento em microparcels e vários testes em laboratório, utilizando-se solos das classes mais representativas do estado do Rio Grande do Sul, com ampla variação nas características físicas, químicas e mineralógicas.

Os objetivos específicos foram:

- a) correlacionar as quantidades de cobre e de zinco extraídos pelos diversos procedimentos de extração, entre si e com as quantidades absorvidas desses elementos;
- b) correlacionar as quantidades de fósforo e de potássio extraídos pelos diversos procedimentos de extração, entre si e com as quantidades absorvidas desses elementos pelas plantas;
- c) comparar o procedimento padrão (acetato de amônio 1 mol L^{-1} pH 7) de extração de cálcio, magnésio e potássio trocáveis com vários procedimentos alternativos de extração.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O objetivo desta revisão bibliográfica é dar subsídio teórico aos estudos conduzidos na dissertação para avaliação da disponibilidade de cobre, zinco, fósforo e potássio para as plantas, bem como para a correlação entre metodologias de extração de potássio, cálcio e magnésio para fins de recomendação de adubação.

Nessa revisão, serão abordados os assuntos relacionados à importância dos micronutrientes para as plantas, principalmente aqueles com maior probabilidade de apresentar deficiências em solos brasileiros; às concentrações de zinco e cobre no solo nas formas total e disponível e o que pode afetar sua disponibilidade para as plantas; à avaliação da disponibilidade de zinco e cobre para as plantas por métodos químicos; e aos principais métodos de avaliação da disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio para as plantas.

2.1. Micronutrientes

Os micronutrientes, ou elementos traços, são nutrientes essenciais requeridos em pequenas quantidades pelas plantas e animais. Atualmente o cloro, o boro, o manganês, o ferro, o molibdênio, o níquel, o cobre e o zinco têm sua essencialidade comprovada para as plantas com base nos critérios estabelecidos por Arnon & Stout (1939) (Dechen, 1991; Camargo et al., 2001). As principais funções dos micronutrientes nas plantas, exceto o boro e o cloro, são a constituição de grupos protéicos em metal-proteína e a ativação de reações enzimáticas.

As quantidades totais de micronutrientes nos solos são variáveis e dependem dos teores presentes nos materiais de origem e da ação dos fatores

de formação dos solos. Em geral, devido à baixa solubilidade dos minerais e à sua complexação pela matéria orgânica, os micronutrientes tendem a se acumular à medida que os solos se formam (Bissani & Bohnen, 2004; Krauskopf, 1972). Nos solos, os micronutrientes participam na estrutura interna e/ou estão adsorvidos às superfícies de minerais e de compostos orgânicos e são constituintes da solução do solo. Nesta, por uma ou mais reações, mantêm-se em equilíbrio com os micronutrientes da fase sólida. No entanto, devido à baixa solubilidade dos compostos sólidos presentes no solo, as concentrações dos micronutrientes na solução do solo são muito baixas, geralmente na ordem de miligramas por litro (Bissani & Bohnen; 2004, Krauskopf, 1972).

Vários fatores podem afetar as reações dos micronutrientes nos solos e alterar a sua quantidade na solução do solo. A natureza e a intensidade dessas determinam, em grande parte, a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas, pois estas, em geral, absorvem os elementos em quantidades proporcionais às suas concentrações na solução do solo. As reações em que os micronutrientes participam nos solos são de: precipitação, dissolução, adsorção, complexação e dissociação. A disponibilidade deles para as plantas depende principalmente do pH, mas é também afetada por outros componentes como a matéria orgânica e os minerais.

Dentre os micronutrientes, o zinco é o que apresenta a maior ocorrência de deficiência para as culturas. Conseqüentemente, há na literatura brasileira uma concentração de trabalhos de pesquisa nesse nutriente. De acordo com Fontes (1997), do total de trabalhos relacionados à pesquisa com micronutrientes, publicados na Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Revista Brasileira de Ciência do Solo, no período de janeiro de 1990 a dezembro de 1996, 44% referem-se a zinco. Trabalhos de pesquisa com o elemento cobre são em menor número devido à menor freqüência de deficiência desse nutriente. Apesar disso, tem sido dada importância à possibilidade do cobre causar toxidez devido às altas concentrações deste elemento em muitos dos resíduos ou compostos de lixo utilizados na agricultura (Abreu et al., 2001).

As concentrações zinco no solo variam de 10 a 300 mg kg⁻¹ (Krauskopf, 1972). Essa variação deve-se, em parte, ao tipo de rocha que

originou o solo. O teor médio de zinco nas rochas ígneas é 70 mg kg^{-1} ; nas rochas sedimentares varia de 10 a 100 mg kg^{-1} (Krauskopf, 1972). O zinco no solo pode estar contido na grade cristalina dos minerais primários e secundários, associado à matéria orgânica, na solução do solo, nos sítios de troca (trocável) e/ou adsorvido especificamente. Na forma trocável varia de $0,01$ a 1 mg dm^{-3} (Lindsay, 1979).

A concentração de cobre nos solos varia de 4 a 100 mg dm^{-3} (Krauskopf, 1972). Essa variação deve-se, em parte, ao tipo de rocha que origina o solo. Nas rochas ígneas a quantidade de cobre varia de 10 a 100 mg dm^{-3} e nas sedimentares de 4 a 45 mg dm^{-3} . Em solos brasileiros as concentrações totais de cobre variam de 2 a 335 mg dm^{-3} (Malavolta, 1991). O cobre no solo pode estar na solução do solo, nos sítios de troca (trocável), adsorvido especificamente, associado à matéria orgânica e na grade cristalina dos minerais primários e secundários. A forma de cobre trocável é aquela que está na interface sólido/solução, adsorvida às cargas negativas dos constituintes sólidos do solo, por atração eletrostática e em equilíbrio com o cobre da solução do solo (Ellis & Knezek, 1972). A quantidade de cobre dessa forma é pequena em relação àquela não disponível para as plantas. Há hipóteses de que isso ocorra devido à formação de complexos de cobre com lígno-proteínas e outros constituintes da matéria orgânica. Há ainda a possibilidade de formação de complexos com argilominerais.

2.1.1. Disponibilidade de zinco e cobre para as plantas

A disponibilidade de zinco e cobre para as plantas é afetada por diversos fatores como o pH, a matéria orgânica, o teor de água, a temperatura, a textura, o potencial redox, a forma e a solubilidade de minerais presentes, os microrganismos, os argilominerais e o movimento do nutriente no solo, bem como por interações com outros íons (Bauer, 1971).

O aumento do pH diminui a quantidade de zinco e cobre disponível para as plantas devido à diminuição na solubilidade dos seus óxidos; ao aumento da quantidade adsorvida sobre superfícies ou precipitada e, ainda, à maior estabilidade das ligações com a matéria orgânica em pH mais elevado. Conforme Lindsay (1972), a concentração de zinco na solução do solo em pH 5

é de 10^{-4} M, e em pH 8 é de 10^{-10} M, o que torna o pH o fator mais importante na adsorção de zinco nos solos. Relações inversas entre o pH do solo e a disponibilidade de zinco e cobre têm sido observadas em muitos trabalhos (Wear, 1956; Lucas & Davis, 1961; Thorne, 1957).

A maioria dos solos do sul do Brasil são ácidos e conseqüentemente necessitam de corretivos de acidez para elevar o pH a níveis adequados ao desenvolvimento das culturas. Disso advém um aumento de produtividade que associado a altas quantidades de macronutrientes adicionadas sem a devida reposição de micronutrientes pode acarretar em deficiência de cobre e de zinco para algumas culturas.

O zinco, na presença de matéria orgânica do solo, forma complexos solúveis e insolúveis. De acordo com Hodgson et al. (1965), 60% do zinco solúvel do solo está na forma de complexos orgânicos; para Shuman (1979), aproximadamente 20% do zinco total do solo está nessa forma. De acordo com Sidle & Kardos (1977), a grande adsorção de zinco nos primeiros 7,5 cm do solo ocorre, em parte, devido aos efeitos ligantes da matéria orgânica, em maior quantidade nessa camada, principalmente em solos no sistema plantio direto. Os complexos podem ser formados por diversos ânions orgânicos, como o malato, oxalato, tartarato, gluconato, acrilato e citrato. A adição de matéria orgânica ao solo pode induzir a formação de complexos solúveis que tendem a manter o zinco em solução, conseqüentemente aumentando sua disponibilidade para as plantas. Por outro lado, a ligação do zinco com compostos orgânicos sólidos do solo constitui mecanismo de fixação que diminui a sua disponibilidade para as plantas.

A presença da matéria orgânica nos solos também limita a disponibilidade do cobre para as plantas. É comum o sintoma de deficiência deste micronutriente em solos com muita matéria orgânica. Foi observado por Cox & Kamprath (1972) que a concentração de cobre nas folhas de plantas decresce 1 mg L^{-1} para cada 1% de húmus associado ao solo. São vários os mecanismos que atuam na disponibilidade do cobre no solo e na sua retenção pela matéria orgânica, sendo esta o fator que mais contribui para a adsorção específica desse nutriente (McLaren e Crawford, 1973). O cobre também forma complexos, principalmente com os grupos carboxílicos e fenólicos (Ellis & Knezek, 1972). Até 90% do cobre do solo pode estar em formas

complexadas em que participam os compostos orgânicos malato, oxalato, tartarato, gluconato e citrato (Hodgson et al., 1966). Também para o cobre, a adsorção é maior nos primeiros 7,5 cm do solo devido à maior quantidade de matéria orgânica nessa camada.

Na literatura têm sido relatadas as interações entre zinco e cobre (Luo e Rimmer, 1995; Borkert et al., 1998), cálcio (Davis & Parker, 1993), boro (Swietlik, 1995), nitrogênio (Marschner, 1997) e fósforo (Grant & Bailey, 1993). Dentre essas, a interação fósforo e zinco é a mais importante para solos tropicais, nos quais, devido à deficiência de fósforo, adicionam-se altas doses deste nutriente. O fósforo aplicado ao solo em grandes quantidades pode aumentar a adsorção de zinco, especialmente em solos com altos teores de óxidos de ferro e de alumínio hidratados (Saeed & Fox, 1979), devido ao aumento das cargas negativas dos sistemas de óxidos de ferro e alumínio. Conforme Silveira et al. (1976), as quantidades de zinco fixadas foram direta e positivamente correlacionadas com o teor de fosfato solúvel do solo em 30 solos cujo pH variou de 4,4 a 6,5 e teor de fósforo de 2 a 50 mg dm⁻³.

As interações de cobre podem ocorrer com os nutrientes potássio (Daliparthy et al., 1994), zinco (Luo & Rimmer, 1995), nitrogênio (Soon et al., 1997) e fósforo (Rhoads et al., 1992). Dentre essas, a interação com fósforo é uma das mais importantes. Conforme Robson & Reuter (1981), a menor concentração de cobre na planta causada pelas adubações fosfatadas pode ser devida ao efeito de diluição.

A temperatura e a luz afetam a disponibilidade de zinco e cobre para as plantas. Martin et al. (1965) citam que os sintomas de deficiência de zinco são mais severos à baixa temperatura; a resposta das plantas ao fertilizante contendo zinco é menor quando a temperatura do solo é alta; a probabilidade da adubação fosfatada induzir a deficiência de zinco é maior a baixas temperaturas do solo; e tanto a concentração como a absorção de zinco são maiores quando a temperatura do solo é maior. Já para o cobre a temperatura tem efeito na liberação do cobre da fração orgânica. A absorção de cobre nativo e adicionado ao solo, por plantas de cenoura cultivadas em solo orgânico ácido, aumentou com o aumento da temperatura de 8°C para 20°C (MacMillan & Hamilton, 1971).

2.1.2. Avaliação da disponibilidade de zinco e cobre para as plantas

A análise de solo determina uma fração de cada elemento no solo que, sendo mais ou menos lábil, é considerada disponível. Muitos métodos podem ser utilizados para avaliar qual a proporção do nutriente disponível para as plantas. A fração disponível pode estar associada ou correlacionada com índices, geralmente obtidos por métodos de extração química. As dificuldades no estabelecimento desses índices são maiores para os micronutrientes, devido aos baixos teores no solo e aos mecanismos que controlam as reações de disponibilidade (Abreu et al., 2001).

Uma das primeiras referências de análise de solo para zinco foi feita por Wear & Sommer (1948), em que os autores propuseram a utilização da solução de HCl 0,1 mol L⁻¹ para avaliar a disponibilidade de zinco para o milho em solos do Alabama. Esse extrator foi inicialmente utilizado na região centro norte dos Estados Unidos para avaliar o zinco. Posteriormente, foi também utilizado para avaliar o cobre disponível em solos neutros e ácidos. O método não é adequado para estimar a disponibilidade de cobre e zinco em solos calcários, pois o HCl nessa concentração dissolve o carbonato e libera os elementos que estão na forma oclusa, que em condições normais, são indisponíveis às plantas (Trierweiler & Lindsay, 1969; Bauer, 1971). O método foi modificado várias vezes desde sua primeira utilização em 1948. Foram incluídas modificações na relação solo-solução, no modo e tempo de agitação.

No Brasil, uma das primeiras referências de utilização da análise de zinco e cobre do solo para diagnosticar a sua disponibilidade para as plantas data de 1950 com a utilização do HNO₃ 0,01 mol L⁻¹ como solução extratora (Paiva Netto et al., 1950, citado por Abreu et al., 2001). No início dos estudos de avaliação de micronutrientes, foram utilizadas soluções concentradas de ácidos fortes que foram ineficientes para essa finalidade. A partir daí, foram conduzidos muitos estudos em solos de diversas regiões do Brasil utilizando-se diferentes soluções extratoras, tais como ácidos diluídos e soluções de sais e de agentes quelantes. Porém, até o final da década de 70 e início da década de 80, a extração de zinco e cobre pelas plantas não foi considerada na seleção de métodos, conforme pode ser observado nos trabalhos de Lopes

(1975), Horowitz & Dantas (1973) e Horowitz & Dantas (1976). Um dos primeiros trabalhos em que a absorção de zinco foi relacionada com as quantidades extraídas por diferentes soluções (HCl, Mehlich 1 e EDTA) foi feito por Lantmann (1980) com solos do RS.

A partir do início da década de 80, o critério mais utilizado para seleção de métodos para cobre e zinco em trabalhos de pesquisa é o coeficiente de correlação obtido entre os teores de zinco e cobre no solo e as quantidades absorvidas pelas plantas (Abreu et al., 2001). Os métodos mais testados em solos, principalmente, das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil foram o Mehlich 1 e a solução de HCl, desenvolvidos para solos ácidos, e o EDTA e o DTPA pH 7,3, desenvolvidos para solos calcários ou neutros (Lantmann 1980; Casagrande et al., 1982; Muraoka et al., 1983; Galvão & Sousa, 1985; Ritchey et al., 1986; Abreu et al., 1987; Galvão, 1988; Bataglia & Raij 1989; Barbosa Filho et al., 1990).

O extrator mais utilizado no Brasil para avaliar a disponibilidade de zinco e cobre para as plantas é o Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹). O método, originalmente, foi desenvolvido para determinação de fósforo lábil em solos ácidos (Mehlich, 1953), mas a partir de 1974 muitos laboratórios da região sudeste dos Estados Unidos passaram a utilizá-lo para extração de cálcio, magnésio, potássio, manganês, cobre e zinco (Reed & Martens, 1996).

Lantmann e Meurer (1982) em um estudo em casa-de-vegetação para avaliar a disponibilidade de zinco para o milho por diferentes extratores, obtiveram coeficientes de correlação significativos para a relação zinco absorvido pelo milho e zinco extraído dos solos, sendo esses respectivamente de 0,79, de 0,79 e de 0,81 para a solução de HCl 0,1 mol L⁻¹, de Mehlich 1 e de Na₂EDTA.

Bataglia & Raij (1989) em um estudo com 26 solos de São Paulo para avaliar alguns extratores de micronutrientes, verificaram uma baixa eficiência da solução de HCl 0,1 mol L⁻¹ em estimar a disponibilidade de zinco para o sorgo e girassol, com coeficientes de correlação entre as quantidades extraídas pelos métodos e as quantidades absorvidas pelas plantas relativamente baixos (0,53 e 0,75, respectivamente). Na avaliação do nutriente

cobre os coeficientes de correlação foram de 0,47 para o sorgo e de 0,35 para o girassol.

A solução de Mehlich 1 foi modificada pelo autor em 1978, devido à superestimação de fósforo em solos calcários, originando a solução de Mehlich 2 composta por NH_4Cl $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ + CH_3COOH $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ + NH_4F $0,015 \text{ mol L}^{-1}$ + HCl $0,012 \text{ mol L}^{-1}$ e com pH aproximado de 2,5 (Mehlich, 1978). Porém, devido à alta concentração de compostos clorados nessa solução extratora, ocorria corrosão excessiva do aparato laboratorial. Em 1984, houve outra modificação que deu origem à solução de Mehlich 3 (CH_3COOH $0,02 \text{ mol L}^{-1}$, NH_4NO_3 $0,25 \text{ mol L}^{-1}$, NH_4F $0,015 \text{ mol L}^{-1}$, HNO_3 $0,013 \text{ mol L}^{-1}$ e EDTA $0,001 \text{ mol L}^{-1}$). Objetivo da mudança foi proporcionar a determinação de micronutrientes com a mesma solução utilizada para a determinação de fósforo e potássio em solos do sudeste dos EUA (Mehlich, 1984). Com a inclusão do fluoreto de amônio na solução extratora, a capacidade de estimativa de fósforo melhorou em solos com pH próximo à neutralidade e em solos alcalinos devido, em parte, à menor acidez dessa solução se comparada à solução de Mehlich 1. O EDTA foi incluído para possibilitar a extração de cobre, manganês e zinco.

A solução de Mehlich 3 foi utilizada por Davis et al. (1995) na comparação de extratores de zinco para avaliar a disponibilidade deste à cultura do amendoim. O coeficiente de correlação entre as quantidades extraídas com a solução de Mehlich 3 e o teor de zinco na folha foi de 0,78.

A utilização isolada do coeficiente de correlação ou determinação entre o zinco no solo e o absorvido pelas plantas nem sempre permite definir qual o melhor método (HCl, Mehlich 1, EDTA e DTPA) pois, em geral, além desses coeficientes serem baixos, têm valores muito próximos uns dos outros. No exemplo, para milho como planta teste, os valores do coeficiente de correlação obtidos entre zinco no solo e zinco absorvido foram de: 0,85 (HCl), 0,85 (Mehlich 1) e 0,87 (DTPA) (Buzetti, 1992); 0,58 (HCl) e 0,61 (DTPA) (Bataglia & Raij, 1994); 0,61 (Mehlich 1) e 0,71 (DTPA) (Abreu & Raij, 1996). Borkert et al. (2004), utilizando a soja com o planta teste, obtiveram valores próximos entre si de 0,91 (Mehlich 1), 0,90 (Mehlich 3) e 0,86 (DTPA) quando a fonte de zinco utilizada foi o sulfato e de 0,90 (Mehlich 1), 0,93 (Mehlich 3), 0,83 (DTPA) quando a fonte foi óxido de zinco. Constata-se que os valores dos coeficientes nesse trabalho foram altos. Isso se deve, em parte, ao fato de ter

sido utilizado apenas um solo e terem sido adicionadas doses crescentes de zinco ao solo.

Os resultados referentes ao cobre são semelhantes ao relatados para o zinco, embora alguns trabalhos indiquem que as soluções de HCl e de DTPA apresentam uma relação melhor entre a extração e a absorção por plantas do que entre esta e a solução de Mehlich 1. Cruz & Ferreira (1990) obtiveram valores de correlação entre o cobre no solo e o absorvido pelo milho de 0,72 (HCl) e 0,76 (DTPA). Para o trigo, Abreu et al. (1996) relatam valores de 0,60 (Mehlich 1), 0,88 (DTPA) e 0,89 (Mehlich 3). Cancela et al. (2001) com a cultura do milho obtiveram valores de 0,71 (Mehlich 3) e 0,72 (Mehlich 1) e com a soja, valores de 0,73 (Mehlich 3) e de 0,55 (Mehlich 1). Gimenez et al. (1992) com o objetivo de avaliar a toxicidade de cobre em mudas de cafeeiro, encontraram valores de coeficiente de correlação de 0,61 (HCl), de 0,54 (Mehlich 1) e de 0,63 (DTPA). Borkert et al. (2004), utilizando a soja como planta teste, obtiveram valores de 0,85 (Mehlich 1), 0,89 (Mehlich 3) e de 0,82 (DTPA), quando a fonte foi sulfato de cobre e de 0,68 (Mehlich 1), de 0,59 (Mehlich 3) e de 0,75 (DTPA) quando a fonte foi óxido de cobre. Assim como para o zinco, os autores utilizaram apenas um solo com doses crescentes do elemento cobre.

A seleção de métodos para avaliar a disponibilidade de nutrientes tem pouca utilidade, se, após escolhido o método, este não for calibrado. No Brasil, foram realizados diversos ensaios de calibração com o objetivo de estabelecer os teores críticos para esses elementos no solo, principalmente para zinco, nas seguintes culturas: sorgo (Ritchey et al., 1986); soja (Silva et al., 1986; Galvão, 1993); arroz (Silva & Andrade, 1986); e milho (Ritchey et al., 1986; Buzetti et al., 1991; Cruz, 1994; Galvão 1996). Como resultado desses estudos foram estabelecidos os teores críticos de Zn para algumas regiões. Na região dos cerrados, foi estabelecido o valor de $1,6 \text{ mg dm}^{-3}$ (com a solução extratora de Mehlich 1). Galvão (1996) determinou, especificamente para a cultura milho, o valor de $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$ para solos dessa mesma região (Sousa & Lobato, 2002). Para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, o teor crítico de zinco é de $0,50 \text{ mg dm}^{-3}$ com a solução de HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (Comissão..., 2004); e para o Estado de São Paulo é de $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$ com a solução de DTPA (Raij et al., 1996).

O teor crítico de cobre é de $0,40 \text{ mg dm}^{-3}$ com a solução de HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ nos solos dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Comissão, 2004). Para o Estado de São Paulo é de $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$ com a solução de DTPA (Raij et al., 1996). Na região dos cerrados é de $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$ com a solução extratora de Mehlich 1 (Sousa & Lobato, 2002).

2.2 Seleção de métodos de extração de nutrientes do solo

A etapa do processo de seleção de métodos de análise compreende os estudos de correlação entre métodos e parâmetros de planta. Em uma correlação, o coeficiente de correlação expressa o grau de ajuste entre os valores de duas ou mais variáveis. Nos trabalhos de correlação de análise química de solos, define-se uma metodologia de análise que melhor se ajuste às características do solo. O novo método deve ser comparado ao método considerado padrão, sendo uma aproximação adequada da realidade. O método considerado padrão para as formas disponíveis assemelha-se, teoricamente, à planta com seu sistema radicular extraindo as quantidades disponíveis de um nutriente. Essa etapa, por conveniência e economicidade, é conduzida em casa-de-vegetação, utilizando-se um grande número de solos representativos da região em que o método será utilizado (Sims & Johnson, 1991). A vantagem desses experimentos em casa-de-vegetação, em relação àqueles conduzidos a campo, é o maior controle das variáveis ambientais, dos efeitos do subsolo, do clima, das moléstias, etc. Entretanto, os resultados obtidos nessa fase não podem ser extrapolados diretamente para as condições de campo (Corey, 1987).

O método ideal seria aquele que, no conjunto de solos estudados, apresentasse a média dos resultados iguais à média obtida com o método considerado padrão e a correlação (r) igual a 1. Para isso, ao se estimar, por exemplo, a regressão linear ($y = a + bx$) entre o método padrão (y_1) e método novo (y_2), “a” seria igual a zero e “b” igual a 1. Na prática isso não ocorre, pois as médias são diferentes entre si. Além de uma alta significância do valor de “r” é essencial que o valor de “a” tenda para zero e que “b” e “r” tendam para 1. Assim, além de mera interpretação dos dados de pesquisa, pode-se também

utilizar essa relação com a finalidade de prever a absorção de um nutriente em função da medida de sua disponibilidade no solo (Alvarez, 1996).

A etapa subsequente ao processo de seleção do método consiste na calibração deste a campo. Nessa relacionam-se os valores obtidos pelo método com o rendimento relativo de uma determinada cultura. É um processo demorado, demanda grandes quantidades de recursos financeiros e a participação de várias instituições de pesquisa. A calibração deve ser específica para cada nutriente e cultura (ou grupo de culturas semelhantes) e para cada região. É nessa fase que são definidos os teores críticos e as doses de nutrientes a serem adicionadas aos solos em cada faixa de teor (Black, 1993). O teor crítico é definido como o valor da concentração do nutriente que permite separar grupos de solos com alta probabilidade de respostas de solos com baixa probabilidade de resposta às adições do nutriente em estudo (Alvarez, 1996).

2.3. Métodos de avaliação da disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio para as plantas

2.3.1. Fósforo

A avaliação do fósforo (P) disponível do solo às plantas é feita, geralmente, com o uso de soluções extratoras, ou por troca iônica, que visam à quantificação de formas capazes de repô-lo à solução quando da absorção das plantas. A grande parte dos métodos em uso nos laboratórios de análise de solos foi desenvolvida entre os anos de 1950 e 1960, antes do conhecimento dos mecanismos de transporte de nutrientes no solo e sua absorção pelas raízes das plantas.

Segundo Fixen & Grove (1990), os extratores utilizados para diagnóstico do fósforo disponível no solo são normalmente baseados em soluções de reagentes químicos e podem ser classificados em quatro grandes grupos conforme seu modo de ação. São eles: a) dissolução ácida; b) troca iônica; c) complexação de cátions e; d) hidrólise de cátions.

Nos extratores do primeiro grupo, que agem por dissolução ácida, são usados ácidos fortes (como o clorídrico, o nítrico e o sulfúrico) ou ácidos

fracos (como o acético, o cítrico e o láctico) que promovem a dissolução parcial dos colóides inorgânicos, sendo extraídas, em ordem decrescente de efetividade, as formas P-Ca, P-Al e P-Fe. No segundo grupo de extratores, que agem por troca iônica, o íon fosfato dos sítios de adsorção dos colóides é substituído por ânions da solução extratora. Esses íons normalmente são oriundos de compostos como o acetato, o bicarbonato, o citrato, o lactato ou o sulfato. Nesse grupo de extratores, a extração de fósforo não é influenciada pelos tipos de colóides, pois depende da energia de ligação com o colóide e não da capacidade de dissolução do extrator. No terceiro grupo, o mecanismo de extração é por complexação dos colóides. Assim, quando a solução extratora contém fluoreto ou alguns ânions orgânicos (citrato e lactato), estes complexam alumínio com a conseqüente liberação do íon fosfato ligado a compostos de alumínio. De forma semelhante, o bicarbonato complexa o cálcio (sendo precipitado CaCO_3) liberando fósforo de compostos P-Ca. No quarto grupo de soluções extratoras, a forma de liberação de fósforo dos compostos ocorre em pH alto devido à adição de ânions-hidroxila (OH^-). Estes ânions dissolvem compostos P-Al e P-Fe pela hidrólise dos cátions ferro e alumínio na superfície dos colóides. Também, agentes de troca iônica, como a resina de troca de ânions (Amer et al., 1955), e agentes adsorventes, como o papel impregnado com óxidos de ferro, podem ser utilizados para extração do fósforo disponível no solo (Bissani et al., 2002).

Os laboratórios de análise de solo do Brasil utilizam com freqüência maior a solução de Mehlich 1 e a resina trocadora de íons (Silva & Raij, 1999). A solução de Mehlich 1 é utilizada pela Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Comissão..., 2004) e a resina em grande parte dos laboratórios do Estado de São Paulo (Silva & Raij, 1999).

A solução de Mehlich 1 (Mehlich, 1953) é composta por uma mistura de ácidos fortes diluídos (HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) cujo pH varia entre 2 e 3. A extração do fósforo ocorre pela dissolução ácida dos compostos fosfatados de fraca energia, sendo maior para fosfatos ligados ao cálcio, em seguida para os ligados ao alumínio e, por último, para aqueles ligados ao ferro. O princípio do método é a dissolução ácida, porém um efeito secundário de troca iônica nos sítios de adsorção também ocorre.

Dentre as principais vantagens da utilização do método Mehlich 1, está a sua facilidade de execução e o baixo custo de análise. Por outro lado, tem algumas desvantagens, entre elas, a extração preferencial de compostos de cálcio, superestimando os teores disponíveis em solos com presença de fosfatos de cálcio como mineral primário e também nos que receberam adubação com fosfatos naturais (Mehlich, 1978; Sfredo et al., 1979; Mehlich, 1984; Evans & McGuire, 1990; Alva, 1993; Kaminski & Peruzzo, 1997). Também, em solos argilosos, a quantidade de fósforo extraído pelo Mehlich 1 é menor, pois com o aumento do teor de argila a capacidade extrativa diminui devido, em parte, ao consumo de íons hidrogênio e sulfato do extrator pelos grupos funcionais não ocupados pelo fósforo nos colóides inorgânicos e/ou pela readsorção de fósforo aos colóides durante a extração (Cajuste & Kussow, 1974; Bahia Filho et al., 1983). Por essas razões, podem ser obtidas regressões não satisfatórias entre teor de fósforo no solo e parâmetros de plantas, como observado por Silva & Rajj (1999) em dados de 25 trabalhos com o método Mehlich 1. Os autores constataram que o coeficiente de correlação médio entre o fósforo extraído por esse método e os parâmetros de planta foi de 0,46. Em trabalhos realizados no Brasil, Anghinoni & Wolkweiss (1984) reuniram resultados de onze ensaios de curta duração e observaram que os valores de r^2 variaram de 0,10 a 0,94 (média de 0,57) entre o fósforo extraído pela solução de Mehlich 1 o fósforo absorvido pelas plantas.

Devido aos problemas de superestimação de fósforo em solos calcários ou com adição de fosfatos naturais e à baixa capacidade de extração em solos argilosos, pela neutralização parcial da solução extratora e/ou à readsorção do fósforo já solubilizado (Kamprath & Watson, 1980), o método Mehlich 1 foi modificado por Mehlich (1978), criando o método Mehlich 2. A solução extratora desse método é composta por NH_4Cl $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ + CH_3COOH $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ + NH_4F $0,015 \text{ mol L}^{-1}$ + HCl $0,012 \text{ mol L}^{-1}$ e tem pH aproximado de 2,5. Porém, devido à alta concentração de compostos clorados na solução extratora, ocorre corrosão excessiva do aparato laboratorial. Por isso, em 1984 Mehlich modificou a composição da solução extratora e originou o método Mehlich 3 (Mehlich, 1984).

As modificações no método Mehlich 3 melhoram sua capacidade de extração, além da possibilidade de extração de outros nutrientes do solo. Isso

umenta a eficiência dos laboratórios de rotina, pois elimina a necessidade de vários extratores, tornando-se um método rápido, de fácil execução e baixo custo. Além disso, é aplicável a uma gama de solos com características variáveis (Sims, 1989).

Devido à necessidade de manter o pH baixo a fim de estimar o fósforo ligado a de compostos de Fe e de Al, foi mantido o ácido acético para tamponar o pH abaixo de 2,9. Em pH baixo, o íon fluoreto é mais efetivo na troca com o fosfato e, ao mesmo tempo, não causa dissolução excessiva de P-Ca. Para resolver o problema de corrosão do método Mehlich 2, os compostos clorados foram substituídos por NH_4NO_3 e HNO_3 . Ainda, para extração simultânea de micronutrientes, especificamente o cobre, foi acrescentado EDTA na solução extratora. Assim, a composição da solução Mehlich 3 é CH_3COOH $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ + NH_4NO_3 $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ + NH_4F $0,015 \text{ mol L}^{-1}$ + HNO_3 $0,013 \text{ mol L}^{-1}$ + EDTA $0,001 \text{ mol L}^{-1}$. Segundo o autor, este método é efetivo na extração de P, K, Ca, Mg, Na, Mn, Zn e Cu.

Devido ao maior espectro de ação do extrator, a quantidade de fósforo extraído pela solução de Mehlich 3 é maior do que pela solução de Mehlich 1, normalmente entre 150 a 200% a mais (Wolf & Baker, 1985; Sims, 1989; Kroth, 1998; Gattiboni, 2003; Schindwein, 2003). Porém, apesar das modificações introduzidas no método Mehlich 3, o coeficiente de determinação obtido por Kroth (1998), em alguns solos do Rio Grande do Sul, entre o fósforo absorvido por plantas e a quantidade extraída por essa solução foi baixo e semelhante ao obtido com a solução de Mehlich 1.

No Rio Grande do Sul e Santa Catarina, é crescente o número de pesquisadores que defendem o uso de outros métodos em substituição ao Mehlich 1 para avaliar a capacidade do solo em disponibilizar fósforo às plantas. Isso decorre, em parte, da baixa previsibilidade da necessidade de adubação fosfatada em solos que recebem fosfatos naturais e também devido às baixas quantidades de fósforo extraído em solos de textura argilosa, o que determina faixas de interpretação de teores de fósforo condicionadas à classificação textural dos solos (Gattiboni, 2003).

Dentre os métodos mais cogitados pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – RS/SC (2001) como alternativos ao Mehlich 1 estão o Mehlich 3 e a

resina de troca iônica em membrana. A resina trocadora de íons, como método de extração de fósforo do solo, foi proposta por Amer et al. (1955). A partir dessa data tem sido utilizada para extração de vários elementos do solo. As resinas são materiais sintéticos de alta massa molecular, constituídos de uma matriz polimérica com grupos funcionais responsáveis pela troca de íons (Amer et al., 1955).

O princípio da extração do fósforo pela resina de troca iônica em membrana é a remoção contínua do íon fosfato da solução do solo pela troca com o bicarbonato adsorvido na resina. Isso gera um gradiente de concentração que força a saída do íon fosfato da superfície dos colóides, até que seja alcançado um equilíbrio eletroquímico entre o solo e a resina de troca iônica (Skogley & Dobermann, 1996). Silva & Rajj (1999) consideram que a resina trocadora de ânions, como extrator de fósforo, é adequada para a estimativa do fator quantidade e é melhor do que os outros extratores porque o processo de extração se assemelha à ação das raízes das plantas; não ocorre perda de força de extração do fósforo em solos com alto teor de argila; não provoca dissolução química de constituintes do solo; evita a superestimação do fósforo disponível em solos que recebem adubação com fosfatos naturais; e o processo se desenvolve em pH próximo à neutralidade.

Para solos que receberam fosfatos naturais, Kroth (1998) mostrou que embora a resina de troca iônica em membrana extraísse menos fósforo que o Mehlich 1, esta também superestimou o fósforo disponível apresentando baixas correlações com a absorção pelas plantas. O mesmo foi observado por Schlindwein et al. (2002) em dois solos do RS com a adição de doses de fosfato natural. Na dose mais alta de fosfato natural, a concentração obtida pelo Mehlich 1 foi aproximadamente três vezes maior daquela obtida com a resina em membrana.

Os métodos para avaliação da disponibilidade de fósforo não necessitam extrair todo o fator quantidade do solo, desde que seja mantida a proporcionalidade da fração extraída em diferentes tipos de solo e os estoques de fósforo (Wolf & Baker, 1985; Novais & Smyth, 1999). No entanto, isso faz com que haja necessidade de calibração do método a campo para correlacionar quantidades extraídas pelo método com quantidades absorvidas de fósforo e/ou produtividade das culturas.

2.3.2. Potássio, cálcio e magnésio

A avaliação da disponibilidade de potássio, cálcio e magnésio para as plantas é feita pela estimativa de suas quantidades na forma trocável. Esta é obtida com a utilização de soluções neutras contendo íons amônio ou sódio, que por troca iônica removem a fração considerada trocável. Também são utilizadas soluções ácidas diluídas (Mehlich, 1953; Mehlich 1984).

A solução considerada padrão para extração desses elementos é o acetato de amônio 1 mol L^{-1} a pH 7,0 (Haby, et. al., 1990), em uso por mais de 50 anos. O método é simples, rápido, de baixo custo e de boa precisão. Porém, para maior eficiência nos laboratórios de rotina, soluções que extraem diversos elementos simultaneamente têm sido preferidas, especialmente pela determinação dos elementos por técnicas de análises multielementar como a espectrometria de emissão de plasma (ICP).

Mehlich (1953) propôs o uso da solução de duplo ácido para extração de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio, manganês e zinco. As quantidades de potássio extraído por essa solução correlacionam-se com as quantidades extraídas pela solução de acetato de amônio, porém a solução de Mehlich 1 extrai quantidades menores (Reed & Martens, 1996). Já a extração de potássio com a solução de Mehlich III é aproximadamente 20% maior do que o acetato de amônio. Para cálcio e magnésio também se observou uma maior extração em relação ao Mehlich 1 (Reed & Martens, 1996).

A determinação de cálcio e magnésio trocáveis do solo em laboratórios de rotina nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina é feita com a solução de KCl 1 mol L^{-1} (Comissão..., 2004). Os valores são semelhantes aos obtidos com a solução de acetato de amônio e correlacionam-se bem. Porém esse método tem a desvantagem da deposição excessiva de sais de potássio sobre o queimador do espectrofotômetro de absorção atômica, exigindo uma limpeza cuidadosa para determinação subsequente de potássio. Isto faz com que a eficiência do laboratório diminua.

Outro método utilizado para a determinação de potássio é a resina trocadora de íons. Foi proposto por Amer (1955) para extração de fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Este método tem excelentes correlações com os

métodos utilizados pelos laboratórios de rotina nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Kroth (1998), estudando metodologias de análise de solo para fósforo, potássio, cálcio e magnésio em 20 solos do Rio Grande do Sul, obteve alto grau de correlação entre o método da resina e o KCl (0,99 para cálcio, 0,98 para magnésio). Porém, o autor observou que o método da resina extrai menos potássio em solos com altos teores, possivelmente devido à saturação da resina com essas altas quantidades de potássio no solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho consistiu de dois estudos. No primeiro, em microparcelas a céu aberto, nas instalações do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, foi avaliada a disponibilidade dos nutrientes cobre, zinco, fósforo e potássio para as plantas em diferentes solos do Rio Grande do Sul. No segundo, em laboratório, foi comparada a eficiência de soluções extratoras na determinação de fósforo lábil, potássio, cálcio, e magnésio trocáveis e cobre e zinco extraíveis com o conjunto de solos utilizados no primeiro estudo.

3.1. Experimento em microparcelas

O experimento em microparcelas foi conduzido de julho de 2003 a março de 2004. Nesse estudo foi avaliada a capacidade de três procedimentos de extração de cobre e de zinco, quatro procedimentos de extração de fósforo e cinco procedimentos de extração de potássio para avaliar a disponibilidade desses nutrientes às plantas de milho e de soja. Para isso foram utilizados solos com ampla variação em seus constituintes físicos, químicos e mineralógicos.

3.1.1. Solos utilizados

O experimento foi conduzido com solos de classes representativas do Estado do Rio Grande do Sul. Foram coletados por Miola (1995), para avaliar a disponibilidade de fósforo por diversos métodos de extração. A localização e a classificação brasileira são relacionadas no Apêndice 1 e a caracterização física e química feita por Miola (1995), por ocasião da coleta dos

solos no campo, é apresentada no Apêndice 2. No estudo de Miola (1995), para cada solo foram adicionadas 2 doses de fósforo correspondendo a 1,5 e 2 vezes a dose necessária para a adubação da cultura do trigo de acordo com as recomendações de adubação da Comissão... (1989).

Durante o intervalo de 1995 a 1998 os solos foram mantidos em microparcelas (aproximadamente 25 dm³) expostas ao tempo. Esses solos foram novamente utilizados por Kroth (1998), num estudo de avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas. Devido aos altos teores de fósforo nos tratamentos que receberam fósforo no estudo de Miola (1995), para o estudo de Kroth (1998), os vasos de cada solo (num total de 3 tratamentos e 2 repetições) foram desmontados e o solo de cada vaso misturado para ter aproximadamente os teores de fósforo 0,5, 1,5, e 3 vezes o valor considerado “alto” na tabela de interpretação da ROLAS (Comissão, 1995) mais o tratamento testemunha (sem adição de fósforo). Com esse procedimento foram estabelecidos quatro níveis de fósforo para cada solo sem repetição. Após a conclusão do experimento conduzido por Kroth (1998), os solos foram mantidos em microparcelas (com aproximadamente 20 dm³ de solo) expostas ao tempo.

Em 2003, início da presente etapa, o solo de cada unidade experimental foi tamisado em peneira de malha com orifícios de 4 mm de diâmetro e acondicionado em vaso de PVC com capacidade de 11 dm³, utilizando-se 9 dm³ de solo com 2 repetições, até a época de plantio do milho, mantendo-se o teor de umidade entre 75 a 80% da capacidade de campo.

Devido ao longo período de armazenagem dos solos e pelo tempo de aplicação do fertilizante fosfatado, cada solo com dose de fósforo adicionada foi considerado uma unidade experimental (9 dm³). Esse foi o conjunto de solos utilizados no trabalho.

3.1.2. Caracterização física e química dos solos

Após a tamisação e homogeneização do solo em 2003, foi coletada uma amostra de cada unidade experimental para análise físico-química. Os resultados analíticos são apresentados no Apêndice 3. Nessa caracterização foram determinados: pH em água na relação 1:1; índice SMP; fósforo e

potássio extraídos pela solução de Mehlich 1; cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, extraídos por $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ e matéria orgânica por oxidação com solução sulfocrômica. A acidez titulável (H+Al) foi determinada após a extração com acetato de cálcio $1,0 \text{ mol}_c \text{ L}^{-1}$. A determinação de argila foi feita método do densímetro. Todo o procedimento analítico utilizado está descrito em Tedesco al. (1995).

3.1.3. Adubação e incubação dos solos

Na instalação do experimento em 2003, após a homogeneização, foram separados 18 dm^3 de solo por tratamento ($2 \times 9 \text{ dm}^3$). Para cada tratamento foram adicionados por decímetro cúbico de solo: 0,1 mg de Mo ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$); 0,5 mg de B (H_3BO_3) e 5,0 mg de S ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), em solução. Não houve necessidade de correção da acidez nos solos em estudo, pois os teores de alumínio trocável estavam abaixo dos valores limites para afetar o desenvolvimento radicular.

Após a adição desses elementos, os solos foram novamente homogeneizados. Foram preparados vasos de PVC (microparcelas) de 30 cm de altura com capacidade para 11 dm^3 , nos quais foi colocado na parte inferior um suporte perfurado e uma tela de nylon com ocupação equivalente a 1 dm^3 para facilitar a drenagem. Um volume de 9 dm^3 foi transferido para cada vaso. Os vasos foram dispostos em blocos casualizados com duas repetições. Durante setenta dias, foram mantidos ao tempo cobertos com uma tela de nylon para evitar o impacto direto das gotas da chuva na superfície do solo. Na ausência de chuva, os solos foram umedecidos com água deionizada em intervalos de 4 a 5 dias.

3.1.4. Amostragem do solo para análise

Antes da semeadura da cultura milho e da cultura soja, foram coletadas amostras de solo da camada superficial (aproximadamente de zero a 20 cm de profundidade) num volume de $0,5 \text{ dm}^3$ de solo, utilizando-se um trado calador. Após a coleta, o solo do vaso (na camada de 0-20 cm) foi revolvido com a finalidade de homogeneização e compactado levemente (esse

procedimento foi feito antes de cada cultivo). As amostras de solo foram secas em estufa com circulação forçada de ar durante 72 horas à temperatura de 45 °C. Posteriormente o solo foi moído em gral de porcelana e tamisado em peneira com orifícios de 2 mm de diâmetro e armazenado para análise físico-química.

3.1.5. Condução do experimento

Nas microparcelas, no primeiro cultivo, foi semeado milho (*Zea mays*) cultivar Pioneer 32R31. A semeadura foi realizada na primeira quinzena do mês de outubro de 2003, utilizando-se seis sementes por vaso. Após a emergência das plântulas, foi feito o desbaste, mantendo-se três plantas por vaso. A adubação nitrogenada foi feita com solução de uréia aplicada na superfície do solo, na quantidade de 100 mg de N dm⁻³ de solo, sendo parcelada em três aplicações: 1/3 na semeadura, 1/3 aos 15 dias e 1/3 aos 30 dias da semeadura. Uma dose complementar de N de 50 mg de N dm⁻³ de solo foi aplicada nos solos das unidades de mapeamento Bom Retiro e Itapuã, devido aos sintomas de deficiência de nitrogênio apresentados no início de desenvolvimento das plantas. Aos 45 dias de cultivo (25/11/2004) as plantas foram cortadas a 1 cm da superfície do solo e secas em estufa à temperatura de 65 °C até peso constante.

No segundo cultivo foi semeada soja (*Glycine max*) cultivar BR46. A semeadura foi feita na primeira semana do mês de janeiro de 2004, utilizando-se por vaso seis sementes inoculadas com *Bradyrhizobium*. Após a emergência das plântulas, foi feito o desbaste, mantendo-se três plantas por vaso. Aos 45 dias de cultivo (19/2/2005) as plantas foram cortadas a 1 cm da superfície do solo e secas em estufa à temperatura de 65 °C até peso constante.

A matéria seca da parte aérea das plantas de ambos os cultivos foi quantificada e moída. A determinação dos nutrientes no tecido foi feita no extrato nítrico-perclórico, conforme o método descrito por Tedesco et al. (1995). O controle fitossanitário de moléstias da parte aérea não foi necessário em nenhum dos cultivos.

Nos períodos de baixa precipitação pluviométrica durante os cultivos, foi feita a irrigação com água deionizada. A água foi adicionada

vagarosamente até o início do escoamento pelo orifício de drenagem localizado na parte inferior do vaso.

3.1.6. Extração e determinação do fósforo e potássio disponíveis no solo.

Nas amostras de solo coletadas antes de cada cultivo foram extraídos o fósforo e o potássio disponíveis pelas soluções de Mehlich 1 (Tedesco et al., 1995), de Mehlich 3 (Mehlich, 1984) e por resina trocadora de íon em membrana (Kroth, 1998). A determinação de fósforo foi feita por espectrofotometria e a de potássio por emissão. O procedimento analítico está detalhado em Tedesco et al. (1995).

3.1.6.1. Solução de Mehlich 1

Esse método foi proposto por Mehlich (1953) para extração de fósforo e potássio disponíveis para as plantas em solos da região Leste dos EUA. É também utilizado nos laboratórios de rotina nos Estados do RS e de SC. A solução extratora é constituída por H_2SO_4 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹.

3.1.6.2. Solução de Mehlich 3

Este método de extração de fósforo e de potássio disponíveis no solo foi proposto por Mehlich (1984), para solos da região Leste dos EUA, é utilizado por muitos laboratórios de rotina particulares e de universidades dos Estados Unidos. A solução extratora é composta por CH_3COOH 0,2 mol L⁻¹ + NH_4NO_3 0,25 mol L⁻¹ + NH_4F 0,015 mol L⁻¹ + HNO_3 0,013 mol L⁻¹ + EDTA 0,001 mol L⁻¹. O procedimento analítico adotado nesse estudo foi o mesmo descrito por Mehlich (1984), à exceção da filtração, que foi substituída pela decantação por 16 horas.

3.1.6.3. Resina de troca iônica em membrana

A extração de fósforo e potássio disponíveis no solo pela resina trocadora de íons foi feita conforme Kroth (1998), utilizando as resinas AR103QDP434 e CRG1CZR42 (trocadoras de ânions e cátions respectivamente) comercializadas pela IONICS, INC, USA.

3.1.7. Extração e determinação do potássio, cálcio e magnésio trocáveis no solo

O potássio, o cálcio e o magnésio trocáveis foram extraídos pela solução de acetato de amônio a pH 7 (Embrapa, 1979) e por resina em membrana (Kroth, 1998). O cálcio e o magnésio trocáveis também foram extraídos pela solução de KCl 1 mol L⁻¹ e pelas solução de Mehlich 1 (Tedesco et al., 1995) e de Mehlich 3 (Mehlich, 1984). A determinação dos três elementos foi feita por emissão.

3.1.7.1. Solução de acetato de amônio 1 mol L⁻¹ a pH 7

Esse método é considerado o método padrão para determinação de cátions trocáveis no solo. A constituição química da solução extratora é o acetato de amônio 1 mol L⁻¹ a pH 7. O procedimento analítico utilizado nesse estudo é descrito em Embrapa (1979).

3.1.7.2. Solução de KCl 1 mol L⁻¹

Esse método é utilizado pelos laboratórios de análises rotina dos Estados do RS e SC. A extração de cálcio e magnésio trocáveis no solo é feita por uma solução de KCl 1 mol L⁻¹. O procedimento analítico é descrito em Tedesco et al. (1995).

3.1.7.3. Resina de troca iônica

O procedimento foi o mesmo descrito no item 3.1.6.3.

3.1.7.4. Solução de Mehlich 1

O procedimento foi o mesmo descrito no item 3.1.6.1.

3.1.7.5. Solução de Mehlich 3

O procedimento foi o mesmo descrito no item 3.1.6.2.

3.1.8. Extração e determinação do cobre e zinco disponíveis no solo

O cobre e o zinco disponíveis no solo foram extraídos pelas soluções de HCl 0,1 mol L⁻¹ (Tedesco et al., 1995), e pelas soluções de Mehlich 1 (Tedesco et al., 1995) e de Mehlich 3 (Mehlich, 1984). A determinação foi feita por espectrofotometria de absorção atômica.

3.1.8.1. Solução de HCl 0,1 mol L⁻¹

Esse é o método utilizado para a determinação de cobre e zinco disponíveis no solo pelos laboratórios dos Estados do RS e SC. A solução extratora é constituída por HCl 0,1 mol L⁻¹. O procedimento usado nesse estudo está descrito em Tedesco et al. (1995).

3.1.8.2. Solução de Mehlich 1

O procedimento de extração foi descrito no item 3.1.6.1 e a determinação foi feita por leitura direta nesse extrato em espectrofotômetro de absorção atômica.

3.1.8.3. Solução de Mehlich 3

O procedimento de extração foi o descrito no item 3.1.6.2. A determinação foi feita por leitura direta nesse extrato em espectrofotômetro de absorção atômica.

3.2. Detalhamento da fase experimental

3.2.1. Estudo em microparcelas

Para esse estudo, foram conduzidos dois cultivos sucessivos (milho e soja) em 65 solos do Rio Grande do Sul conforme detalhado no item 3.1.5. Os solos foram agrupados de acordo com os objetivos específicos e divididos em três partes para o estudo. A descrição detalhada de cada parte é feita a seguir.

3.2.1.1. Avaliação da disponibilidade de cobre e de zinco do solo para as plantas

Esse experimento teve por objetivo comparar os métodos HCl 0,1 mol L⁻¹, Mehlich 1 e Mehlich 3 na avaliação da disponibilidade de cobre e de zinco para as plantas. Do conjunto de 65 solos, foram excluídos na elaboração das regressões, os solos que apresentaram alguma limitação ao desenvolvimento das plantas, como por exemplo, deficiência de fósforo, de potássio ou outro fator. No estudo de disponibilidade de cobre e zinco, as regressões entre as quantidades extraídas pelas soluções e a absorção desses elementos pelas plantas de milho foram feitas com 12 solos (Apêndice 4). No segundo cultivo, foram excluídos mais 3 solos por apresentarem limitações ao desenvolvimento das plantas de soja devido à absorção de nutrientes pelo milho (Apêndice 5).

3.2.1.2 Avaliação da disponibilidade de fósforo e de potássio do solo para as plantas

O objetivo desse experimento foi selecionar métodos de avaliação da disponibilidade de fósforo e de potássio do solo para as plantas. Para o

fósforo foram avaliadas as soluções de Mehlich 1 e de Mehlich 3 e o método da resina trocadora de íons em membrana. Nesse estudo foram selecionados, no primeiro cultivo, 49 solos do conjunto de 65 solos cultivados. O critério de escolha adotado foi o de solos com amplitude de teores de fósforo variando desde muito baixo a muito alto, que não apresentaram limitação ao desenvolvimento das plantas pela deficiência de algum outro fator (principalmente potássio) (Apêndice 6). No segundo cultivo foram utilizados 35 solos (Apêndice 7).

Para o potássio foram avaliadas as soluções de acetato de amônio 1 mol L⁻¹ a pH 7,0, de Mehlich 1 e de Mehlich 3 e o método da resina trocadora de íons. Nesse estudo foram selecionados 21 solos dos 65 utilizados no primeiro (Apêndice 8) e 14 no segundo cultivos (Apêndice 9). O critério de escolha foi o de solos com amplitude de teor de potássio no solo de muito baixo a muito alto, que não apresentaram limitação nos demais fatores (principalmente fósforo).

3.2.2. Comparação de métodos de extração de potássio, cálcio e magnésio

Nesse estudo foram comparados métodos de extração de potássio, de cálcio e de magnésio em solos. Foram avaliadas as soluções de acetato de amônio 1 mol L⁻¹ a pH 7,0, de Mehlich 1 e de Mehlich 3 e o método da resina trocadora de íons; para cálcio e magnésio foi avaliada também a solução de KCl 1,0 mol L⁻¹. As amostras de solo utilizadas nesse experimento foram do conjunto de 65 solos cultivados, porém agruparam-se as amostras do primeiro e do segundo cultivo, num total de 130 amostras (média de duas repetições). Foram feitas correlações entre as quantidades extraídas de nutrientes pelas soluções utilizando-se como solução padrão a de acetato de amônio.

3.3. Análise dos resultados

Para os nutrientes cobre, zinco, fósforo e potássio, foram estabelecidas regressões lineares entre a quantidade extraída pelos métodos em estudo e a quantidade absorvida pelas culturas de milho (primeiro cultivo) e

de soja (segundo cultivo). As comparações entre capacidades de avaliação dos nutrientes disponíveis pelos diferentes métodos foram feitas, principalmente, pela análise dos coeficientes de determinação.

A comparação da capacidade extrativa de potássio, de cálcio e de magnésio trocáveis do solo foi feita por estudos de correlação e seus respectivos coeficientes de correlação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desse trabalho serão apresentados em Figuras, na forma de gráficos. Para os experimentos de microparcelas, primeiro e segundo cultivos, serão apresentadas as regressões entre as quantidades extraídas de nutrientes pelos métodos e as quantidades absorvidas pelas plantas. Para a comparação entre métodos de extração, serão apresentadas correlações entre as quantidades extraídas pelas diferentes soluções. Os resultados serão agrupados por nutriente ou grupos de nutrientes para a discussão, sendo divididos em três partes. Na primeira parte, serão apresentados e discutidos os resultados do estudo de métodos de avaliação de cobre e de zinco do solo para as plantas em dois cultivos sucessivos, milho e soja. Na segunda parte, serão apresentados e discutidos os resultados referentes aos métodos de extração de fósforo e potássio em dois cultivos sucessivos, milho e soja. E por fim, na terceira parte, serão apresentados e discutidos os dados referentes às correlações entre métodos de extração de potássio, de cálcio e de magnésio.

A utilização de um número relativamente grande de solos permitiu uma ampla variação nas características físicas e químicas que influenciam a disponibilidade dos nutrientes em estudo para as plantas (Apêndice 3). O teor de argila variou de 3 % no solo da unidade de mapeamento Itapuã (PVA_d 1) a 70 % no solo da unidade de mapeamento Santo Ângelo (LV_df 2). O teor de matéria orgânica variou de 0,5% no solo Itapuã II (PVA_d 1) a 18,1% no solo unidade de mapeamento Bom Jesus III (CHA 1). Os valores de pH variaram de 4,8 a 6,5. O rendimento de matéria seca do milho variou de 0,95 g por vaso no solo da unidade de mapeamento Bom Retiro II (PV_d 1) a 21,1 g por vaso no solo da unidade de mapeamento Ciríaco IV (MT_f) (Apêndice 10). O rendimento de matéria seca da soja variou de 2,55 g por vaso no solo Bom Jesus I (CHA 1) a 17,71 g por vaso no solo Vacaria II (LBA 1) (Apêndice 10).

4.1. Métodos de avaliação da disponibilidade de cobre e de zinco do solo para o milho e a soja

4.1.1. Cobre

4.1.1.1. Comparação entre métodos de extração

As quantidades de cobre extraído, nos solos do primeiro cultivo, variaram de 0,2 mg dm⁻³ no solo Bom Jesus II (CHa 1) a 10,7 mg dm⁻³ no solo Vacaria III (LBa 1) com a solução de HCl 0,1 mol dm⁻³ (HCl); de 0,4 mg dm⁻³ no solo Bom Jesus II (CHa 1) a 13,4 mg dm⁻³ no solo Vacaria III (LBa 1) com a solução de Mehlich 1 (M1); e de 1,5 mg dm⁻³ no solo Bagé III (SXe 2) a 11,8 no solo Vacaria III (LBa 1) com a solução de Mehlich 3 (M3). Antes do 2º cultivo o teor de cobre no solo variou de 2,0 mg dm⁻³ no solo Cruz Alta IV (LVd 2) a 5,8 mg dm⁻³ no solo Estação III (NVdf 1) com a solução de HCl; de 3,0 mg dm⁻³ no solo Bagé III (SXe 2) a 10,3 mg dm⁻³ no solo Erechim III (LVaf) com a solução de M1; e de 1,8 mg dm⁻³ no solo Bagé III (SXe 2) a 7,9 mg dm⁻³ no solo Erechim III (LVaf) com a solução de M3 (Apêndices 11 e 12).

A quantidade de cobre extraído do solo pela solução de M1 foi semelhante à extraída pela solução de HCl. Em parte, isso se deve ao mesmo princípio químico de extração dos dois procedimentos. Mesmo com tempos diferentes de agitação, no caso da solução de HCl a mistura solo-solução é agitada em agitador horizontal por 30 minutos e para o método Mehlich 1 o tempo de agitação é de apenas 5 minutos (Lindsay & Cox, 1985), não foi observada diferença entre as quantidades extraídas. Outro fator que pode afetar na quantidade extraída é a concentração de hidrogênio da solução extratora que é maior na solução de HCl do que na solução de Mehlich 1 (Lindsay & Cox, 1985).

Em média, os valores obtidos com a utilização da solução de Mehlich 1 corresponderam a aproximadamente 20% a mais daqueles com a solução de HCl (Figura 1). Esses resultados são semelhantes àqueles obtidos por Bortolon et al. (2005) ao comparar a capacidade de extração dessas duas

soluções em 178 amostras de solo do estado do RS, com amplas variações nas características físicas, químicas e mineralógicas.

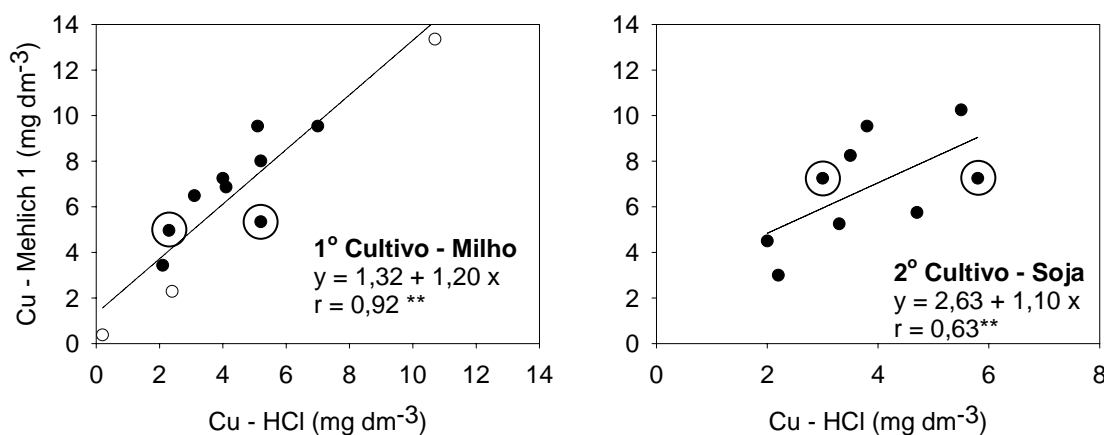


Figura 1. Correlação entre as quantidades de cobre extraído pelas soluções de HCl e de Mehlich 1 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

A correlação entre as quantidades de cobre extraído do solo com a solução de HCl e a solução de M1 para os dois cultivos é mostrada na Figura 1. Os coeficientes de correlação entre as quantidades extraídas pelas duas soluções foram 0,92 e 0,63 respectivamente para o primeiro e segundo cultivos.

A dispersão dos pontos pode ser atribuída à alta variação nas características físicas, químicas e mineralógicas dos tipos de solos em estudo. Os coeficientes de correlação obtidos foram estatisticamente significativos. Contudo, a observação detalhada da distribuição dos pontos indica que para alguns solos as soluções agem de forma distinta. Assim, nos solos circulados na Figura 1, para a solução de Mehlich 1 as quantidades extraídas são semelhantes em ambos, enquanto para solução de HCl a amplitude entre os valores é mais de 2 vezes o menor valor. Isso indica que uma das soluções, para esses solos, terá uma baixa capacidade preditiva quando comparada ao extrator “planta”.

Esses resultados corroboram os obtidos por Lantmann & Meurer (1982) e Bataglia & Raij (1989), principalmente quanto às quantidades extraídas. Esses autores agitaram as amostras com a solução de Mehlich1 por 30 minutos, obtendo assim quantidades semelhantes de cobre extraído com a solução de HCl. Pereira et al. (2001), comparando essas duas soluções em

103 amostras superficiais do Estado do Rio de Janeiro, obtiveram um coeficiente de correlação entre ambas de 0,75 e as quantidades extraídas foram aproximadamente 25% menores com a solução de M1.

As quantidades extraídas com a solução de M3 foram semelhantes às extraídas com o HCl, para os solos do primeiro e segundo cultivo. A semelhança das quantidades extraídas deve-se à composição química da solução de Mehlich 3. Nesta, é incluído o reagente EDTA com alta capacidade quelatizante (Abreu et al., 1996) em relação ao cobre. Por esse processo o cobre da solução é retirado e há a formação de novo equilíbrio químico entre esse e o retido na matéria orgânica do solo, principalmente. Assim, mesmo com o tempo de agitação menor (5 min) essa solução extrai quantidades semelhantes à solução de HCl. McLaren & Crawford, (1973) consideram que 45% do cobre do solo está complexado pela matéria orgânica.

A correlação entre as quantidades extraídas pelas soluções de HCl e de M3 é mostrada na Figura 2. Os coeficientes de correlação foram elevados em ambos os cultivos (0,94 e 0,89).

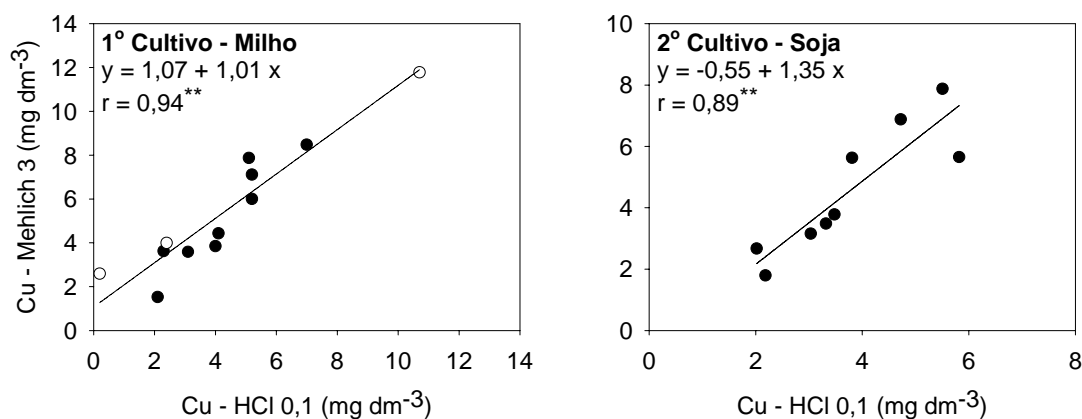


Figura 2. Correlação entre as quantidades de cobre extraído pelas soluções de HCl e de Mehlich 3 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

Este alto grau de correlação se deve à capacidade semelhante das soluções de extrair cobre de diferentes tipos de solos. A dispersão dos pontos na regressão é menor do que a observada na comparação do método HCl com o M1. A tendência de os coeficientes de correlação serem menores no segundo

cultivo deve-se, em parte, ao menor número de solos utilizados para a comparação.

4.1.1.2. Quantidades extraídas pelas soluções e a absorção pelas plantas

A regressão entre a concentração de cobre no solo obtida com a solução de HCl e a quantidade de cobre absorvido é mostrada na Figura 3. Os coeficientes de determinação foram de 0,56 e de 0,66 para o primeiro e o segundo cultivos, respectivamente. Constata-se um baixo grau de relação entre as duas variáveis mesmo havendo significância estatística para os coeficientes. Um coeficiente maior obtido com a cultura da soja em relação ao obtido com o milho no primeiro cultivo poderia indicar a influência da espécie utilizada como planta teste. No entanto essa afirmação não se sustenta, pois a mera inclusão ou retirada de um dos solos avaliados poderia alterar significativamente a grandeza dos coeficientes. Por exemplo, a exclusão do solo Vacaria III no cálculo do coeficiente reduziria o mesmo a 0,22 para o primeiro cultivo. Se ao invés da exclusão desse fossem retirados os dois solos ao extremo (Bom Jesus II – CHa 1 – e Vacaria III – Lba 1) o coeficiente aumentaria para 0,69. Em muitos trabalhos na literatura é utilizado um número menor de solos (Cancela, 2001 ; Borkert et al., 2004). Nesse caso, utilizando-se apenas os 10 solos com variação de 2,0 mg/L a 5,5 mg/L, o coeficiente de determinação alcançaria o valor de 0,94. Isso evidencia que a utilização isolada do valor extraído para avaliar a disponibilidade de cobre do solo para as plantas pode não ser adequada. Outros fatores associados ao processo de absorção deveriam ser incluídos para se definir a capacidade de um método em avaliar disponibilidade de um nutriente. Na Figura 3 observa-se que para o solo Bom Jesus II (CHa 1) a quantidade absorvida foi de aproximadamente 0,6 mg/vaso. No entanto há um grupo de solos na parte intermediária do gráfico com teores de cobre muito maiores do que o solo Bom Jesus II e menor absorção. Pode ser a falta de capacidade extrativa do método nesses ou a maior disponibilidade naquele. Em ambas as situações é uma deficiência do método.

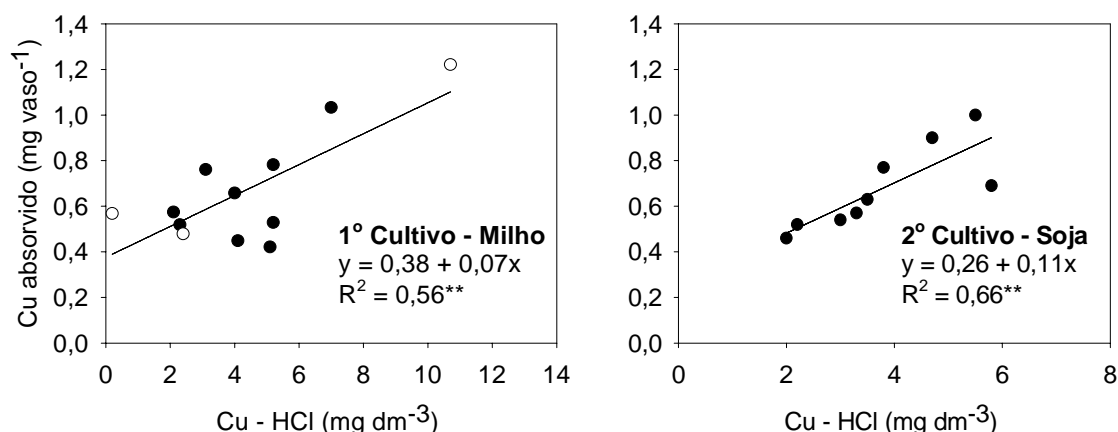


Figura 3. Regressão entre as quantidades de cobre extraído pela solução de HCl e a quantidade absorvida pelas plantas de milho e soja no primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

Em um estudo semelhante com 26 solos do estado de São Paulo com as culturas girassol e sorgo, os coeficientes de determinação obtidos por Bataglia & Raij (1989) entre a solução de HCl e a quantidade de cobre absorvida por essas culturas foram de 0,12 para o girassol e de 0,17 para o sorgo em solos sem calagem. Nos mesmos solos calcariados, os coeficientes foram de 0,10 para o girassol e de 0,15 para o sorgo. Os autores não informaram se isso se deveu a alguns poucos solos com características muito diferentes ou se a dispersão dos pontos foi normal evidenciando a incapacidade da solução de HCl em estimar a disponibilidade de cobre para as plantas.

A baixa relação obtida com a solução de Mehlich 1 neste trabalho demonstra que o método não foi eficiente para avaliar a disponibilidade de cobre para culturas de milho e de soja em solos com amplas variações nas características químicas, físicas e mineralógicas.

A regressão entre as quantidades de cobre extraído do solo pela solução de M1 e as quantidades de cobre absorvido pelo milho é mostrada na Figura 4. Os coeficientes de determinação foram de 0,35 e de 0,43, respectivamente para o primeiro e segundo cultivos. A exclusão do solo Vacaria III (LBa 1) na regressão diminuiu o coeficiente de determinação para 0,08 para o milho, conforme também observado para a solução de HCl. Como

discutido anteriormente, isso se deve à baixa capacidade extratora do método ou à alguma característica ou fator que influencia na disponibilidade e absorção de cobre pelas plantas.

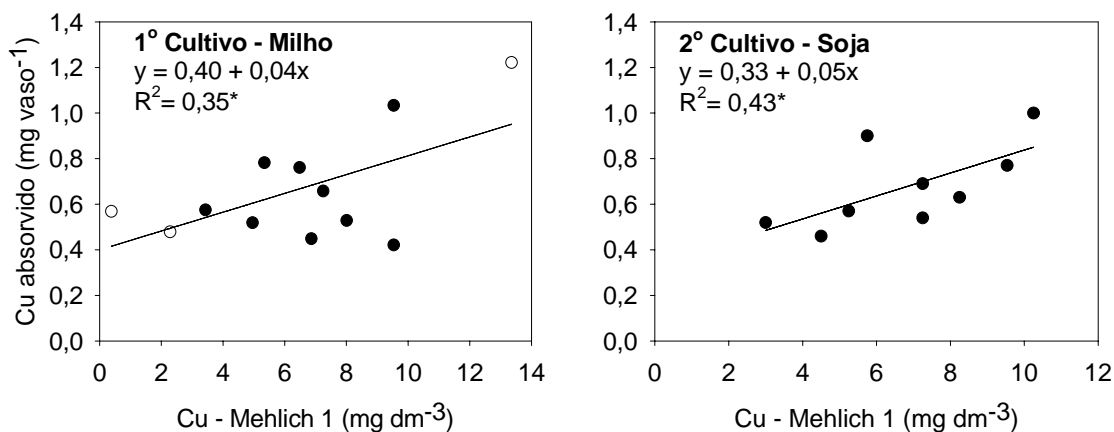


Figura 4. Regressão entre as quantidades de cobre extraído pela solução de Mehlich 1 e as quantidades absorvidas pelas plantas de milho e de soja no primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

Em um estudo de eficiência de extratores para micronutrientes em 26 solos do Estado de São Paulo, Bataglia & Raij (1989) obtiveram coeficientes de determinação de 0,13 e de 0,20 com as culturas do girassol e do sorgo respectivamente, para a mesma relação. Esses autores concluíram que a solução de M1 é eficiente na extração de cobre para as plantas no estado de São Paulo. Não há informação de qual foi o critério para essa conclusão, pois os coeficientes pouco diferem dos obtidos com a solução de HCl. Noutro estudo conduzido com 8 solos do Rio Grande do Sul para avaliar a disponibilidade de cobre às plantas de aveia (Luchese 1985), foi obtido um coeficiente de determinação ainda menor ($R^2 = 0,010$) do que os obtidos por Bataglia & Raij (1989) e neste trabalho. Há ainda o estudo de Abreu et al. (1996) no qual são comparados vários extratores quanto à sua capacidade de avaliar o cobre do solo disponível para aveia e feijão em 31 solos do Estado de São Paulo. O coeficiente de correlação obtido para a relação teor de cobre no solo estimado pela solução de Mehlich 1 e o de cobre absorvido pelas plantas foi de 0,45 para ambas as culturas. Recentemente Borkert et al. (2004)

concluíram que a solução de M1 avalia adequadamente o cobre disponível para as plantas. Isso, no entanto, pode ser devido à utilização de doses crescentes de cobre em somente um tipo de solo, o que elimina a variabilidade existente em solos diferentes.

A regressão entre a quantidade de cobre no solo extraído pela solução de M3 e a quantidade de cobre absorvido é mostrada na Figura 5. Os coeficientes de determinação obtidos foram de 0,46 e de 0,93, respectivamente para o primeiro e segundo cultivos.

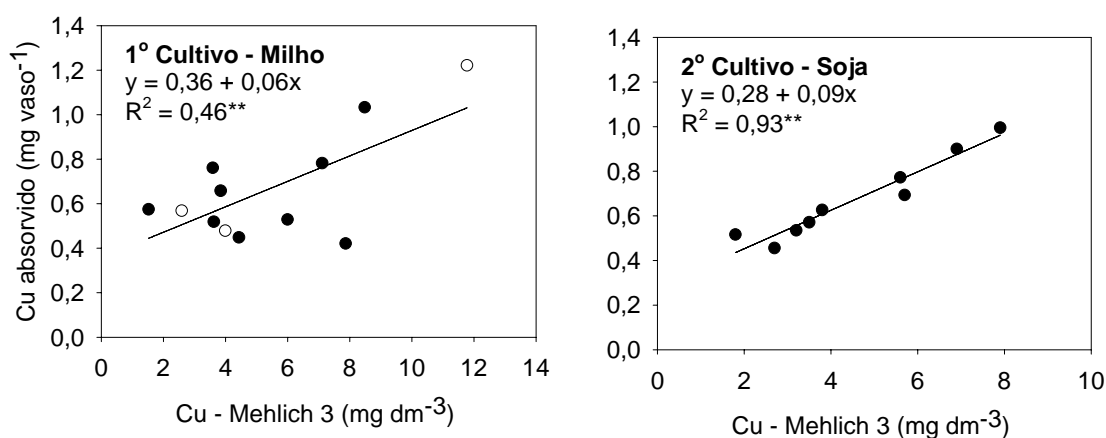


Figura 5. Regressão entre as quantidades de cobre extraído pela solução de Mehlich 3 e as quantidades absorvidas pelas plantas de milho e de soja no primeiro e no segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

Constata-se que as quantidades extraídas pelas plantas são semelhantes nos dois cultivos. Com esses resultados poder-se-ia concluir que a solução de M3 estima melhor a disponibilidade de cobre para as plantas do que as soluções de M1 e de HCl. Isso é verdadeiro, em parte, quando se utiliza somente o coeficiente de determinação para a comparação. No entanto, o maior coeficiente só se verificou no segundo cultivo. Nesse foram excluídos da regressão 3 solos em relação ao primeiro conforme explicado anteriormente. É possível, portanto, que outros fatores, inclusive a cultura, estejam interferindo nos resultados obtidos. O coeficiente do primeiro cultivo é maior do que o obtido com a solução de M1, mas é semelhante ao obtido com a solução de

HCl. Essa semelhança também é observada pela relação estreita entre a capacidade extratora da solução de HCl e de M3 (Figura 2).

Silva et al. (2002) utilizaram a solução de M3 num estudo de avaliação da disponibilidade de cobre em solos do Paraná e obtiveram um R^2 de 0,37 entre as quantidades extraídas por essa solução e a quantidade de cobre absorvido por milho. Os solos utilizados eram arenosos com acidez corrigida e com teores de matéria orgânica de 15 a 40 g dm^{-3} . Quando a regressão foi feita apenas com solos argilosos com teores de matéria orgânica variando de 35 até 50 g dm^{-3} , os autores obtiveram um R^2 de 0,72. Constata-se nesse trabalho que o fator tipo de solo influenciou o desempenho do método. Borkert et al. (2004) também testaram essa solução e concluíram que o M3 é eficiente na avaliação da disponibilidade de cobre para as plantas. Como explicado anteriormente, os autores utilizaram somente um solo com adição de doses crescentes de cobre o que dificulta a generalização dos resultados.

Em geral, pelos dados obtidos neste trabalho, é possível dizer que a solução de Mehlich 3 é superior do que as outras soluções testadas. Apesar da semelhança dos coeficientes de determinação das soluções de HCl e M3 no primeiro cultivo, no segundo a relação foi muito melhor com a solução de M3 do que com a de HCl. Uma das explicações para o melhor desempenho da solução M3 em avaliar a disponibilidade de cobre do solo para as plantas pode ser a presença de EDTA com capacidade quelatizante. Abreu et al. (1996), num estudo para avaliar a eficiência de extratores multielementares em 31 solos do Estado de São Paulo, obtiveram um R^2 de 0,80 para a solução de M3 e também concluíram que soluções contendo quelatizantes são mais eficientes na determinação da forma disponível desse elemento. Borkert et al. (2004) não obtiveram diferença entre as soluções de Mehlich 3 ($R^2 = 0,90$) e Mehlich 1 ($R^2 = 0,90$) na avaliação da disponibilidade de cobre para a soja, concluindo que ambas as soluções podem ser utilizadas. Por facilidade operacional no laboratório, a solução de M1 seria a mais indicada. Nessa solução determina-se também fósforo e potássio. Não é esperada diferença significativa entre soluções quando se utiliza somente um solo com adição de doses crescentes de um elemento.

4.1.2. Zinco

4.1.2.1. Comparação entre métodos de extração

As quantidades de zinco extraído nos solos do primeiro cultivo, variaram de 0,7 mg dm⁻³ no solo Bom Jesus II (CHa 1) a 7,8 mg dm⁻³ no solo Ciríaco IV (MTf) com a solução de HCl; de 0,1 mg dm⁻³ no solo Bom Jesus II (CHa 1) a 8,2 mg dm⁻³ no solo Vacaria III (LBa 1) com a solução de M1 (M1); e de 2,0 mg dm⁻³ no solo Bom Jesus II (CHa 1) a 6,0 no solo Estação III (NVdf 1) com a solução de M3. Em amostras de solo antes do 2º cultivo, o teor de cobre no solo variou de 1,4 mg dm⁻³ no solo Cruz Alta IV (LVd 2) a 7,5 mg dm⁻³ no solo Estação III (NVdf 1) com a solução de HCl; de 0,7 mg dm⁻³ no solo Cruz Alta IV (LVd 2) a 6,9 mg dm⁻³ no solo Estação III (NVdf 1) com a solução de M1; e de 2,2 mg dm⁻³ no solo Cruz Alta IV (LVd 2) a 5,7 mg dm⁻³ no solo Estação III (NVdf 1) com a solução de M3 (Apêndices 13 e 14).

A correlação entre o zinco extraído pelas soluções de HCl e de M1 é mostrada na Figura 6. Os coeficientes de correlação obtidos foram de 0,93 e de 0,97 com solos do primeiro e do segundo cultivos respectivamente. Constata-se pelos coeficientes angulares das retas de regressão que as quantidades extraídas foram semelhantes.

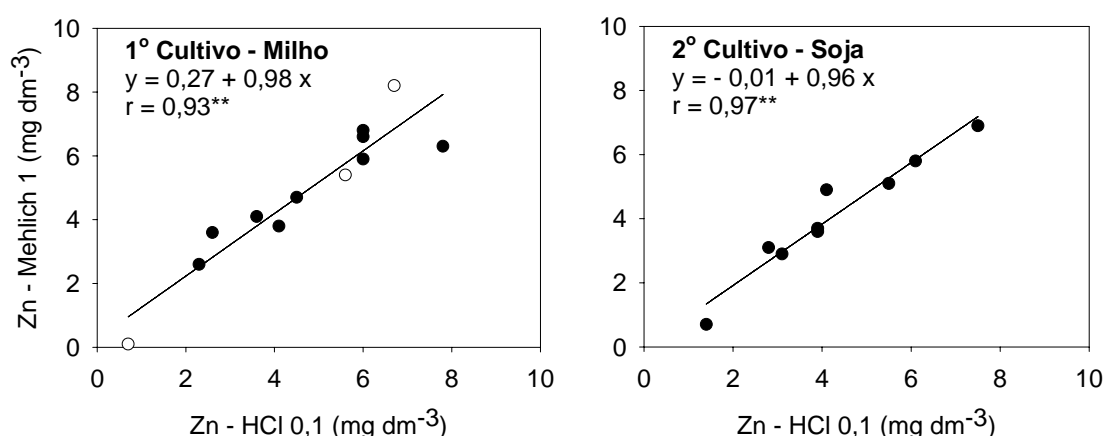


Figura 6. Correlação entre as quantidades de zinco extraído pelas soluções de HCl e de Mehlich 1 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

O coeficiente de correlação obtido nesse trabalho foi semelhante ao obtido por Bataglia & Raij (1989) em 26 solos paulistas ($r = 0,90$), sem a adição de doses crescentes de zinco aos solos. Noutro estudo, Bataglia & Raij (1994), utilizando os mesmos solos de Bataglia & Raij (1989) na avaliação da fitodisponibilidade de zinco, obtiveram um alto grau de correlação entre as quantidades de zinco extraído pelas soluções de HCl e M1 ($r = 0,99$). O maior coeficiente de correlação obtido por estes autores do que o obtido neste estudo deve-se, em parte, ao tempo de agitação das amostras.

Bataglia & Raij (1994) utilizaram o tempo de 30 minutos de agitação para ambas as soluções, diferente dos 5 minutos utilizados para a solução de M1 neste trabalho. Em outra comparação das mesmas soluções, Buzetti (1992) utilizando 9 solos do Estado de São Paulo obteve o coeficiente de correlação de 0,98.

Os resultados obtidos nesse trabalho contrastam com os obtidos por Lantmann & Meurer (1982). Estes autores, para a mesma comparação, obtiveram o coeficiente de correlação de 0,73 num estudo com 10 solos do RS. Aos solos não foram adicionados calcário ou doses de zinco. Além do coeficiente menor, também chama à atenção as quantidades extraídas pela solução de M1, aproximadamente 50% menores que as obtidas com a solução de HCl. Após a aplicação do calcário (para pH 6,0) as soluções extraíram menores quantidades de zinco, possivelmente devido à maior adsorção do mesmo pelos solos (Roesch, 1979), às reações das soluções extratoras com carbonatos e/ou bicarbonatos livres (Nelson et al., 1960) e ao menor tempo de equilíbrio utilizado na extração. Também contrastam com os de Pereira et al. (2001) num estudo com 103 amostras de solo do Estado do Rio de Janeiro. Esses autores obtiveram um coeficiente de correlação de 0,87 entre as mesmas soluções e informaram que a solução com maior capacidade extrativa foi o HCl. Contudo não indicaram o percentual em relação à solução de M1, o que dificulta o estabelecimento de uma comparação mais detalhada com os dados obtidos neste trabalho.

Oliveira et al. (1999) utilizando 12 amostras de solos obtiveram um coeficiente de correlação de 0,98 e de 0,88 sem e com a adição de zinco, respectivamente. Conclui-se por esses dados que a fonte de zinco poderia influir no desempenho de uma das soluções. Os autores não comentaram a

respeito, nem informaram se as quantidades extraídas foram semelhantes para ambas as soluções. Isso seria mais um fator a considerar na escolha de um método de avaliação da disponibilidade de zinco para as plantas.

A regressão entre as quantidades extraídas pelas soluções de HCl e M3 é mostrada na Figura 7. Os coeficientes de correlação entre os solos amostrados antes do primeiro e antes do segundo cultivos foram de 0,84 e de 0,94 respectivamente.

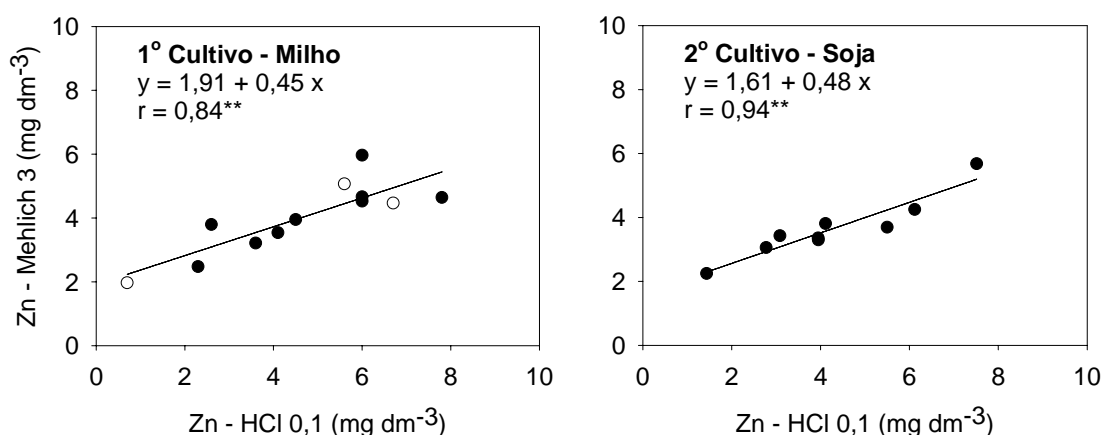


Figura 7. Correlação entre as quantidades de zinco extraído pelas soluções de HCl e de Mehlich 3 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

As quantidades de zinco extraído pela solução de M3 corresponderam em média a 89% do extraído com a solução de HCl (Apêndices 13 e 14). No entanto, por esses dados, a substituição de uma solução por outra com ajuste pela equação não é adequada. Como a reta de regressão não passa pela origem, ao se converter um valor obtido pela solução M3 para a solução de HCl, esse será subestimado para valores baixos e superestimado para valores altos. Os coeficientes mais altos obtidos com solos do segundo cultivo possivelmente estejam associados ao menor número de solos utilizados, já que alguns solos foram excluídos das correlações por apresentarem alguma(s) característica(s) que poderia(m) ser limitante(s) ao desenvolvimento da soja.

Em geral, é possível dizer que os resultados obtidos nesse trabalho na comparação da capacidade extrativa das soluções de HCl e de M3

concordam com os resultados de muitos trabalhos publicados sobre o mesmo assunto (Oliveira et al.,1999; Borkert et al., 2004). A maiorparte dos mesmos indica que a solução de M3 extrai uma quantidade um pouco menor do que a extraída com a solução de HCl.

4.1.2.2. Relação entre as quantidades extraídas pelas soluções e a absorção pelas plantas

A regressão entre as quantidades de zinco absorvido pelo milho e pela soja e as quantidades extraídas pela solução de HCl é mostrada na Figura 8. Os coeficientes de determinação obtidos entre as quantidade de zinco extraído do solo com a solução de HCl e a quantidade absorvida pelas plantas de milho e de soja foi de 0,18 e de 0,37 para o primeiro e o segundo cultivos respectivamente.

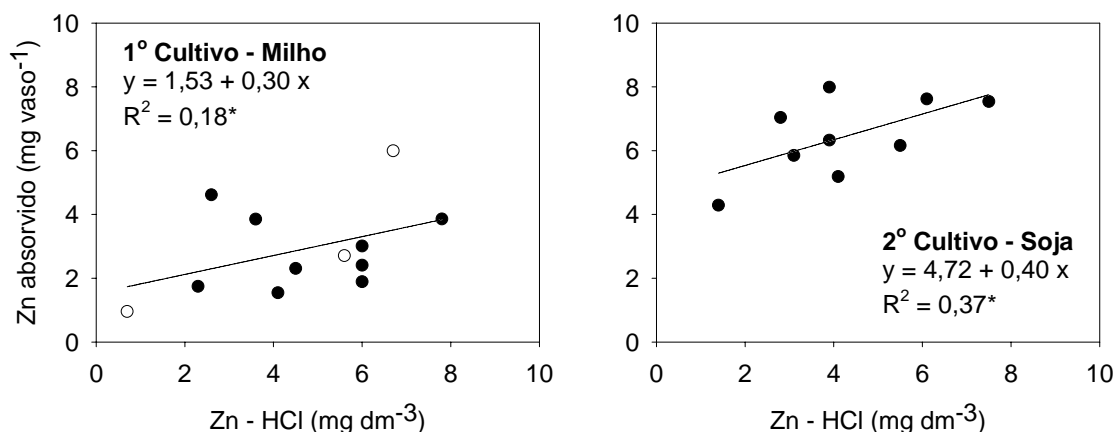


Figura 8. Regressão entre as quantidades de zinco extraído pela solução de HCl em amostras de solos coletadas antes dos cultivos e as quantidades absorvidas pelas plantas de milho e soja no primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

Os valores dos coeficientes obtidos nesse trabalho destoam dos apresentados na literatura. Bataglia & Raij (1989), utilizando 26 solos do Estado de São Paulo, obtiveram um coeficiente de determinação de 0,55, para a mesma relação com a cultura girassol. No entanto, quando cultivaram sorgo

na seqüência, o coeficiente obtido foi de 0,27. Isso poderia, em parte, indicar a influência do tipo de planta utilizada. Mas também pode ser devido a outros fatores que se alteram no tempo, ou seja, entre um e outro cultivo.

Em geral, na maioria dos resultados apresentados na literatura (Lantmann & Meurer, 1982; Buzzeti, 1992; Bataglia & Raij, 1994) os coeficientes de determinação são maiores do que os obtidos nesse estudo.

A regressão entre as quantidades de zinco absorvido pelo milho e pela soja e as quantidades extraídas pela solução de M1 é mostrada na Figura 9. Os coeficientes de determinação obtidos nas relações foram 0,32 e de 0,36 para o primeiro e o segundo cultivos, respectivamente.

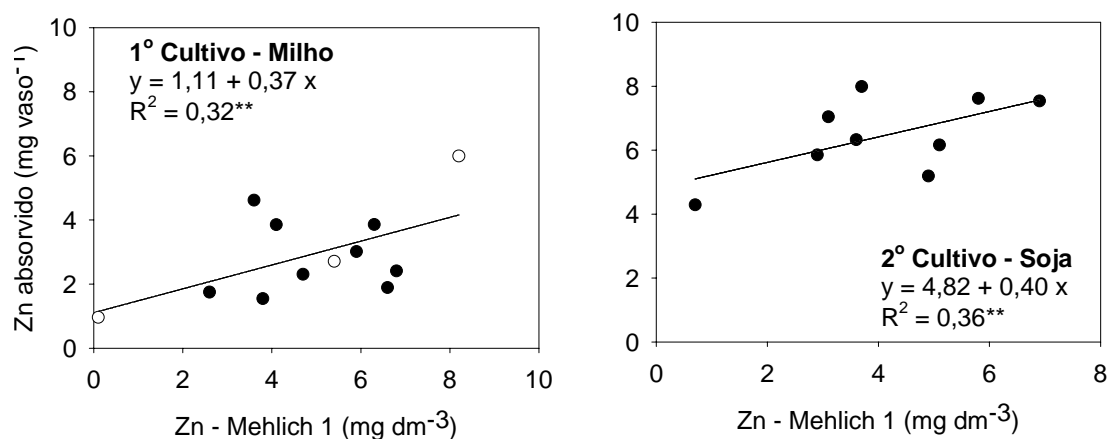


Figura 9. Regressão entre as quantidades de zinco extraído pela solução de Mehlich 1 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e as quantidades absorvida pelas plantas de milho e de soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

Em vários outros estudos de comparação de métodos, a solução de M1 não têm sido satisfatória para avaliar a disponibilidade de zinco do solo para as plantas. Em trabalhos de Bataglia & Raij (1989) e Bataglia e Raij (1994) os coeficientes de determinação variaram de 0,22 a 0,28 com as culturas de sorgo e milho. Em outros estudos (Lantmann & Meurer, 1982; Bataglia & Raij, 1989; Buzetti, 1992) foram obtidos coeficientes de determinação de 0,58 a 0,73. O maior coeficiente foi obtido por Buzetti (1992) que utilizou um pequeno número de solos e adicionou doses crescentes de zinco, diminuindo assim a variabilidade nas características físicas, químicas e mineralógicas.

A regressão entre as quantidades de zinco extraído pela solução de M3 e as quantidades de zinco absorvido pelo milho é mostrada na Figura 10. Os coeficientes de determinação foram de 0,10 e de 0,31, respectivamente, para o cultivo do milho e da soja. Isso possivelmente demonstra que grande parte do zinco não está contida na matéria orgânica e sim na fase mineral. Como todas as soluções são ácidas e têm princípios semelhantes de ação, a presença do EDTA na solução de M3 não apresentou nenhuma vantagem na melhoria da estimativa de disponibilidade desse elemento. Esses resultados concordam com os obtidos por Davis et al. (1995) num estudo com solos da Geórgia, utilizando o amendoim como planta teste e somente um solo para o estudo. O coeficiente de determinação obtido foi de 0,14. Um coeficiente maior, no entanto, para essa mesma relação foi obtido por Rodrigues, et al. (2002) estudando métodos de avaliação da disponibilidade de zinco para 10 solos.

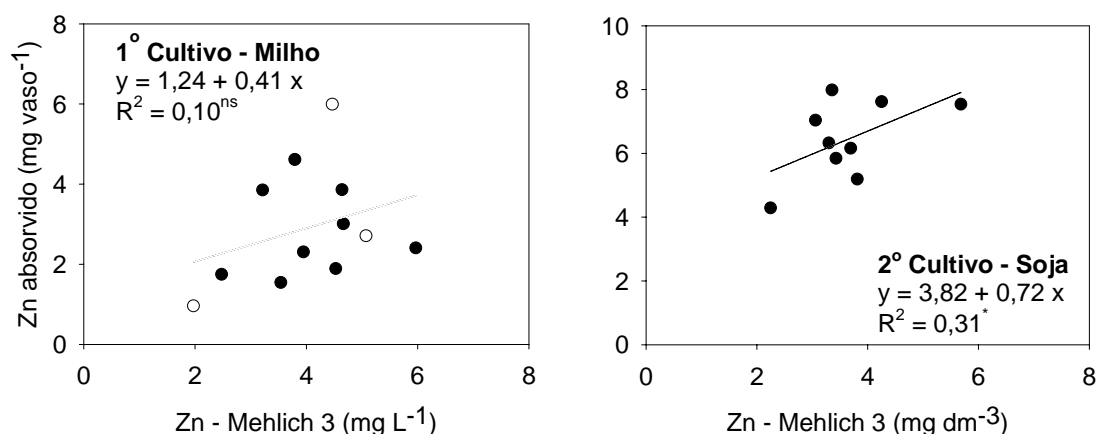


Figura 10. Regressão entre as quantidades de zinco extraído pela solução de Mehlich 3 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e as quantidades absorvidas pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

As soluções testadas têm baixa eficiência na avaliação da disponibilidade de zinco para as plantas, porém o uso da solução de M1 é mais vantajosa pela facilidade de adaptação no laboratório de rotina, pois é a mesma solução utilizada para análise de fósforo e de potássio, não necessitando adequação física do laboratório.

4.2. Métodos de avaliação da disponibilidade de fósforo e potássio do solo para o milho e a soja.

4.2.1. Fósforo

4.2.1.1. Comparação entre métodos de extração

As quantidades extraídas de fósforo dos solos em amostras coletadas antes do primeiro cultivo variaram de 0,5 mg dm⁻³ no solo Santo Ângelo I (LVdf 2) a 44 mg dm⁻³ no solo Bagé III (SXe 2) com a solução de M1; de 0,1 mg dm⁻³ solo Santo Ângelo I (LVdf 2) a 87 mg dm⁻³ no solo Bagé III (SXe 2) com a solução de M3; e de 0,3 mg dm⁻¹ no solo Bagé I (SXe 2) a 61,9 mg dm⁻³ no solo Bagé III (SXe 2) com o método da resina trocadora de íons (Apêndice 15). Nas amostras de solos coletadas antes do segundo cultivo as quantidades de fósforo extraído variaram de 1,6 mg dm⁻³ no solo Santo Ângelo I (LVdf 2) a 16,6 mg dm⁻³ no solo Erechim III (LVaf) com a solução de M1; de 1,2 mg dm⁻³ no solo Santo Ângelo I (LVdf 2) a 33,4 mg dm⁻³ no solo Erechim III (LVaf) com a solução de M3; e de 1,0 mg dm⁻³ no solo Santo Ângelo I (LVdf 2) a 28,1 mg dm⁻³ no solo Júlio de Castilhos III (PVAa 3) com a resina trocadora de íons (Apêndice 16).

A regressão entre as quantidades de fósforo extraído pela solução de M1 e M3 é mostrada na Figura 11. Os coeficientes de correlação obtidos foram de 0,97 e de 0,99 no primeiro e segundo cultivos respectivamente. As quantidades extraídas pela solução de M3 foram aproximadamente duas vezes maiores em relação às quantidades extraídas pela solução de M1. A observação mais detalhada dos dados mostra que em solos com baixo teor de fósforo (valores menores que 5 mg dm⁻³ pelo M3), a solução de M1 extrai, em média, mais fósforo do que a solução de M3. Na faixa intermediária (entre 5 e 10 mg dm⁻³ pelo M3) o fósforo extraído pelas duas soluções, em média, foi semelhante. No entanto, para teores maiores (>10 mg dm⁻³ pela solução de M3) a solução de M3 extrai, em média, o dobro da quantidade extraída pelo M1). Isso não foi comentado na literatura e deve ser mais estudado. Se isso ocorrer com a solução de M3, não é possível a simples substituição de uma solução por outra. Deve-se proceder a uma calibração detalhada para que essa

solução seja introduzida como metodologia analítica de rotina na avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas. A maior quantidade de fósforo extraído com a solução de M3 deve-se, em parte, às características químicas do extrator que extrai preferencialmente o fósforo ligado ao ferro e ao alumínio, e em menor quantidade, o fósforo ligado ao cálcio (Kamprath & Watson, 1980). O mesmo foi observado por Kroth (1998) utilizando os mesmos solos desse estudo e por diversos autores (Wolf & Baker, 1985; Sims, 1989; Gattiboni, 2003; Schlindwein, 2003).

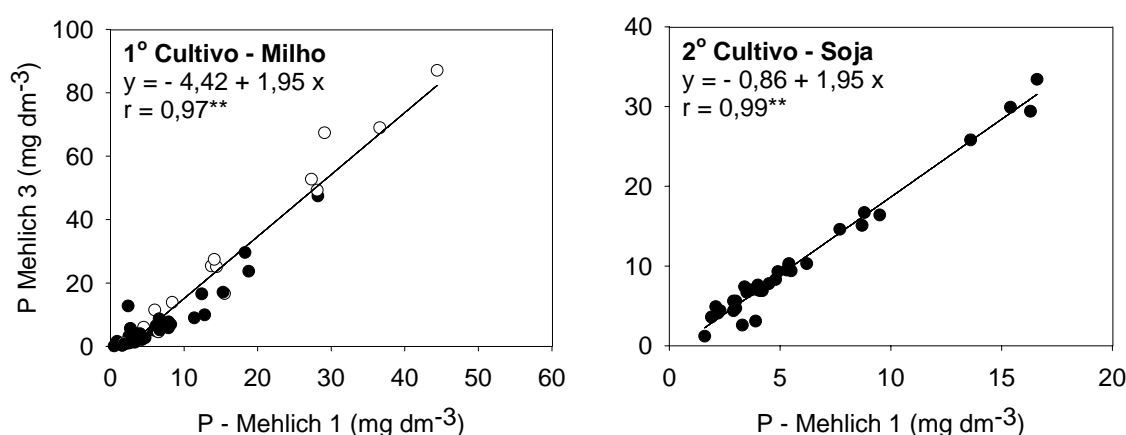


Figura 11. Correlação entre as quantidades de fósforo extraído pelas soluções de Mehlich 1 e de Mehlich 3 em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

A regressão entre as quantidades de fósforo extraído pela solução de M1 e pela resina trocadora de íons é mostrada na Figura 12. Os coeficientes de correlação obtidos foram de 0,90 e de 0,92 para o primeiro e o segundo cultivos respectivamente. A quantidade extraída pela resina, avaliada pelo coeficiente angular da equação da Figura 12 foi aproximadamente 1,5 vezes maior que pela solução de M1. No entanto pela análise mais detalhada dos resultados (Apêndices 15 e 16), observa-se que para valores de fósforo menores do que 10 mg dm^{-3} (solução de M1), a solução de M1 extraiu, em média, 16% mais que a resina trocadora de íons.

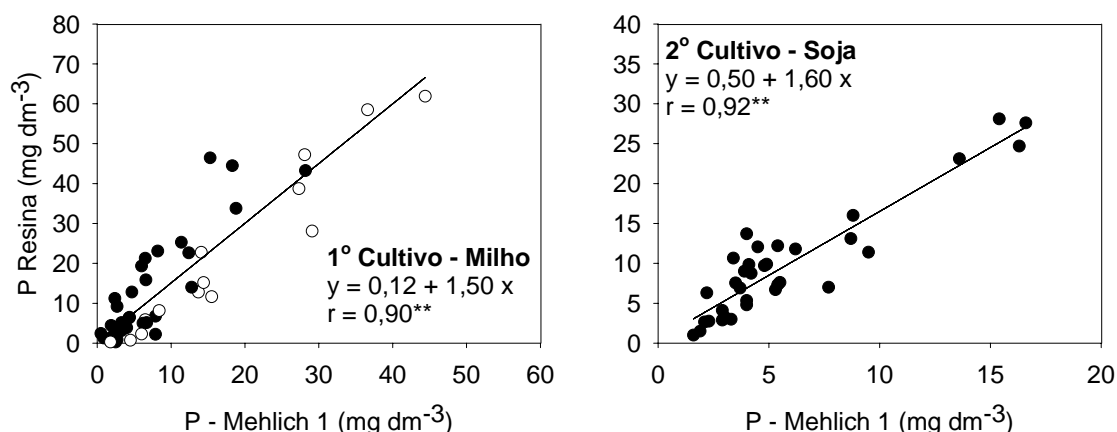


Figura 12. Correlação entre as quantidades de fósforo extraído pelas soluções de Mehlich 1 e pela resina trocadora de íons em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

Para valores entre 10 e 20 mg dm⁻³, a resina extraiu, em média, 43% a mais e para valores maiores do que 20 mg dm⁻³ a quantidade de fósforo extraído, em média, foi 72% maior. Na maioria dos trabalhos reportados na literatura diz-se que a resina trocadora de íons extrai mais fósforo do que a solução de Mehlich 1. Em geral, não é feita referência quanto à menor extração em relação à solução de M1 em solos com teores baixos e muito baixos de P. As maiores quantidades de fósforo extraído em relação à solução de M1 se deve à utilização de bicarbonato pelo método da resina para efetuar a troca iônica com o fósforo. Além disso, o tempo de contato da solução com o solo é muito maior (16 h) do que o utilizado para a solução de M1 (5 min). Isso permite a extração do fósforo ligado à superfície dos colóides, até que o equilíbrio eletroquímico entre o solo e a resina trocadora de íons seja obtido (Skogley & Dobermann, 1996). Kroth (1998) estudando a mesma relação obteve um coeficiente de correlação menor do que o obtido nesse trabalho e a quantidade de fósforo extraído pela resina foi aproximadamente 20% maior do que pela solução de M1. A exemplo de outros trabalhos, nesse também não é feita referência se a extração pela resina foi maior em todos os solos ou se os 20% referidos são a média de todos os valores obtidos. Vários outros autores (Gatiboni, 2003; Schlindwein, 2003; Wolf & Baker, 1985; Sims, 1989) também

relatam que a resina extrai, em média, quantidades maiores do que a solução de Mehlich 1.

Os coeficientes de correlação obtidos entre a solução M1 e a resina foram baixos se comparados aos obtidos entre as soluções de M1 e de M3. Isso evidencia que diferentes formas de fósforo contribuem para os diferentes extratores. Na resina, o princípio de extração é por troca iônica entre o fosfato retido na fase sólida ou presente na solução do solo pelo íon bicarbonato adsorvido à resina. Com a diminuição do fósforo na solução, mais fósforo da fase sólida desloca-se para a solução para a manutenção do equilíbrio químico. Isso ocorre até a exaustão de todas as fontes consideradas disponíveis (lábeis) que podem passar para a solução durante o período de extração. Por outro lado, na extração com solução ácida, há a dissolução dessas formas pela ação dos íons presentes na composição da solução extratora. No entanto, nesse processo pode ocorrer a dissolução de compostos estáveis de fósforo no solo que não contribuem para o fósforo da solução, principalmente os fosfatos de cálcio (Raij et al., 1986). Além disso, pode ocorrer a neutralização ou complexação de componentes da solução extratora por compostos orgânicos e inorgânicos presentes no solo, reduzindo a eficiência da extração. Isso poderia explicar a baixa extração de fósforo pelo método M1, enquanto que a dissolução de formas mais estáveis de fósforo explicaria os valores mais elevados obtido com o método M3 (Kroth, 1998).

4.2.1.2. Relação entre as quantidades extraídas pelas soluções e a absorção pelas plantas

A relação entre o fósforo no solo extraído pela solução de M1 e as quantidades de fósforo absorvido pelo milho e pela soja é mostrada na Figura 13. Os coeficientes de determinação (R^2) obtidos foram de 0,59 e de 0,57 para a cultura do milho e da soja, respectivamente. Para estudos de seleção de métodos, esses coeficientes são considerados baixos. Em parte, isso pode ser devido à grande variabilidade dos solos no estudo, nos quais os fatores que afetam a disponibilidade do fósforo para as plantas foram os que mais variaram. Em comparação com os dados de Kroth (1998), para o mesmo grupo de solos, os coeficientes de determinação foram menores. O autor selecionou a

função de ajuste pelo maior coeficiente de determinação enquanto neste trabalho o ajuste foi feito somente pela função linear. Porém, em vários estudos feitos no RS foram publicadas pesquisas cujos coeficientes de determinação entre o fósforo quantificado pelo M1 e os parâmetros de plantas são menores do que 0,70 (Fole & Grim, 1973; Anghinoni & Bohnen, 1974; Magalhães, 1974; Rein, 1991; Salet et al., 1994; Miola, 1995; Braida et al., 1996; Silva & Raij, 1996; Kroth, 1998; Siqueira, 2000) e mesmo assim foram considerados satisfatórios pelos autores.

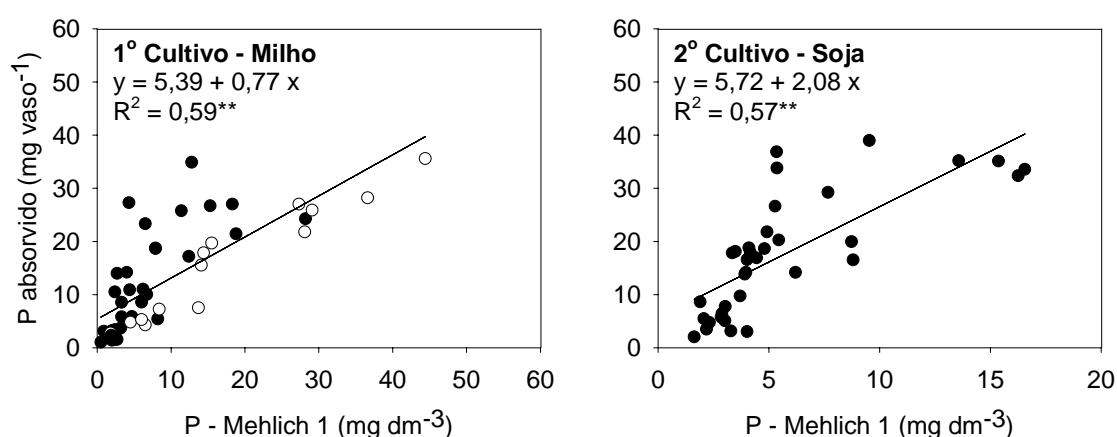


Figura 13. Regressão entre as quantidades de fósforo extraído pela solução de Mehlich 1 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e as quantidades de fósforo absorvido pelas plantas de milho e de soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

A regressão entre as quantidades de fósforo extraído pela solução de M3 e as quantidades de fósforo absorvido pelas culturas de milho e de soja é mostrada na Figura 14. Os coeficientes de determinação obtidos foram de 0,45 e de 0,57 para as culturas de milho e de soja, respectivamente. Observe-se pela Figura 14 e nos dados apresentados nos Apêndices 15 e 16 que a solução de M3 teve maior capacidade extração de fósforo do que a solução de M1. Quando os resultados são analisados em conjunto (49 solos no primeiro cultivo), os valores médios de extração foram 41,3 e 27,3 mg dm⁻³, respectivamente para as soluções de M3 e M1. No entanto, quando os solos são separados em dois grupos, um com valores menores do que 10 mg dm⁻³ de fósforo extraído pela solução de M3 e o outro com valores maiores, a média

de fósforo extraído foi 4,2 e 3,8 mg dm⁻³ com a solução de M1 e de M3, respectivamente. Contudo, isso não resultou em melhor relação com as quantidades absorvidas pelas culturas.

A menor relação entre o fósforo extraído pela solução de M1 e o fósforo absorvido pode ser explicada, em parte, pelo fósforo estar na forma mais estável nos solos utilizados neste trabalho se comparado ao trabalho de Kroth (1998). Esse autor adicionou fósforo ao solo e cultivou-os imediatamente, enquanto neste trabalho os solos estavam armazenados por mais de 5 anos. Outros autores também obtiveram coeficientes de determinação maiores que os obtidos nesse trabalho (Miola et al., 1999; Schlindwein, 2003). Contudo Silva et al. (1999) utilizando somente 2 solos do MS com doses e fontes de fósforo obtiveram um coeficiente de determinação de 0,08, muito inferior aos obtidos neste trabalho.

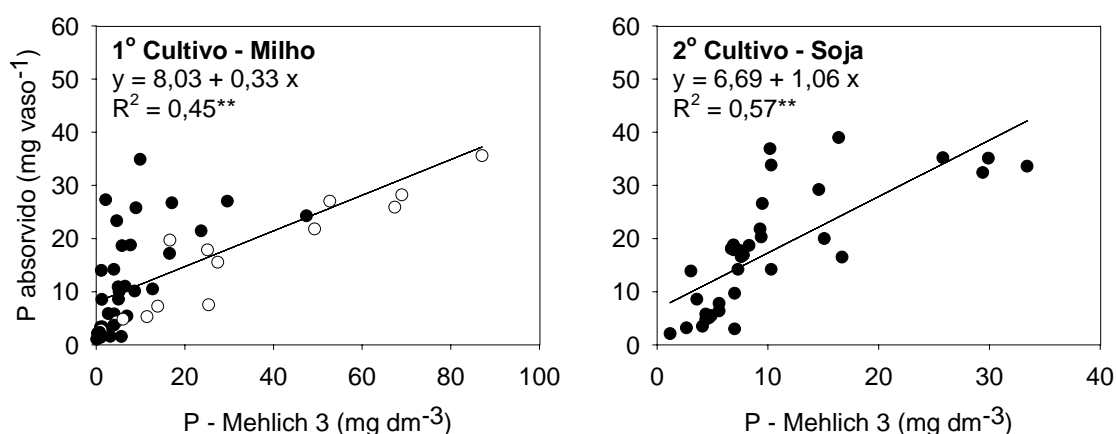


Figura 14. Regressão entre as quantidades de fósforo extraído pela solução de Mehlich 3 em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e as quantidades de fósforo absorvido pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

A expectativa de superioridade da solução de M3 em relação à de M1, pelas modificações introduzidas nesse, não se concretizou. As quantidades maiores extraídas pela solução de M3 tiveram baixo grau de relação com o fósforo absorvido pelas plantas. Silva et al. (1999) utilizando somente 2 solos do MS com doses e fontes de fósforo obtiveram um coeficiente de determinação de 0,64.

A relação entre as quantidades de fósforo extraído pela resina de troca iônica e as quantidades de fósforo absorvido no primeiro e segundo cultivos é mostrada na Figura 15. Os coeficientes de determinação obtidos foram de 0,59 e de 0,52 respectivamente para o milho e para a soja, semelhantes aos obtidos com as soluções de M1 e de M3. Os resultados são também semelhantes àqueles obtidos por Kroth (1998), Raij et al. (1986), Anghinoni & Wolkweiss (1984), Fixen & Grove (1990) e Miola (1995). Esse último autor, num estudo semelhante com a cultura de milho, utilizando parte dos mesmos solos (seis solos) com a adição de doses de P, obteve o coeficiente de determinação de 0,70 para a mesma relação. No entanto, em alguns dos trabalhos conduzidos pelos autores acima, o volume de solo utilizado foi menor do que o utilizado neste trabalho.

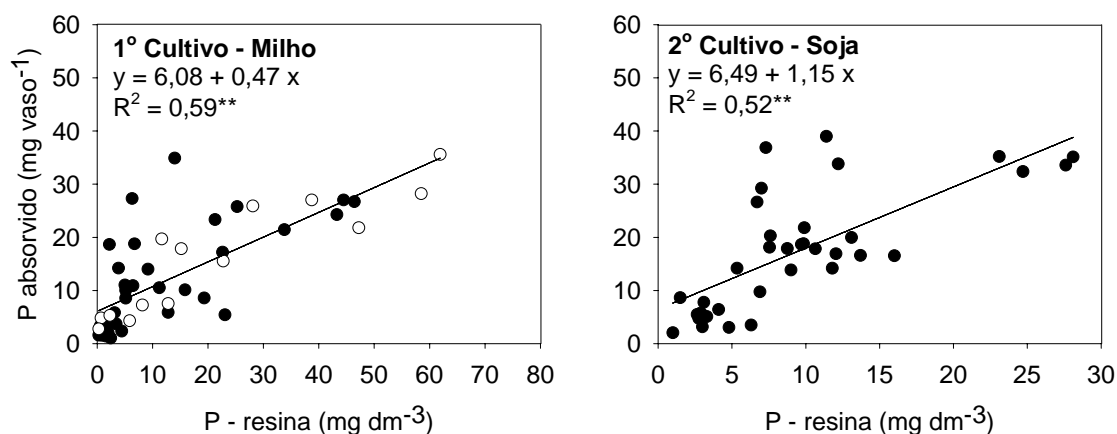


Figura 15. Regressão entre as quantidades de fósforo extraído pela resina de troca iônica em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e o fósforo absorvido pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

Os três métodos avaliados apresentaram baixa relação entre o valor da análise e o fósforo absorvido pelas plantas, em ambos os cultivos. Isso pode indicar que bons resultados são obtidos apenas quando o controle de fatores externos é muito grande. Isso é corroborado com os dados de Schlindwein (2003) que também obteve coeficientes de regressão muito baixos num estudo de calibração desses três métodos em solos do Rio Grande do Sul. Possivelmente, a inclusão de outros fatores na estimativa da disponibilidade de

fósforo deve ser considerada. No entanto, nem neste trabalho e nem na maioria dos trabalhos apresentados na literatura esse controle rigoroso é possível de ser feito quando são utilizados muitos solos. Em parte, isso se deve à dificuldade de execução do estudo e à não viabilidade de aplicação dos resultados em laboratórios de rotina.

4.2.2. Potássio

4.2.2.1. Comparação entre métodos de extração

Nesse estudo foram comparados quatro métodos de extração de potássio e foi avaliada a relação entre quantidades extraídas por eles e as quantidades de potássio absorvido pelas plantas de milho e de soja. Os métodos testados foram as soluções de acetato de amônio a pH 7,0 (AA), a solução de Mehlich 1 (M1), a solução de Mehlich 3 (M3) e a resina trocadora de íons (resina).

As quantidades extraídas de potássio variaram, no primeiro cultivo, de 52 mg dm⁻³ no solo São Gabriel IV (SXe 1) até 504 mg dm⁻³ no solo Ciríaco IV (MTf) com a solução de AA; de 34 mg dm⁻³ no solo São Gabriel IV (SXe 1) até 545 mg dm⁻³ no solo Vacaria III (LBa 1) com a solução de M1; de 45 mg dm⁻³ no solo São Gabriel IV (SXe 1) até 503 mg dm⁻³ no solo Ciríaco IV (MTf) com a solução de M3; e de 12 mg dm⁻³ no solo São Gabriel IV (SXe 1) até 310 mg dm⁻³ no solo Vacaria III (LBa 1) com a resina trocadora de íons (Apêndice 17). No segundo cultivo as quantidades extraídas variaram de 31 mg dm⁻³ no solo Uruguaiana III (MEk) até 314 mg dm⁻³ no solo Santo Ângelo III (LVdf 2) com a solução de AA; de 31 mg dm⁻³ no solo Cruz Alta IV (LVd 2) até 243 mg dm⁻³ no solo Santo Ângelo III (LVdf 2) com a solução de M1; de 29 mg dm⁻³ no solo Uruguaiana III (MEk) até 283 mg dm⁻³ no solo Santo Ângelo III (LVdf 2) com a solução de M3; e de 5 mg dm⁻³ no solo Cruz Alta IV (LVd 2) até 139 mg dm⁻³ no solo Santo Ângelo III (LVdf 2) com a resina trocadora de íons (Apêndice 18).

A relação entre as quantidades de potássio extraído pelas soluções de AA e de M1 é mostrada na Figura 16. Os coeficientes de correlação entre as quantidades extraídas pelas soluções foram de 0,92 e de 0,98 para os solos

coletados antes do primeiro e do segundo cultivos, respectivamente. A capacidade extratora da solução de M1 é menor do que a solução de AA. Em média, os valores de potássio extraído foram 20% menores no primeiro cultivo e 27% menores no segundo cultivo (Figura 16). Esses resultados concordam, em geral, com os da literatura (Evans & McGuire, 1990; Alva, 1993). O tempo de agitação das amostras (15 min para a solução de AA e 5 min para a solução de M1) também pode ser outro fator a influenciar na maior extração pela solução de AA.

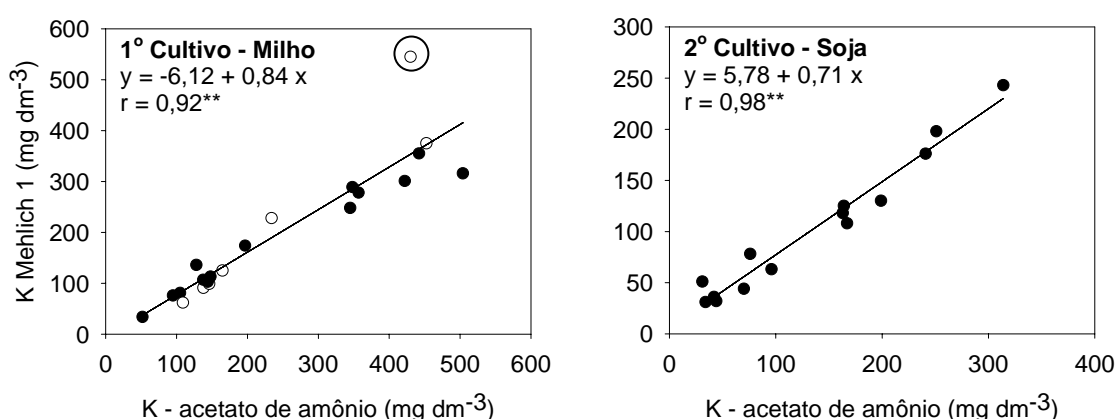


Figura 16. Correlação entre as quantidades de potássio extraído pelas soluções de acetato de amônio e de Mehlich 1 em amostras de solos coletadas antes do primeiro e do segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

Na Figura 16, primeiro cultivo, observa-se um deslocamento acentuado da reta de regressão de um ponto (solo Vacaria III – LBa 1), que influencia muito no coeficiente de correlação. Não há uma explicação para o fato de a solução de M1 extrair quantidade maior de potássio nesse solo do que a solução de AA. A retirada desse solo da regressão eleva o coeficiente de correlação para 0,98.

A regressão entre as quantidades extraídas pela solução de AA e pela solução de M3 é mostrada na Figura 17. Os coeficientes de correlação foram de 0,98 e de 0,99 respectivamente para o primeiro e o segundo cultivos respectivamente. A quantidade de potássio extraído pela solução de M3 foi, em

média, 10% menor que a extraída pela solução de AA. Provavelmente, a maior quantidade extraída em relação ao M1 se deve à composição e ao maior pH (pH 2,5) da solução de M3. Os resultados obtidos nesse trabalho são concordantes com outros obtidos na literatura, como por exemplo, os de Hanlon & Johnson (1996) e de Wendt (1995).

A regressão entre as quantidades extraídas pela solução de AA e pela resina é mostrada na Figura 18. Os coeficientes de correlação obtidos entre os métodos foram de 0,91 e de 0,90, respectivamente para o primeiro e segundo cultivos. As quantidades extraídas pela resina foram aproximadamente 50% menores (Figura 18).

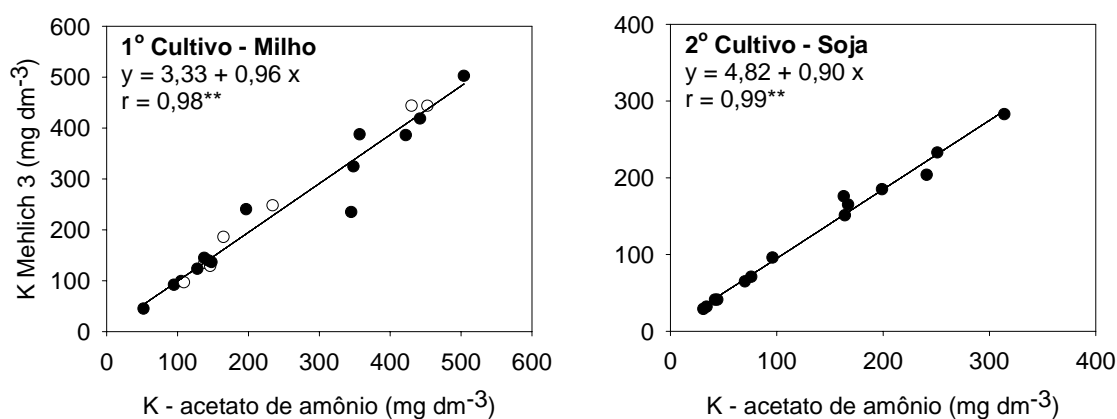


Figura 17. Correlação entre as quantidades de potássio extraído pelas soluções de acetato de amônio e de Mehlich 3 em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

De forma semelhante ao observado para a solução de M1, o mesmo solo (Vacaria III – LBa 1) tem um deslocamento acentuado da reta de ajuste na extração com a resina (Figura 18). Isso, no entanto, não foi observado para a solução de M3 (Figura 17). Se o fosse, poderia ser concluído que a solução de AA teve menor capacidade extratora de potássio nesse solo. Assim como para a relação M1 e AA, não há uma explicação adequada para o observado na Figura 18. A retirada desse solo da regressão eleva o coeficiente de correlação para 0,96. No segundo cultivo, essa discrepância em relação ao solo vacaria III (LBa 1) não é observada, em função do mesmo ser excluído da relação por

apresentar alguma interferência no desenvolvimento da cultura da soja. Contudo, há a presença de outro solo (Júlio de Castilhos III – PVAa 3) que interfere em grau maior. A retirada desse solo da regressão eleva o coeficiente de correlação para 0,98. Constatase também que as quantidades de potássio extraído são menores para ambas as soluções, devido à absorção de potássio pela cultura de milho no primeiro cultivo.

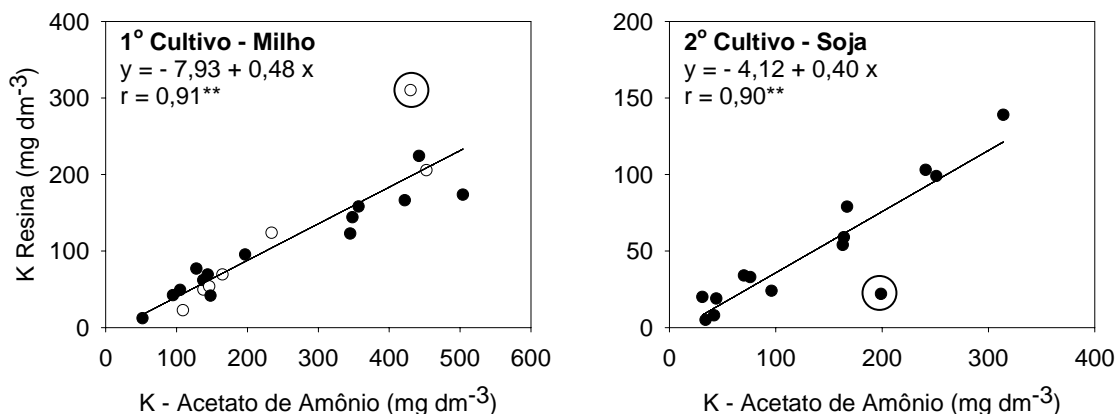


Figura 18. Correlação entre as quantidades de potássio extraído pela solução de acetato de amônio e pela resina trocadora de íons em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

A regressão entre as quantidades de potássio extraído pela solução de M1 e de M3 é mostrada na Figura 19. Os coeficientes de correlação entre as soluções foram de 0,94 e de 0,97, respectivamente para amostras coletadas antes do primeiro e do segundo cultivos.

Resultados semelhantes foram obtidos por Kroth (1998) em 60 amostras de 20 solos do RS, Evans & McGuire (1990) em 50 solos do Alabama, por Schlindwein (2003) e por Alva (1993). No entanto, Alva (1993) obteve resultados aproximadamente 30% mais altos com a solução de M3 do que com a solução de AA.

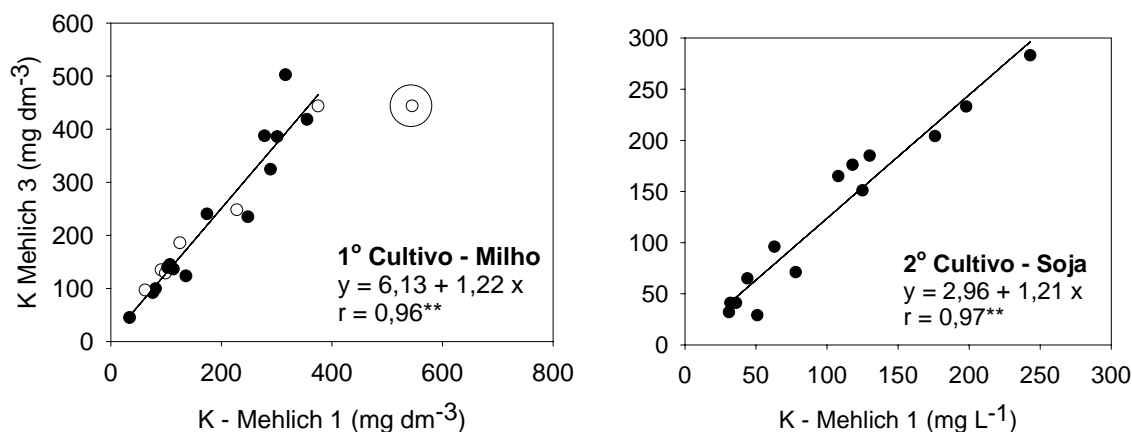


Figura 19. Correlação entre as quantidades de potássio extraído pelas soluções de Mehlich 1 e de Mehlich 3 em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

Observa-se na Figura 19 que a dispersão do ponto assinalado (Vacaria III – LBa 1) é alta em relação à reta de ajuste. A inclusão do mesmo na regressão reduz o coeficiente de correlação para 0,92 e o coeficiente b para 0,99, destoando do obtido no segundo cultivo.

A comparação da capacidade extratora da solução de M1 e da resina trocadora de íons é mostrada na Figura 20. Os coeficientes de correlação entre os dois métodos foram de 0,99 e de 0,92 respectivamente em amostras de solo coletadas antes do primeiro e do segundo cultivos. O ponto referenciado no segundo cultivo (Júlio de Castilhos III - PVAa 3) tem alta dispersão em relação à reta de ajuste. A exclusão do mesmo eleva o coeficiente de correlação para 0,97 e o coeficiente angular é semelhante ao obtido no primeiro cultivo (0,58).

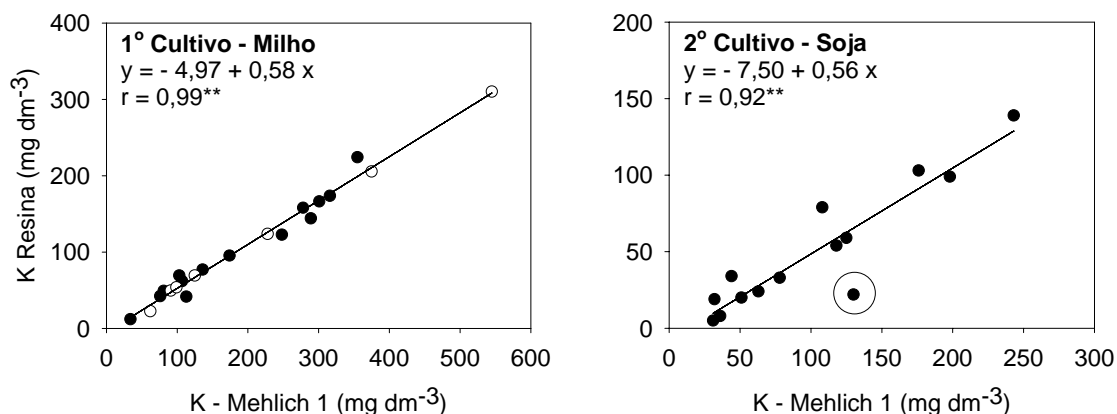


Figura 20. Correlação entre as quantidades de potássio extraído pela solução de Mehlich 1 e pela resina trocadora de íons em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

Em média as quantidades de potássio extraído pela resina trocadora de cátions foram 40 a 50% menores do que as obtidas com a solução de M1. Considerando o princípio do método da resina e o tempo de agitação das amostras, as quantidades deveriam ser semelhantes. A área superficial específica da resina trocadora de cátions pode ter sido subestimada. Contudo, se fosse aceita essa justificativa, a regressão apresentaria uma tendência curvilínea, pois para teores baixos de potássio, as quantidades seriam semelhantes às extraídas pela solução de M1 e para teores elevados seriam menores que as da solução de M1. A Figura 20, no entanto, mostra que a relação foi linear e a dispersão dos pontos foi baixa, principalmente em amostras coletadas antes do primeiro cultivo em que os teores de potássio foram maiores do que naquelas antes do segundo cultivo. Resultados semelhantes foram obtidos por Kroth (1998).

4.2.2.2. Relação entre as quantidades extraídas pelas soluções e a absorção pelas plantas

A relação entre o teor de potássio no solo extraído pela solução de AA e o potássio absorvido é mostrada na Figura 21. Os coeficientes de determinação foram de 0,64 e de 0,56, respectivamente no primeiro e no segundo cultivos. A inclusão do solo Santo Ângelo III (LVdf 2) na regressão influenciou sobremaneira o coeficiente de determinação. A exclusão desse solo elevou os coeficientes para 0,75 e para 0,88, respectivamente. Isso enfatiza que outro fator pode ter interferido na relação.

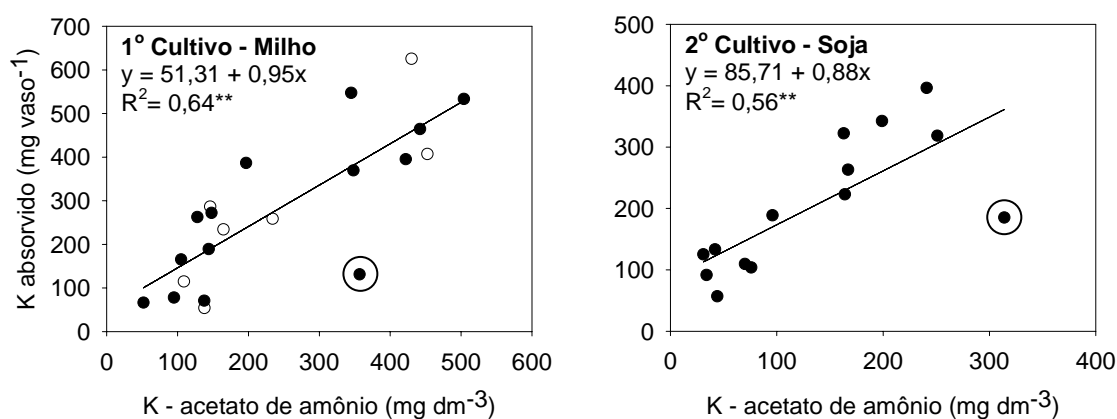


Figura 21. Regressão entre as quantidades extraídas pela solução entre as quantidades de potássio absorvido pelas plantas de milho e soja e as quantidades de potássio extraído pela solução de acetato de amônio. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

A relação entre as quantidades de potássio extraído pela solução de M1 e o potássio absorvido no primeiro e no segundo cultivos é mostrada na Figura 22. Os coeficientes de determinação foram de 0,67 e de 0,47, respectivamente para o milho e para a soja. Também nesse caso houve influência do solo Santo Ângelo III (LVdf 2) no primeiro e no segundo cultivos. Ao ser retirado o solo da regressão os coeficientes se elevariam para 0,76 e para 0,81, respectivamente.

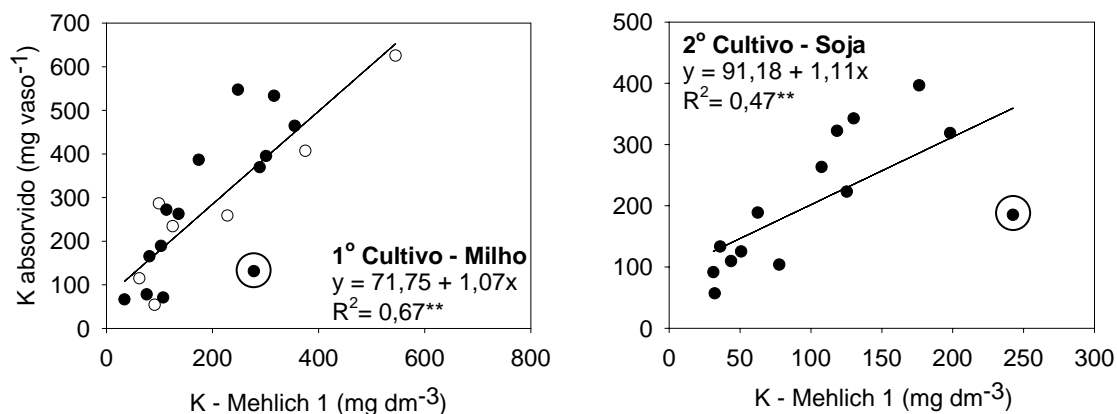


Figura 22. Regressão entre as quantidades de potássio extraído pela solução de Mehlich 1 em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos o potássio absorvido pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

A relação entre as quantidades de potássio extraído pela solução de M3 e o potássio absorvido no primeiro e no segundo cultivos é mostrada na Figura 23. Os coeficientes de determinação foram de 0,56 e de 0,58, respectivamente para o milho e para a soja.

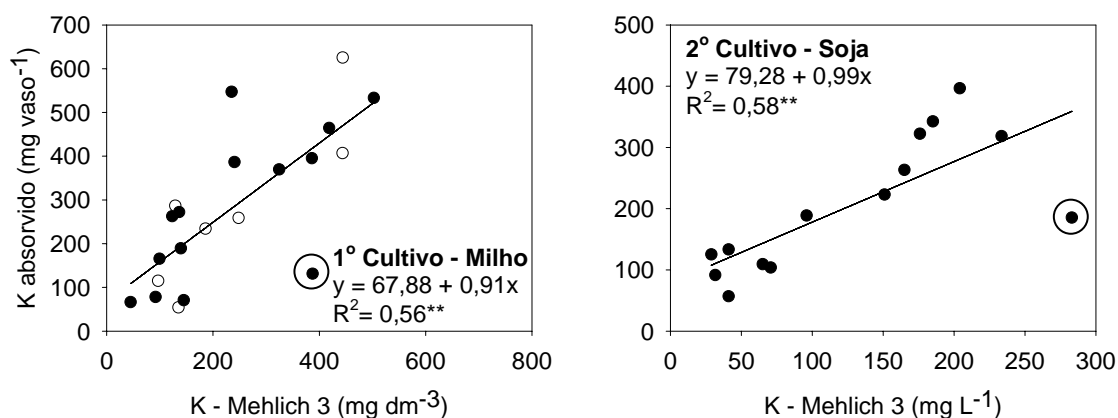


Figura 23. Regressão entre as quantidades de potássio extraído pela solução de Mehlich 3 em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e o potássio absorvido pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

O solo Santo Ângelo III (LVdf 2) interferiu negativamente na relação no primeiro e no segundo cultivos, semelhantemente ao ocorrido com os outros métodos. A retirada desse solo da regressão aumentou os coeficientes para 0,70 e para 0,88, respectivamente.

A relação entre as quantidades de potássio extraído pela resina e o potássio absorvido pelas plantas no primeiro e no segundo cultivos é mostrada na Figura 24. Os coeficientes de determinação foram de 0,63 e de 0,29 respectivamente para o milho e para a soja. No segundo cultivo, além da interferência do solo Santo Ângelo III (LVdf 2), a dispersão dos pontos foi maior em relação ao primeiro. Como este solo apresentou o mesmo comportamento com todos os métodos estudados, pode ter ocorrido outro fator que limitou a absorção de potássio pela cultura da soja, como por exemplo a compactação do solo.

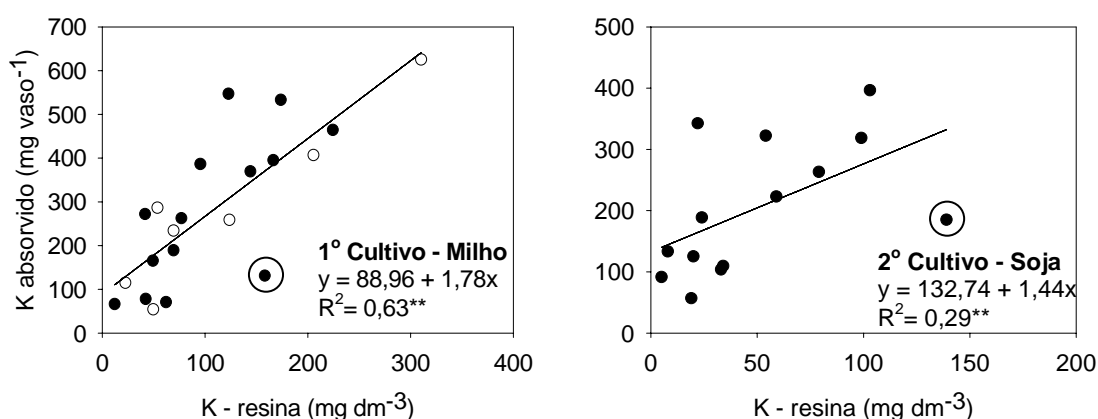


Figura 24. Regressão entre as quantidades de potássio extraído pela resina trocadora de íons em amostras de solo coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e o potássio absorvido pelas plantas de milho e soja. Os pontos em branco representam os solos excluídos no segundo cultivo.

Todos os métodos de extração de potássio estudados foram altamente correlacionados entre si e apresentaram uma baixa dispersão de pontos quando comparados dois a dois. No entanto, nenhum deles estimou adequadamente a disponibilidade de potássio para as plantas, mesmo se considerarmos que houve significância estatística para todos os coeficientes. A incansável busca por soluções extratoras ou métodos que, isoladamente,

avaliem de forma adequada a disponibilidade dos nutrientes para as plantas é apenas uma obsessão de não desistir perante a realidade. Uma análise criteriosa dos fatos mostra que são vários os fatores que influenciam a disponibilidade de um nutriente para as plantas. Os dados dos últimos 60 anos mostram isso. Mesmo se fosse viável determinar a participação de cada fator, ainda assim a interação entre os mesmos seria mais importante do que a soma dos efeitos isolados.

4.3. Correlação entre métodos de avaliação de potássio, cálcio e magnésio em solos do Rio Grande do Sul.

4.3.1. Potássio

Nesse estudo, foram comparados entre si os métodos de extração de potássio com todos os solos utilizados no primeiro e no segundo cultivos (n=130). Nessa comparação não houve necessidade da exclusão de solos devido a fatores que influenciassem o desenvolvimento das plantas uma vez que é feita uma simples comparação entre as quantidades extraídas para cada elemento.

As quantidades de potássio extraídas pelos métodos variaram de 7 mg dm⁻³ no solo Itapuã I (PVAd 1) a 788 mg dm⁻³ no solo Erechim I (LVaf) com a solução de AA; de 6 mg dm⁻³ no solo Itapuã IV (PVAd 1) a 631 mg dm⁻³ no solo Erechim IV (LVaf) com a solução de M1; de 7 mg dm⁻³ no solo Itapuã I (LVaf) a 670 mg dm⁻³ no solo Erechim IV (LVaf) com a solução de M3; e de 8 mg dm⁻³ no solo Itapuã I (PVAd 1) a 615 mg dm⁻³ no solo Ciríaco I (MTf) com a resina (Apêndice 19).

A regressão entre as quantidades de potássio extraído com a solução de acetato de amônio e as quantidades extraídas pelas soluções de M1, de M3 e pela resina trocadora de íons é mostrada na Figura 25. O coeficiente de correlação obtido entre a solução de AA e a solução de M1 foi de 0,97. Na média, as quantidades extraídas pela solução de M1 foram 25% menores do que com a solução de AA (Figura 25 a). A explicação para esse fato já foi dada anteriormente.

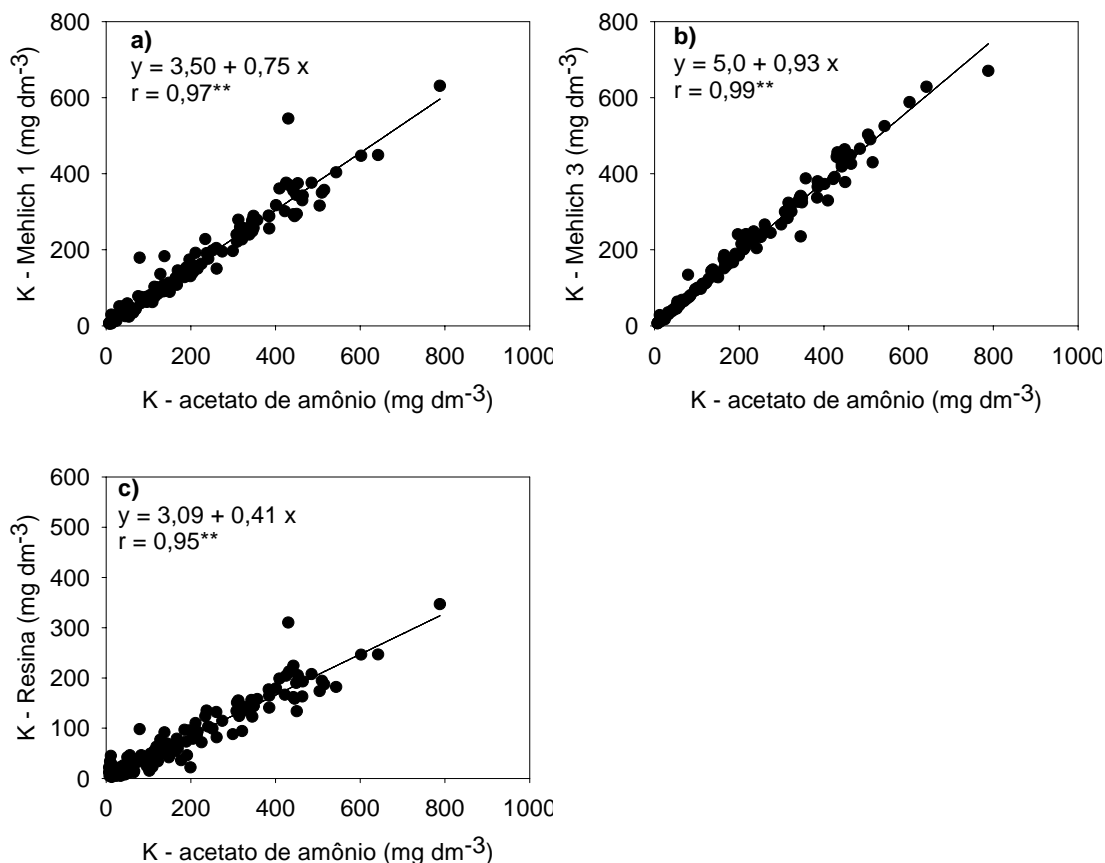


Figura 25. Correlação entre as quantidades de potássio extraído pela solução de acetato de amônio a pH 7,0 e pelas soluções de M1 (a), de M3 (b) e resina trocadora de íons (c) em amostras de solo coletadas antes do primeiro e do segundo cultivos (n = 130 amostras).

As quantidades de potássio extraído pela solução de AA e pela solução de M3 foram semelhantes (Figura 25 b). Isso evidencia a maior capacidade extratora desta solução comparada às demais. Por esses dados é possível afirmar que a solução de M3 representa melhor o potássio trocável do solo em relação à resina e ao próprio M1, utilizado por todos os laboratórios de rotina dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Os resultados obtidos nesse trabalho são semelhantes aos obtidos por Hanlon & Johnson (1996) em 310 amostras de solos de Oklahoma (EUA) e por Wendt (1995) em 112 amostras de solos de Malawi.

A regressão entre as quantidades extraídas pela solução de AA pela resina é mostrada na Figura 25 c. Observa-se que a capacidade extratora da resina é menor que a da solução de AA e das demais soluções extratoras testadas. Não há uma explicação para esse fato. A possibilidade de ter sido

subestimada a área superficial específica é descartada, pois também para teores baixos de potássio, a resina extraiu uma quantidade menor do que a solução de AA. Se isso fosse verdadeiro, o ajuste dos pontos da regressão tenderia a ser curvilíneo.

Na Figura 26 são mostradas as relações entre a solução de M1, de M3 e da resina. Observa-se que os coeficientes de correlação entre eles são altos. No entanto, a dispersão de pontos é maior entre as soluções de M1 e de M3 do que entre essa e a resina. A substituição da solução de M1 por outra solução pode ser feita pela utilização de uma equação de ajuste. No entanto para alguns solos o erro pode ser grande.

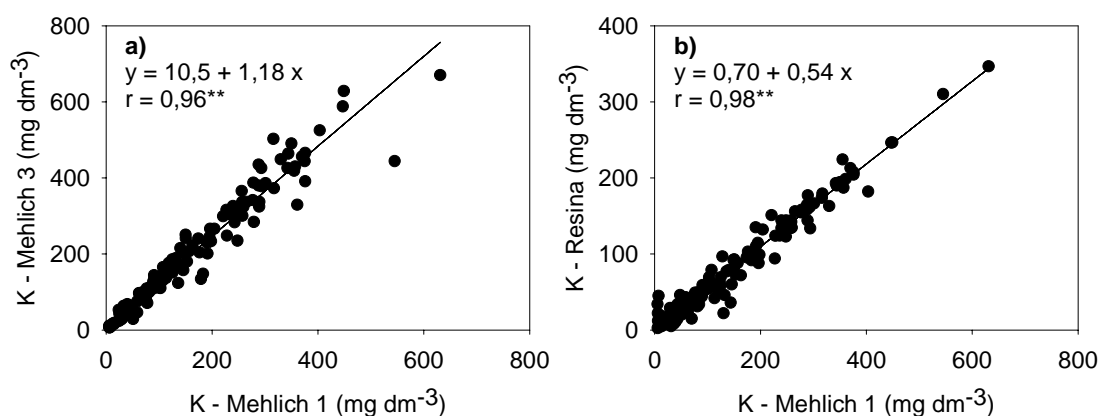


Figura 26. Correlação entre as quantidades de potássio extraído pela solução de Mehlich 1 e o potássio extraído pela solução de Mehlich 3 (a) e resina de troca iônica (b) (n = 130 amostras).

4.3.2. Cálcio

As quantidades de cálcio extraído em amostras de solos coletadas antes do primeiro e do segundo cultivos (130 amostras) variaram de 0,2 cmol_c dm⁻³ no solo Bom Retiro I (PVd 1) a 16,3 cmol_c dm⁻³ no solo Bom Jesus II (CHa 1) com a solução de AA; de 0,2 cmol_c dm⁻³ no solo Itapuã I (PVAd 1) a 16,8 cmol_c dm⁻³ no solo Bom Jesus II (CHa 1) com a solução de KCl; de 0,2 cmol_c dm⁻³ no solo Itapuã I (PVAd 1) a 18,2 cmol_c dm⁻³ no solo Bom Jesus II (CHa 1) com a solução de M3; de 0,2 cmol_cdm⁻³ no solo Itapuã I (PVAd 1) até 15,4 cmol_c dm⁻³ no solo Bom Jesus II (CHa 1) com a solução de M1; e de 0,1 cmol_c

dm^{-3} no solo Itapuã I (PVAd 1) até $6,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo Bom Jesus II (CHa 1) com a resina (Apêndice 20).

A solução de M1 extraiu cálcio em quantidades semelhantes às da solução de AA e de KCl. No entanto, a dispersão dos pontos na correlação foi maior do que a observada para a solução de KCl. O coeficiente de correlação obtido entre essas soluções foi de 0,97 (Figura 27 c). O mesmo ocorreu com a solução de M3, porém a dispersão foi intermediária entre aquela observada para a solução de M1 e para a solução de KCl. Pelos resultados observados conclui-se que qualquer um dos métodos, exceto a resina, é capaz de extrair a fração trocável de cálcio do solo.

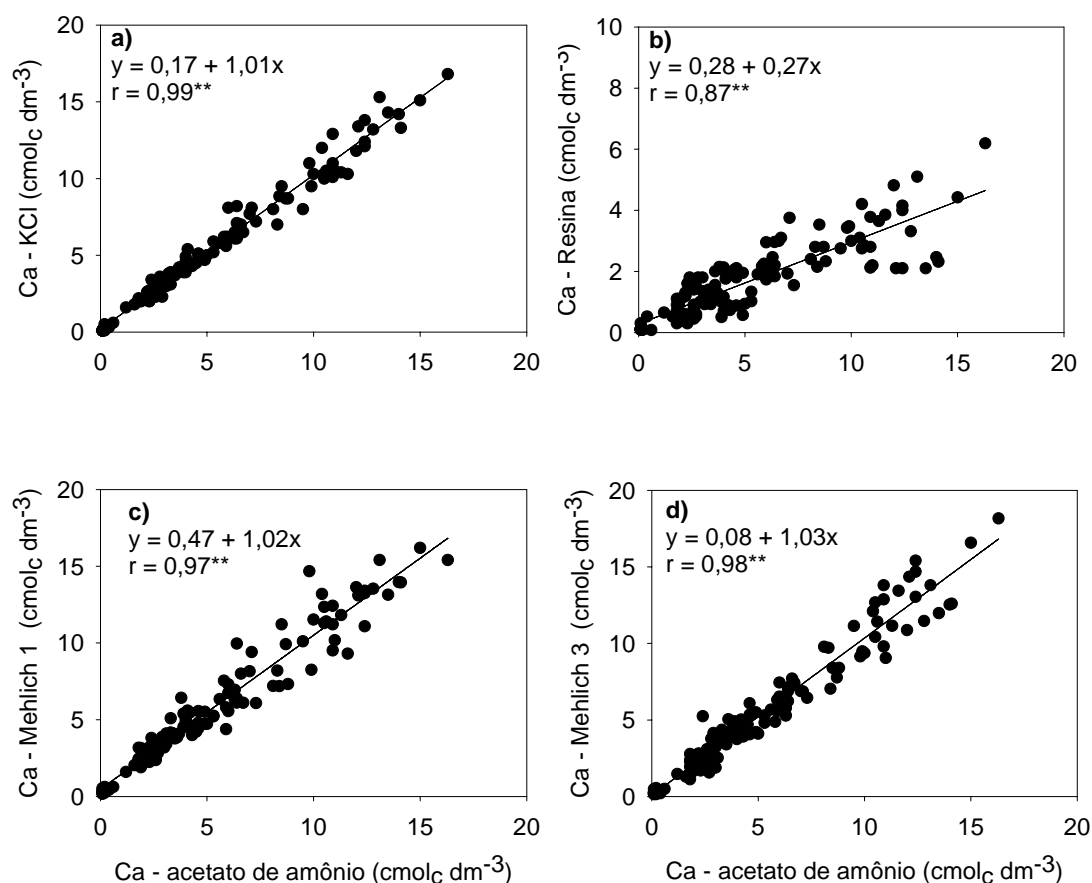


Figura 27. Correlação entre as quantidades de cálcio extraído pela solução de acetato de amônio e extraído pelas soluções de KCl (a), resina de troca iônica (b) Mehlich 1 (c) e Mehlich 3 (d) ($n = 130$ amostras).

As relações entre as quantidades de Ca extraído pela solução de KCl, método utilizado em todos os laboratórios de rotina dos Estados do RS e SC (Tedescio et al., 1995), e o Ca extraído pelas soluções de M1, de M3 e pela

resina são mostradas na Figura 28. Os resultados são semelhantes aos mostrados e discutidos para a relação desses métodos com a solução de AA.

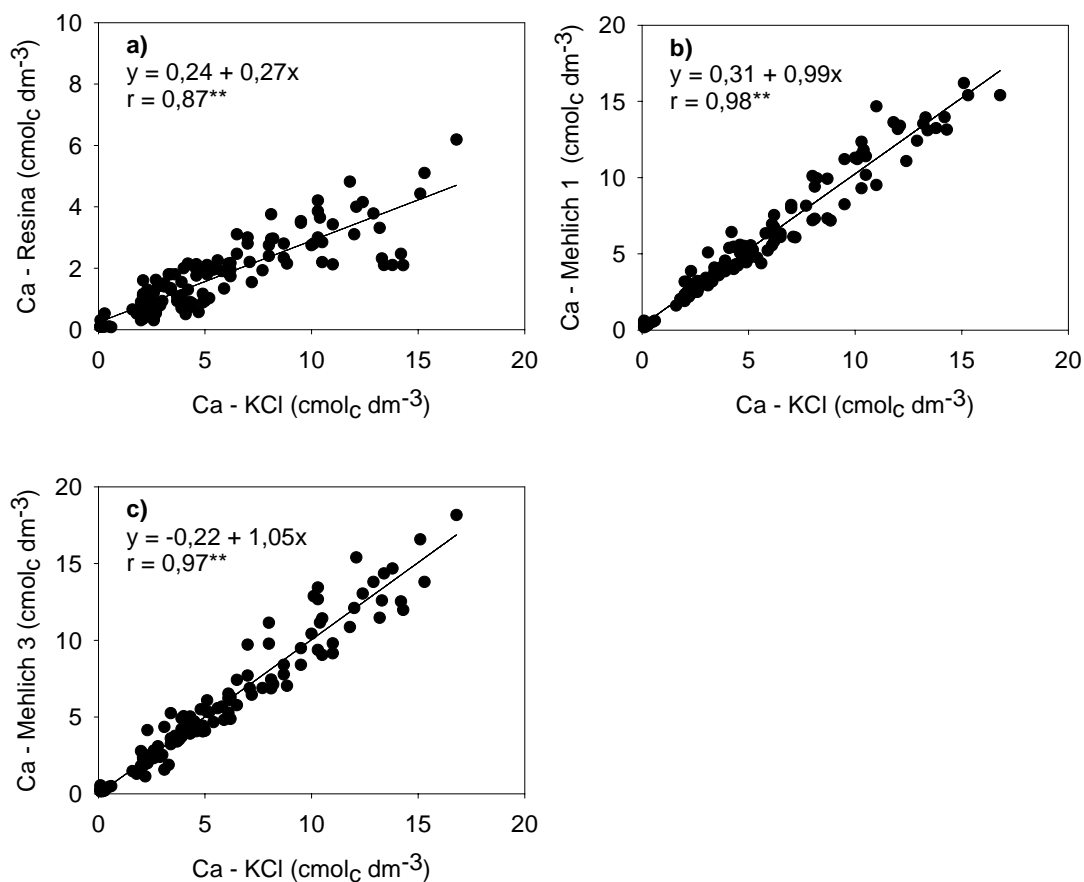


Figura 28. Correlação entre as quantidades de cálcio extraído pela solução de KCl em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos e o Ca extraído pela resina de trocadora de íons (a) e soluções de Mehlich 1 (b) e de Mehlich 3 (c) ($n = 130$ amostras).

4.3.3. Magnésio

As quantidades de magnésio extraído de amostras de solos ($n=130$) coletadas antes do primeiro e segundo cultivos pelas soluções de AA, de KCl, de M1, de M3 e resina estão no Apêndice 21. Variaram de $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo Itapuã I (PVAd 1) até $5,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo Ciríaco III (MTf) com a solução de AA; de $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo Itapuã I (PVAd 1) até $5,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo Ciríaco III (MTf) com a solução de KCl; de $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo Itapuã I (PVAd 1) até $3,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo Aceguá II (VEo 1) com a solução de M3; de $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo Itapuã I (PVAd 1) até $2,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo Aceguá III

(VEo 1) com a resina; e de $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo Itapua I (PVAd 1) até $5,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo Aceguá II (VEo 1) com a solução de M1.

As regressões entre as quantidades de magnésio extraído pelos métodos em estudo são mostradas nas Figuras 29 e 30. Os coeficientes de correlação obtidos foram menores do que os determinados para o cálcio nas mesmas comparações, à exceção da resina, que foi semelhante. Observa-se maior dispersão de pontos nas comparações da solução de AA com a solução de M1 e de KCl.

Da mesma forma que para o cálcio, a resina extraiu uma quantidade menor de magnésio, comparada às demais soluções testadas. Em média, a extração foi 50% menor daquela observada para a solução de AA e uma dispersão de pontos mais alta (Figura 29 b).

A solução de Mehlich 3 extraiu, em média, 20 % menos magnésio que a solução de AA (Figura 29 d) e 25% menos que a solução de KCl, principalmente em solos com altos teores de magnésio (Figura 30 c).

Com base nesses resultados, as duas soluções indicadas para a avaliação de cálcio e de magnésio trocáveis do solo são a de AA e a de KCl. Pela facilidade operacional, as soluções de M3 e de M1 poderiam ser utilizadas em substituição, nessa ordem, à de KCl. A solução de M1 extrai quantidades semelhantes de cálcio e de magnésio às aquelas extraídas por AA ou por KCl. Contudo, a dispersão dos pontos ao redor da reta de ajuste é elevada, principalmente para magnésio trocável (Figura 30 c). O inconveniente do uso da solução de KCl em laboratórios de rotina é a deposição do sal de cloreto de potássio no queimador do espectrofotômetro de absorção atômica, o que requer constante manutenção.

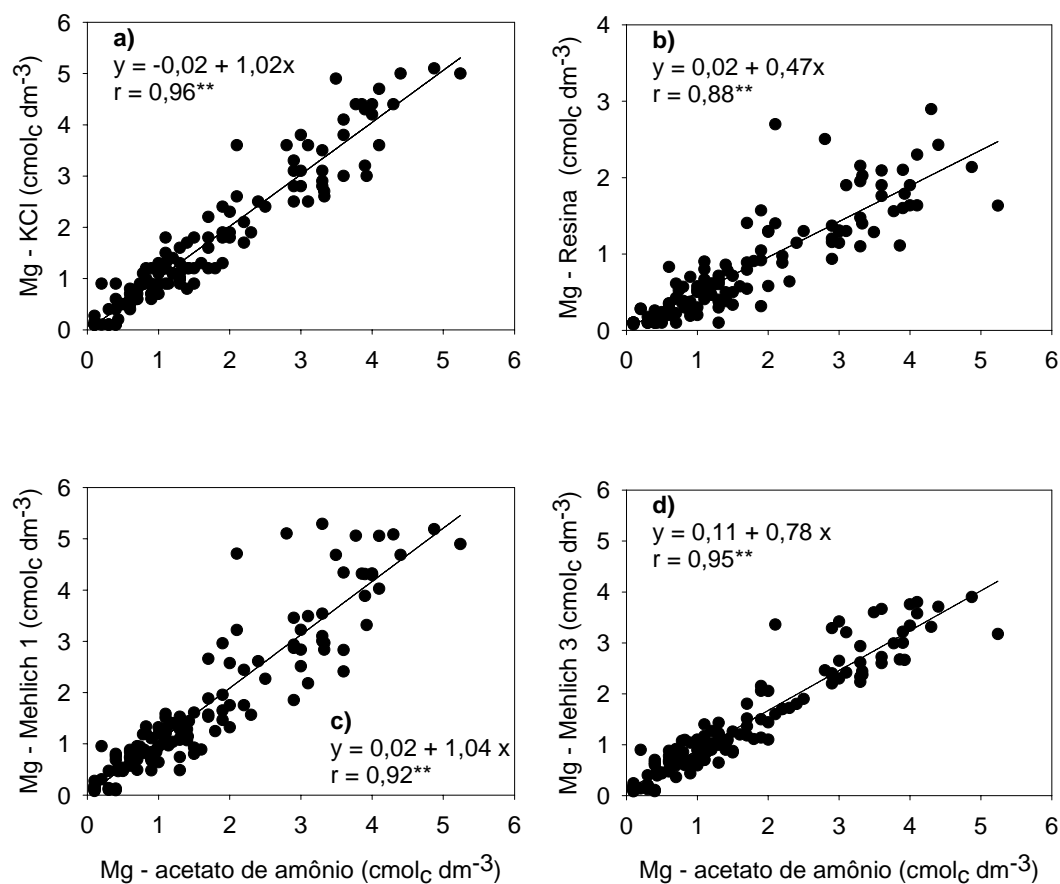


Figura 29. Correlação entre as quantidades de magnésio extraído pela solução de AA e pela solução de KCl (a), resina de troca iônica (b), solução de Mehlich 1 (c) e solução de Mehlich 3 (d) em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos ($n = 130$ amostras).

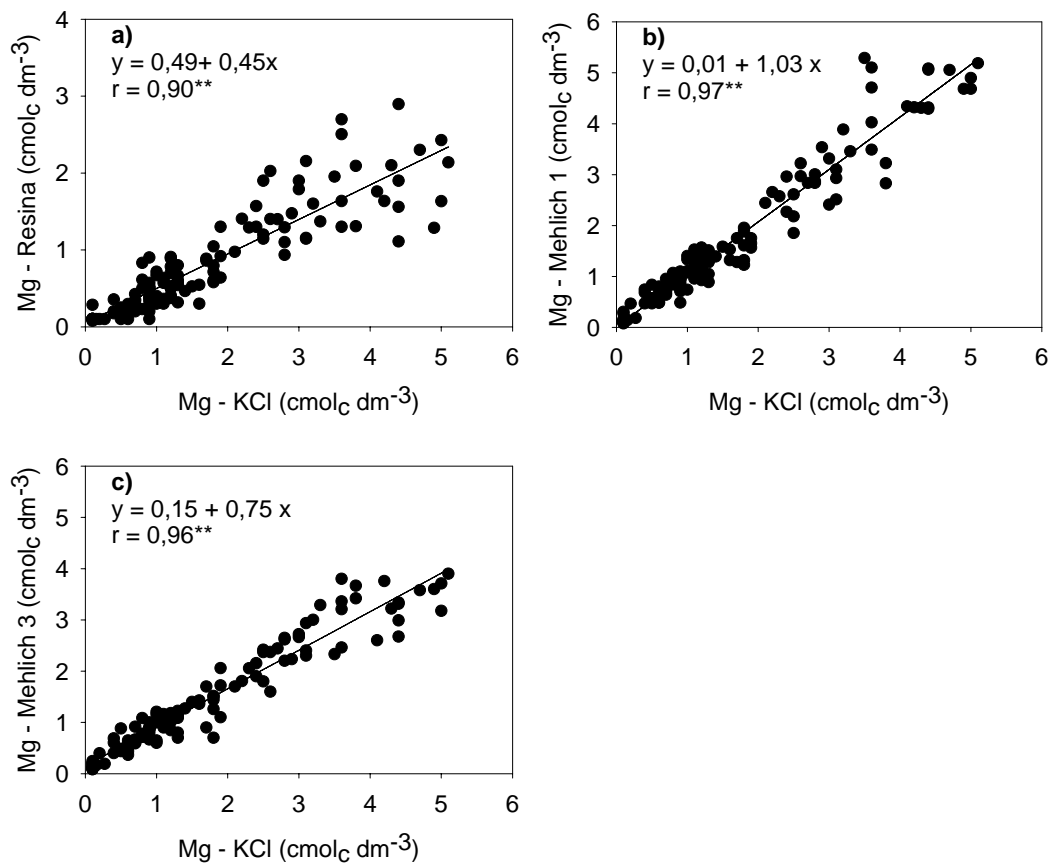


Figura 30. Correlação entre as quantidades de magnésio extraído pela solução de KCl e pela resina de troca iônica (a), solução de Mehlich 1 (b) e solução de Mehlich 3 (c) em amostras de solos coletadas antes do primeiro e segundo cultivos ($n = 130$ amostras).

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste trabalho conclui-se que os métodos testados não avaliam adequadamente a disponibilidade de cobre e zinco para as plantas. Dentre esses, a solução de Mehlich 3 é a melhor alternativa para a avaliação da disponibilidade de cobre para as plantas.

Nenhum dos métodos testados para avaliar a disponibilidade de fósforo e potássio pode ser considerado bom, mesmo que os coeficientes de determinação sejam estatisticamente significativos. A substituição do método Mehlich 1 em laboratórios de rotina dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina por qualquer outro não é vantajosa.

A extração dos nutrientes potássio, cálcio e magnésio trocáveis pode ser feita com qualquer uma das soluções testadas. Para a resina trocadora de íons é necessária a utilização de um coeficiente de ajuste.

Os resultados obtidos nesse estudo e os publicados nos últimos 50 anos em metodologia analítica com a finalidade de avaliar a disponibilidade de nutrientes para as plantas têm, em sua maioria, um vício de origem, por aceitar a premissa de que a planta não participa do processo e que o resultado é sempre uma função linear da quantidade de um determinado fator. A quantidade absorvida de um nutriente é o resultado da interação da planta com o meio, o qual é afetado por suas características intrínsecas. Concluiu-se, numa visão mais ampla, que essa busca obsessiva por um método, que pela determinação de um único fator estabeleça a relação entre a disponibilidade deste e a absorção pela planta, não resultará em qualquer avanço significativo para a ciência do solo. Necessária se faz a substituição da premissa de que todo o método deve ser simples, rápido, de baixo custo e que tenha um alto coeficiente de correlação, por uma avaliação do todo (sistema solo e sistema planta) ou pelo menos da interação de algumas de suas partes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A.; RAIJ, B. van. Efeito da reação do solo no zinco extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich – 1. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n.2, p. 357-363, 1996.
- ABREU, C.A.; FERREIRA, M.E.; BORKERT, C.M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: Zinco e Cobre. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B.van; ABREU, C.A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: POTAFOS; São Paulo : FAPESP ; Brasília : CNPq , 2001. p. 125-141.
- ABREU, C.A.; LOPES, A.S.; ANDRADE, D.S. Identificação de deficiências de micronutrientes em cinco solos de várzeas da região de cerrados de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 833-841, 1987.
- ABREU, C.A.; RAIJ, B.van; ABREU, M.F.; SANTOS, W.R.; ANDRADE, J.C. Efficiency of multinutrient extractants for the determination of available copper in soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 27, n.3/4, p. 763-771, 1996.
- ALVA, A. K. Comparisons of Mehlich 3, Mehlich 1, ammonium bicarbonate-DTPA, 1,0 M ammonium acetate, and 0,2 M ammonium chloride for extraction of calcium, magnesium, phosphorus, and potassium for a wide range soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 24, n.7/8, p. 603-612, 1993.
- ALVAREZ V., V. H. Correlação e calibração de métodos de análise. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, Minas Gerais: SBCS: UFV, 1996. p. 615-646.
- AMER, T.; BOULDING, D.R.; BLACK C.A. et al. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and P^{32} equilibration. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 6, p. 391-408, 1955.
- ANGHINONI, I.; BOHNEN, H. Avaliação da disponibilidade de fósforo para os solos do Rio Grande do Sul. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 1, p. 127-136, 1974.
- ANGHINONI, I.; WOLKWEISS, S. J. Recomendações de uso de fertilizantes no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA – DEP, 1984. p. 179-204.

- ARNON, D.I.; STOUT, P.R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, Rockville, v. 14, p. 371-375, 1939.
- BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M.; RIBEIRO, A. C.; NOVAIS, R. F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade tampão de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 243-249, 1983.
- BARBOSA FILHO, M. P.; DYNIA, J. F.; F. J. P. ZIMMERMANN. Resposta do arroz de sequeiro ao zinco e ao cobre com efeito residual para o milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v. 14, p. 333-338, 1990.
- BATAGLIA, O.; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v. 13, p. 205-212, 1989.
- BATAGLIA, O.; RAIJ, B. van. Soluções extratoras na avaliação da fitodisponibilidade de zinco em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 454-461, 1994.
- BAUER, A. Considerations in the development soils tests for available zinc. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 2, n.3, p. 161-193, 1971.
- BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. Micronutrientes. In: BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O.(Eds). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Gênese, 2004. p. 221-238.
- BLACK, A.B. **Soil fertility evaluation and control**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. 746p.
- BORKERT, C.M.; COX, F.R.; TUCKER, M.R. Zinc and copper toxicity in peanut, soybean, rice and corn in soil mixtures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 29, p. 2991-3005, 1998.
- BORKERT. C.M.; SFREDO, G.J; ORTIZ, F.R; BRITO, O.R. Extratores para zinco, cobre e manganês em Latossolo Vermelho distrófico. In: REUNIÃO DA PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 32., 2004, Passo Fundo. **Atas e Resumos...** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. p. 70-71.
- BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; TEDESCO. M.J.; SCOLMEISTER, D.; KROTH. P.L. Eficiência de extratores em avaliar a disponibilidade de cobre e zinco em solos do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO ANUAL DA REDE OFICIAL DE LABORATÓRIOS DE ANÁLISE DE SOLO E TECIDO VEGETAL DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA, 37., 2005, Passo Fundo. **Ata...** Passo Fundo: SBCS-NRS, 2005 (*no prelo*).
- BRAIDA, J.A.; CAMARGO, F.A. de O.; ROSSO, I.J. Comparação de métodos de determinação da disponibilidade de fósforo do solo para as plantas.

- Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 345-347, 1996.
- BUZETTI, S.; MURAOKA, T.; MAURO, A.O. Doses de zinco em diferentes condições de acidez de um solo de cerrado. I. Produção de matéria seca e de grãos e nível crítico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 913-918, 1991.
- BUZZETI, S. Estudo da eficiência de extratores químicos de zinco, no solo, para o milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 367-372. 1992.
- CAJUSTE, L. J.; KUSSOW, W. R. Use and limitations of the North Carolina method to predict available phosphorus in some oxisols. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 51, p. 246-252, 1974.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M.É.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B.van; ABREU, C.A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: POTAFOS; São Paulo : FAPESP; Brasília : CNPq, 2001. p. 89-117.
- CANCELA, R.C.; FREIRE, A.R.; ABREU, C.A.; GONZÁLEZ, A.P. Eficacia de cuatro extractantes em la evaluación de la disponibilidad de cobre para maíz y soja. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 205-212, 2001.
- CASAGRANDE, J.C.; SOUZA, O.C.; SCHUNKE, R.M. Avaliação da fertilidade de quatro solos do Estado de Mato Grosso do Sul: enxofre e micronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, p. 171-175, 1982.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFS RS/SC **Alterações nas recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS.NRS, 2001. 4p. (Circular Técnica, 2).
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, Rio Grande do Sul: SBCS - Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2004. 400p.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E 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, RS: SBCS - Núcleo Regional Sul : EMBRAPA.CNPT, 1995. 224p.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E 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, RS : SBCS - Núcleo Regional Sul : EMBRAPA.CNPT, 1989. 128p.

- COREY, R.B. Soil test procedures: correlation. In: BROWN, J.R. (Ed) **Soil testing: sampling, correlation, calibration and interpretation**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1987. p. 15-22. (Special Publication, 21).
- COX, F.R.; KAMPRATH, E.J. Micronutrients soil tests. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M., LINDSAY, W.L., ed. **Micronutrients in Agriculture**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1972. p. 289-313.
- CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E. Seleção de métodos para avaliação do cobre disponível nos solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 647-659, 1990.
- CRUZ, M.C.P. **Procedimentos de extração e nível crítico de zinco disponível em solos**. Araraquara, SP : UNESP, 1994. 94f. Tese (Doutorado) – Araraquara, SP : Instituto de Química da UNESP, 1994.
- DALIPARTHY, J.; BARKER, A.V.; MONDAL, S.S. Potassium fractions with other nutrients in crops – a review focusing on the tropics. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 17, p. 1859-1886, 1994.
- DAVIS, J.G.; PARKER, M.B. Zinc toxicity symptoms development and partitioning of biomass and zinc in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 16, p.2353-2369, 1993.
- DAVIS, J.G.; GAINES, T.P.; PARKER, M.B. Comparison of soil zinc extractants for detection of applied zinc and prediction of leaf concentration. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 26, n.17/18, p.2969-2981, 1995.
- DECHEN, A.R. Micronutrientes: funções na planta. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba, São Paulo : POTAFOS; Brasília : CNPq, 1991. p. 111-113.
- ELLIS, B.G.; KNEZEK, B.D. Adsorption reactions of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Ed.) **Micronutrients in Agriculture**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1972. p. 59-75.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de solo**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: 1979. 412 p.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro : Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 338p.
- EVANS, C. E.; MCGUIRE, J. A. Comparison of soil test extractants on Alabama soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 21, n.13/16, p. 1037-1050, 1990.
- FIXEN, P. E.; GROVE, J. H. Testing soils for phosphorus. In: WESTERMAN, R. L. (Ed) **Soil Testing and Plant Analysis**. 3 ed. Madison, Wisconsin: SSSA, 1990, p. 141-180.

- FOLE, D.A.; GRIMM, S.S. Avaliação do efeito residual do fósforo por meio de métodos de extração e modelos matemáticos no oxissolo Passo Fundo. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 2, p. 205-221, 1973.
- FONTES, R.L.F. Pesquisa com micronutrientes em solos e plantas. Difusão dos resultados no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.
- GALRÃO, E.Z.; SOUSA, D.M.G. Resposta do trigo à aplicação de cobre em um solo orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, p. 149-153, 1985.
- GALRÃO, E.Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, fase cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 283-289, 1996.
- GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco em Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso sob cerrado para a soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 83-87, 1993.
- GALRÃO, E.Z. Resposta do trigo à aplicação de cobre em um solo orgânico de várzea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 275-279, 1988.
- GATTIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. Santa Maria : UFSM, 2003. 213f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- GIMENEZ, S.M.N.; CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A.; CRUCES, I.I. Toxicidade de cobre em mudas de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 361-366, 1992.
- GRANT, C.A.; BAILEY, L.D. Interactions of zinc with banded and broadcast phosphorus-fertilizer on the concentration and uptake of P, Zn, Ca, and Mg in plant-tissue of oilseed flax. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 73, p. 17-29, 1993.
- HABY, V.A.; RUSSELLE, M.P.; SKOGLEY, E.O. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. In: WESTWERMANN, R.L. (Ed.). **Soil Testing and Plant Analysis**. 3. ed. Madison, Wisconsin: SSSA, 1990, p. 181-227.
- HANLON, E.A.; JOHNSON, G.V. Bray/Kurtz, Mehlich III, AB/D and ammonium acetate extractions of P, potássio and Mg in four Oklahoma soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 15, n. 3, p. 227-294, 1996.
- HODGSON, J.F.; GEERING, H.R.; NORVELL, W.A. Micronutrient cation complexes in soil solution: partition between complexed and uncomplexed

- forms by solvent extraction. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 29, p. 665-669, 1965.
- HODGSON, J.F.; LINDSAY, W.L.; TRIERWEILIER, J.F. Micronutrient cation complexing in soil solution: complexing of zinc and copper in displaced solution from calcareous soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 30, p. 723-726, 1966.
- HOROWITZ, A.; DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. IV. Zinco na zona Litoral-Mata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 11, p. 27-35, 1976.
- HOROWITZ, A.; DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. III. Cobre na zona Litoral-Mata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 8, p. 169-176, 1973.
- KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria/RS : SBCS.NRS, 1997. 31 p. (Boletim técnico, 3).
- KAMPRATH, E.J.; WATSON, M.E. Conventional soil and tissue test for assessing the phosphorus status of soil. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Eds.) **The role of phosphorus in agriculture**. Madison, Wisconsin: ASA, 1980. p. 433-469.
- KRAUSKOPF, K.B. Geochemistry of micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L.(Ed). **Micronutrients in agriculture**. Madison Wisconsin : SSSA, 1972, p. 7-36.
- KROTH, P.L. **Disponibilidade de fósforo no solo para as plantas e fatores que afetam a extração por resina de troca em membranas**. 1998. 167f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- LANTMANN, A.F.; MEURER, E.J. Estudo da eficiência de extratores para avaliação da disponibilidade do zinco disponível do solo para o milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, p. 131-135, 1982.
- LANTMANN, A.F. **Avaliação da disponibilidade de zinco do solo para o milho**. 1980. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.
- LINDSAY, W.L.; COX, F.R. Micronutrients soil testing for the tropics. In: VLEK, D.L.G.(Ed.) **Micronutrients in tropical food crop production: developments in plant and soil sciences**. Dordrecht : M. Vighoff, 1985. v. 14, p. 169-200.
- LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York : John Wiley, 1979. 449p.

- LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Ed). **Micronutrients in agriculture**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1972. p. 41-57.
- LOPES, A.S. **A survey of the fertility status of soils under "cerrado" vegetation in Brazil**. Raleigh : North Carolina University, 1975. 138p.
- LUCAS, R.E.; DAVIS, J.F. Relationship between pH of organic and availability of 12 plant nutrients. **Soil Science**, Hagerstown, v. 92, p. 177-182, 1961.
- LUCHESE, E.B. **Disponibilidade de cobre e zinco para as plantas nos solos do Rio Grande do Sul**. 1985. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.
- LUO, Y.M.; RIMMER, D.L. zinc copper interaction affecting plant-growth on a metal-contaminated soil. **Environmental Pollution**, Massachusetts, v. 88, p. 79-83, 1995.
- MACMILLAN, K.A.; HAMILTON, H.A. Carrot response to soil temperature and copper, manganese, zinc and magnesium. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 51, p. 293-297, 1971.
- MAGALHÃES, A.F. Uso de resina de troca aniônica na avaliação do fósforo "disponível" para as plantas. II – estudo comparativo com a solução de Mehlich (Carolina do Norte). **Agronomia Sulriogradense**, Porto Alegre, v. 1, p. 171-176, 1974.
- MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A.E.; PAULINO, V.T. Micronutrientes – uma visão geral. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba, SP : POTAFOS : Brasília : CNPq, 1991. p. 1-75.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego, Califórnia : Academic Press, 1997. 889p.
- MARTIN, W.E.; MCLEAN, J.Q.; QUICK, J. Effect of temperature on the occurrence of phosphorus induced zinc deficiency. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison: SSSA, v. 29, p. 411-413, 1965.
- MCLAREM, R.G.; CRAWFORD, D.V. Studies on soil copper. The specific absorption of copper by soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 24, p. 443-445, 1973.
- MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄ by North Carolina Soil Testing Laboratories**. Raleigh: University of North Carolina, 1953. (mimeografado).
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v 15, p. 1409-1416, 1984.

- MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v 9, p. 477-492, 1978.
- MIOLA, G.R. **Extração de P, K, Ca e Mg do solo por diferentes métodos e avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas**. 1995. 127f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- MIOLA, G.R.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A.; CAMARGO, F.A.O. Avaliação da disponibilidade de fósforo para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n.5, p. 813-819, 1999.
- MURAOKA, T.; NEPTUNE, A.M.L.; NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e de manganês do solo para o feijoeiro. I. Zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 167-175, 1983.
- NELSON, W.L.; MEHLICH, A.; WINTERS, E. The development, evaluation and use of soil tests phosphorus availability. In: PIERRE, W,H,; NORMAN, A.G. (eds.). **Soil fertilizer phosphorus**. New York: Academic Press, 1953. p. 153-188. (Agronomy Series, 14).
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, Minas Gerais: UFV, 1999. 399 p.
- OLIVEIRA, M.F.G.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; VASCONCELLOS, C.A.; ALVES, V.M.C. Relação entre o zinco "disponível" por diferentes extratores, e as frações de zinco em amostras de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 827-836, 1999.
- PEREIRA, M.G.; PÉREZ, D.V.; VALLADARES, G.S.; SOUZA, J.M.P.F.; ANJOS, L.H.C. Comparação de métodos de extração de cobre, zinco, ferro e manganês em solos do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 655-660, 2001.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, São Paulo: Instituto Agrônômico; Fundação IAC, 1996. (Boletim, 100).
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; SILVA, M.N. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soil by an ion-exchange resin procedure **Communication in soil Science of Plant Analysis**, New York, v. 17, p. 547-566, 1986.
- REED, S.T.; MARTENS, D.C. Copper and zinc. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAIA, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMNER, M.E. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1996. p. 703-722. (Book Series, 5)

- REIN, T.A. **Estimativa do fluxo difusivo de fósforo nos solos e avaliação de sua disponibilidade às plantas**. 1991. 170f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.
- RHOADS, F.M.; BARNETT, R.D.; OLSON, S.M. Copper toxicity and phosphorus concentration in Florida – 502 oats. **Soil Crop Science Society Florida Proceedings**, Gainesville v. 51, p. 18-20, 1992.
- RITCHEY, K.D.; COX, F.R.; GALRÃO, E.Z.; YOST, R.S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-escuro argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 215-225, 1986.
- ROBSON, A.D.; REUTER, D.J. Diagnosis of copper deficiency and toxicity. In: LONERAGAN, J.F.; ROBSON, A.D.; GRAHAM, R.D. (Eds.). **Copper in soils and plants**. Sydney : Academic Press, 1981. p. 313-350.
- RODRIGUES, M.R.L.; MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Avaliação de extratores de zinco em solos da amazônia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002, Rio de Janeiro, RJ. **Resumos...** Rio de Janeiro: Fertibio, 2002. 4p. CD-ROM.
- ROESCH, V. **Fatores que afetam a absorção de zinco em solos**. 1979. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979.
- SAEED, M; FOX, R.L. Influence of phosphate fertilization on zinc adsorption by tropical soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 43, p. 683-686, 1979.
- SALET, R.L.; PAVINATO, A.; ALCANTARA, M.A.K. Métodos de avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas em solos argilosos do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 1994, Pelotas. **Resumos...** Pelotas: SBCS.NRS, 1994. p. 31-32.
- SCHLINDWEIN, J.A. **Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto**. 2003. 169f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- SCHLINDWEIN, J.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A. Mehlich-3: uma metodologia promissora na determinação de fósforo e potássio. In: REUNIÃO ANUAL DA REDE OFICIAL DE LABORATÓRIOS DE ANÁLISE DE SOLO E TECIDO VEGETAL DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA

- CATARINA, 34, 2002, Passo Fundo. **Ata...** Passo Fundo: SBCS-NRS, 2002. p. 26-37.
- SCHUMAN, L.M. Zinc, manganese and copper in soil fractions. **Soil Science**, Hagerstown, v. 127, p. 10-17, 1979.
- SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; CORDEIRO, D. S.; PALHANO, J. B.; DITTRICH, R. C. Comparação de cinco extratores de fósforo do solo, considerando-se o tempo de incorporação de três adubos fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, p. 111-115, 1979.
- SIDLE, R.C.; KARDOS, L.T. Adsorption of copper, zinc and cadmium by a forest soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 6, p. 313-317, 1977.
- SILVA, A.R.; ANDRADE, J.M.V. Correlações entre os teores de nutrientes nas folhas de arroz e rendimento em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 153-162, 1986.
- SILVA, A.R.; ANDRADE, J.M.V.; PERES, J.R. Efeito residual de micronutrientes no teor foliar e na produção de soja no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21:597-613, 1986.
- SILVA, F. C.; RAIJ, B. V. Avaliação da disponibilidade de fósforo por diversos extratores em amostras de solos cultivados com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 83-90, 1996.
- SILVA, F. C.; RAIJ, B. V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 267-288, 1999.
- SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S.; SENGIK, E. Disponibilidade de micronutrientes em solos do Paraná: zinco e cobre. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002, Rio de Janeiro, RJ. **Resumos...** Rio de Janeiro: Fertibio, 2002. 4p. CD-ROM.
- SILVA, W.M.; FABRÍCIO, A.C.; MARCHETTI, M.E.; KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; HERNANI, L.C. Eficiência de extratores de fósforo em dois Latossolos do Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2277-2285, 1999.
- SILVEIRA, R.I.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SARRUGE, J.R. Influência do pH, dos teores de fosfato solúvel, da matéria orgânica e das frações granulométricas sobre a fixação de zinco pelo solo. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1975. **Anais...** Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p. 113-117.

- SIMS, J. T. Comparison of Mehlich 1 and Mehlich 3 extractants for P, K, Ca, Mg, Mn, Cu and Zn in atlantic coastal plain soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 20, p. 1707-1726, 1989.
- SIMS, J. T.; JOHNSON, G. V. Micronutrient soil test. In: MORTVEDT (Ed). **Micronutrient in agriculture**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1991. p. 427-476.
- SIQUEIRA, O.J.W. de; PERUZZO, G.; KOCHHANN, R.A. et al. Comparação de métodos analíticos para fósforo extraível do solo e desdobramentos para avaliação da sua disponibilidade – RS/SC. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 6.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 4.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria, RS. **Resumos...** Santa Maria: Fertibio, 2000. 5p. CD-ROM.
- SKOGLEY, O.; DOBERMANN, A. Synthetic ion-exchange resins: soil and environmental studies. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 25, p. 13-24, 1996.
- SOON, Y.K.; CLAYTON, G.W.; CLARKE, P.J. Content and uptake of phosphorus and copper by spring wheat: effect of environment, genotype, and management. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 20, p. 925-937, 1997.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília : Embrapa.CPAC, 2002. 416p.
- SWIETLIK, D. Interaction between zinc-deficiency and boron toxicity on growth and mineral nutrition of sour orange seedling. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, p. 1191-1207, 1995.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre : Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).
- THORNE, W. Zinc deficiency and its control. **Advances in Agronomy**, New York, v. 9, p. 31-61, 1957.
- TRIERWEILER, J.F.; LINDSAY, W.L. EDTA-ammonium carbonate soil test for zinc. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison, v. 33, p. 49-54, 1969.
- WEAR, J.I.; SOMMER, A.L. Acid extractable zinc of soils in relation to the occurrence of zinc deficiency symptoms of corn: A method of analysis. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison, v. 12, p. 143-144, 1948.
- WEAR, J.I. Effect of soil pH and calcium on uptake of zinc by plants. **Soil Science**, Hagerstown, v. 81, p. 311-315, 1956.

WENDT, J.W. Evaluation of the Mehlich 3 soil extractant for upland Malawi soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 26 (5&6), p. 687-702, 1995.

WOLF, A. M.; BAKER, D. E. Comparisons of soil test phosphorus by Olsen, Bray 1, Mehlich 1 and Mehlich 3 methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 16, p. 467-484, 1985.

7. APÊNDICES

Apêndice 1. Classificação, material de origem e locais de coleta das amostras de solos utilizadas no experimento.

Solo ¹	Classificação Brasileira ¹	Unidade de mapeamento ²	Material de origem ²	Município de coleta ³
VEo 1	Vertissolo Ebânico órtico chernossólico	Aceguá	Siltito	Bagé
PVd 3	Argissolo Vermelho distrófico latossólico	Alto das Canas	Argilito	Butiá
SXe 2	Planossolo Háptico eutrófico vértico	Bagé	Siltito	Bagé
Cha 1	Cambissolo Húmico aluminico típico	Bom Jesus	Eruptiva básica	Bom Jesus
PVd 1	Argissolo Vermelho distrófico arênico	Bom Retiro	Arenito	Montenegro
PVAe 4	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico	Camaquã	Granito	Viamão
MTf	Chernossolo Argilúvio férrico típico	Ciríaco	Eruptiva básica	Dois Irmãos
LVd 2	Latossolo Vermelho distrófico típico	Cruz Alta	Arenito	Júlio de Castilhos
LVdf 1	Latossolo Vermelho distroférrico típico	Durox	Eruptiva básica	André da Rocha
LVaf	Latossolo Vermelho aluminoférrico típico	Erechim	Eruptiva básica	Erechim
NVdf 1	Nitossolo Vermelho distrófico latossólico	Estação	Eruptiva básica	Estrela
PVAd 1	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico	Itapoã	Sedimento arenoso	Viamão
PVAa 3	Argissolo Vermelho-Amarelo aluminico típico	Júlio de Castilhos	Eruptiva básica	Júlio de Castilhos
LVd 3	Latossolo Vermelho distrófico típico	Passo Fundo	Eruptiva básica e arenito	Passo Fundo
SGe 3	Planossolo Hidromórfico eutrófico solódico	Pelotas	Sed. aluvias de granito	Camaquã
LVdf 2	Latossolo Vermelho distroférrico típico	Santo Ângelo	Eruptiva básica	Ijuí
SXe 1	Planossolo Háptico eutrófico típico	São Gabriel	Siltito	Pantano Grande
PVd 7	Argissolo Vermelho distrófico típico	São Jerônimo	Granito	Eldorado do Sul
MEk	Chernossolo Ebânico carbonático vértico	Uruguaiana	Sedimento de basalto	Uruguaiana
LBa 1	Latossolo Bruno aluminico câmbico	Vacaria	Eruptiva básica	Vacaria

1 – Embrapa (1999); 2 – Brasil (1973); 3 – Miola (1995)

Apêndice 2. Características físicas e químicas das amostras dos solos utilizados na época da coleta

Solo	Granulometria			pH H ₂ O	Índice SMP	C Orgânico	P	Cátions trocáveis				
	Areia	Silte	Argila					K	Ca	Mg	Al	H+Al
	g kg ⁻¹					%	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³				
VEo 1	90	440	470	4,9	5,4	2,88	10,0	1,20	10,2	4,9	0,4	6,28
PVd 3	720	20	260	5,0	6,2	1,11	9,0	0,37	1,2	0,8	0,5	2,45
SXe 2	400	230	370	4,7	5,5	1,84	6,0	0,17	4,0	2,5	1,9	4,78
CHa 1	110	410	480	4,7	4,0	8,75	5,0	0,17	0,5	0,3	7,6	25,2
PVd 1	860	40	100	4,5	6,5	0,45	3,0	0,14	0,6	0,5	0,8	1,99
PVAe 4	310	150	540	4,2	5,1	1,68	3,0	0,13	1,2	2,7	2,9	6,15
MTf	180	220	600	4,7	5,2	2,74	5,0	0,18	11,0	4,7	0,4	6,02
LVd 2	680	60	260	4,3	5,4	0,93	3,0	0,12	0,6	0,4	2,4	4,35
LVdf 1	50	26	69	4,4	4,7	2,86	4,0	0,35	1,0	0,9	4,0	10,1
LVaf	50	180	770	4,6	4,9	2,46	3,0	0,37	2,7	1,3	1,8	8,78
NVdf 1	370	140	490	5,0	5,6	2,51	4,0	0,27	3,1	1,7	0,6	4,66
PVAd 1	930	30	40	4,6	6,9	0,37	3,0	0,05	0,5	0,2	0,3	0,92
PVAa 3	220	240	540	4,9	5,2	2,18	4,0	0,31	2,2	1,9	1,8	6,70
LVd 3	460	140	400	5,0	5,1	1,67	4,0	0,15	1,5	1,4	2,4	6,29
SGe 3	650	90	260	4,6	5,6	1,39	9,0	0,06	1,3	0,9	1,2	3,83
LVdf 2	100	170	730	5,1	5,7	1,42	3,0	0,25	3,5	1,2	0,5	4,48
SXe 1	470	210	320	4,8	5,8	1,30	9,0	0,09	1,8	1,2	1,2	4,05
PVd 7	530	90	380	4,6	5,8	1,37	3,0	0,34	1,0	0,7	1,5	4,05
MEk	100	610	290	5,4	5,9	2,98	11,0	0,20	10,9	4,7	0,2	4,26
LBa 1	50	330	620	5,0	4,6	3,24	5,0	0,25	2,3	1,9	2,5	10,40

Fonte: MIOLA (1995)

Apêndice 3. Caracterização físico-química dos solos utilizados no experimento.

Unidade de Mapeamento	Argila	pH H ₂ O	Índice SMP	MO	P	K	Zn	Cu	Ca	Mg	Al
	%			%	----- mg dm ⁻³ -----			--- cmol _c dm ⁻³ ---			
Santo Ângelo I	70	5,5	6,0	2,4	0,5	357	5,0	15,7	4,6	1,2	0,0
Santo Ângelo II	68	5,7	6,2	2,6	4,7	350	5,4	15,9	4,6	1,2	0,0
Santo Ângelo III	64	5,6	6,1	2,6	8,2	278	5,0	16,3	4,2	1,2	0,0
Durox I	54	5,9	6,2	4,0	2,4	370	5,7	7,6	6,2	2,2	0,0
Durox II	53	6,1	6,4	3,8	7,9	301	5,9	7,0	8,2	2,4	0,0
Durox III	50	5,8	6,1	3,7	6,0	317	5,3	7,5	6,1	2,3	0,0
Cruz Alta I	25	5,1	6,0	1,7	1,5	64	2,9	3,3	1,8	0,6	1,2
Cruz Alta II	24	5,8	6,4	1,6	2,7	150	2,8	3,1	3,0	0,9	0,0
Cruz Alta III	24	5,5	6,3	1,6	13,7	76	4,0	3,2	2,7	0,8	0,0
Cruz Alta VI	25	5,7	6,4	1,7	36,6	81	2,3	2,3	3,4	0,9	0,0
Vacaria I	60	5,6	5,6	5,0	2,0	258	7,2	11,8	8,1	2,6	0,0
Vacaria II	54	5,9	6,1	5,8	6,5	375	6,9	12,1	9,5	3,0	0,0
Vacaria III	50	5,9	6,1	4,8	11,4	545	6,7	10,7	8,7	2,7	0,0
Uruguaiana I	25	5,3	6,1	3,0	3,3	140	3,9	4,5	10,5	3,6	0,3
Uruguaiana II	24	5,5	6,2	3,1	8,4	91	5,2	4,5	9,5	3,8	0,0
Uruguaiana III	25	5,5	6,2	3,1	14,4	107	4,5	5,1	11,0	3,8	0,0
Bom Jesus I	14	6,4	6,1	8,6	2,0	293	0,7	0,3	15,1	3,5	0,0
Bom Jesus II	13	6,5	6,1	10,7	12,4	228	0,7	0,2	16,8	3,6	0,0
Bom Jesus III	22	5,7	5,3	18,1	6,5	163	2,7	0,3	11,0	3,6	0,0
Bagé I	20	5,7	6,3	3,0	2,5	277	3,7	3,1	6,5	3,1	0,0
Bagé II	20	5,6	6,1	2,3	2,4	183	2,0	1,8	6,2	3,3	0,0
Bagé III	20	5,5	6,1	2,4	44,4	136	2,6	2,1	6,1	2,8	0,0
Aceguá I	40	5,8	6,2	3,7	6,7	376	4,8	2,2	12,9	5,0	0,0
Aceguá II	41	5,9	6,2	4,1	4,4	344	4,3	1,8	13,2	5,1	0,0
Aceguá III	32	5,7	6,2	4,6	28,2	355	5,6	2,4	11,8	4,4	0,0
São Gabriel I	17	5,7	6,5	2,2	2,5	128	3,9	3,3	3,9	1,3	0,0
São Gabriel II	16	5,6	6,5	2,1	3,2	89	3,7	3,4	3,7	1,3	0,0
São Gabriel III	18	5,6	6,5	2,1	14,1	99	3,8	3,5	3,8	1,2	0,0
São Gabriel VI	16	5,3	6,2	2,0	25,9	34	4,0	4,0	3,7	0,9	0,4
São Jerônimo I	25	5,2	6,4	1,6	0,9	89	3,7	3,8	2,1	0,7	0,5
São Jerônimo II	25	5,6	6,5	2,1	15,5	125	4,2	3,3	2,9	0,9	0,0
São Jerônimo III	24	5,4	6,4	2,0	27,3	103	3,6	3,1	2,6	0,8	0,4
Camaquã I	40	5,0	5,7	2,2	2,4	157	5,2	5,1	2,1	0,8	1,8
Camaquã II	40	5,3	6,0	2,7	4,2	279	4,9	2,9	2,7	1,2	1,0
Camaquã III	39	5,1	5,9	2,4	16,6	195	4,3	3,8	2,6	0,9	1,4
Alto das Canas I	12	5,4	6,7	1,4	2,3	84	4,4	2,6	2,0	0,5	0,2
Alto das Canas II	13	5,4	6,7	1,4	4,1	43	3,2	2,3	2,2	0,5	0,3
Alto das Canas III	12	5,5	6,7	1,5	11,0	40	3,5	2,7	2,3	0,5	0,0
Alto das Canas IV	12	5,2	6,6	1,4	28,1	25	4,3	2,8	2,0	0,4	0,4
Passo Fundo I	29	5,7	6,1	2,4	2,4	257	3,8	3,4	3,9	1,1	0,0
Passo Fundo II	30	5,7	6,1	2,7	6,2	288	4,4	3,1	4,3	1,2	0,0
Passo Fundo III	28	5,6	6,0	2,6	28,1	113	4,1	4,1	4,9	1,2	0,0
Pelotas I	12	5,1	6,4	1,8	4,5	70	4,1	2,2	2,7	0,6	0,4
Pelotas II	10	5,4	6,4	1,9	6,0	76	4,1	3,2	2,7	0,7	0,4
Pelotas III	10	5,3	6,2	1,9	29,1	62	4,5	3,3	2,6	0,6	0,4
Ciríaco I	41	5,8	5,8	3,6	1,6	449	6,3	5,7	10,4	4,4	0,0
Ciríaco II	40	6,0	6,1	3,9	2,7	447	6,2	4,9	13,3	4,4	0,0
Ciríaco III	39	6,1	6,1	3,6	4,3	361	6,1	5,0	14,2	5,0	0,0
Ciríaco VI	40	5,8	6,0	3,7	12,8	316	7,8	5,2	14,3	4,9	0,0
Itapuã I	3	5,0	7,2	0,7	1,9	8	1,4	1,4	0,2	0,1	0,3
Itapuã II	3	5,1	7,1	0,5	8,9	10	2,4	5,3	0,3	0,1	0,2
Itapuã III	3	5,0	7,1	0,6	11,8	13	2,1	5,0	0,3	0,1	0,3
Itapuã VI	3	5,0	7,1	0,5	19,4	6	2,0	4,0	0,2	0,1	0,2
Júlio de Castilhos I	40	5,5	6,0	2,8	1,8	288	6,1	4,1	4,4	1,4	0,0
Júlio de Castilhos II	41	5,6	6,0	3,1	6,6	376	4,6	3,6	5,0	1,6	0,0
Júlio de Castilhos III	41	5,5	6,0	2,8	18,3	248	6,0	4,0	5,2	1,5	0,0

Continua...

Apêndice 3. Continuação....

Unidade de Mapeamento	Argila	pH H ₂ O	Índice SMP	MO	P	K	Zn	Cu	Ca	Mg	Al
	%			%	----- mg dm ⁻³ -----			--- cmol _c dm ⁻³ ---			
Erechim I	56	6,2	6,4	3,9	7,9	631	7,8	5,0	8,7	1,9	0,0
Erechim II	58	5,7	6,0	3,8	3,3	256	7,8	8,3	7,2	1,8	0,0
Erechim III	56	5,7	6,0	3,8	15,3	174	6,0	7,0	7,7	1,8	0,0
Estação I	39	5,7	6,2	2,9	1,9	294	5,5	5,0	4,7	1,3	0,0
Estação II	46	5,6	6,2	2,8	4,0	259	4,7	4,8	4,9	1,2	0,0
Estação III	43	5,7	6,1	2,9	18,8	289	6,0	5,2	5,9	1,3	0,0
Bom Retiro I	5	4,8	6,6	0,9	2,3	33	1,7	3,7	0,3	0,1	0,6
Bom Retiro II	8	5,0	6,8	0,7	3,2	13	2,4	3,3	0,5	0,1	0,4
Bom Retiro III	5	5,0	6,8	0,9	29,8	39	2,7	3,4	0,6	0,1	0,4

Apêndice 4. Solos utilizados no primeiro cultivo para avaliação da disponibilidade de cobre e zinco para as plantas

Unidade de Mapeamento	Argila	pH H ₂ O	Índice SMP	MO	P	K	Zn	Cu	Ca	Mg	Al
	%			%	-----	mg dm ⁻³	-----	---	cmol _c dm ⁻³	---	
Cruz Alta VI	25	5,7	6,4	1,7	36,6	81	2,3	2,3	3,4	0,9	0,0
Vacaria III	50	5,9	6,1	4,8	11,4	545	6,7	10,7	8,7	2,7	0,0
Uruguaiana III	25	5,5	6,2	3,1	14,4	107	4,5	5,1	11,0	3,8	0,0
Bom Jesus II	13	6,5	6,1	10,7	12,4	228	0,7	0,2	16,8	3,6	0,0
Bagé III	20	5,5	6,1	2,4	44,4	136	2,6	2,1	6,1	2,8	0,0
Aceguá III	32	5,7	6,2	4,6	28,2	355	5,6	2,4	11,8	4,4	0,0
São Jerônimo III	24	5,4	6,4	2,0	27,3	103	3,6	3,1	2,6	0,8	0,4
Passo Fundo III	28	5,6	6,0	2,6	28,1	113	4,1	4,1	4,9	1,2	0,0
Ciríaco VI	40	5,8	6,0	3,7	12,8	316	7,8	5,2	14,3	4,9	0,0
J. de Castilhos III	41	5,5	6,0	2,8	18,3	248	6,0	4,0	5,2	1,5	0,0
Erechim III	53	5,7	6,0	3,8	15,3	174	6,0	7,0	7,7	1,8	0,0
Estação III	43	5,7	6,1	2,9	18,8	289	6,0	5,2	5,9	1,3	0,0

Apêndice 5. Solos utilizados no segundo cultivo para avaliação da disponibilidade de cobre e zinco para as plantas

Unidade de Mapeamento	Argila	pH H ₂ O	MO	P	K	Zn	Cu	Ca	Mg
	%		%			----- mg dm ⁻³ -----		- cmol _c dm ⁻³ -	
Cruz Alta VI	25	5,4	1,7	32,6	31	1,4	2,0	2,8	0,9
Uruguaiana III	25	5,3	3,1	11,2	51	3,9	3,8	10,0	2,8
Bagé III	20	5,2	2,4	33,7	78	4,1	2,2	6,1	2,1
São Jerônimo III	24	5,1	2,0	23,7	44	2,8	3,0	2,6	1,0
Passo Fundo III	28	5,3	2,6	34,9	63	3,1	3,5	4,3	1,6
Ciríaco VI	40	5,9	3,7	9,5	108	6,1	4,7	13,8	3,2
J. de Castilhos III	41	5,4	2,8	15,4	130	3,9	3,3	4,8	1,1
Erechim III	53	5,6	3,8	16,6	125	5,5	5,5	7,0	1,7
Estação III	43	5,5	2,9	16,3	118	7,5	5,8	5,4	1,1

Apêndice 6. Solos utilizados no primeiro cultivo para avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas

Unidade de Mapeamento	Argila	pH H ₂ O	Índice SMP	MO	P	K	Zn	Cu	Ca	Mg	Al
	%			%	----- mg dm ⁻³ -----			--- cmol _c dm ⁻³ ---			
Santo Ângelo I	70	5,5	6,0	2,4	0,5	357	5,0	15,7	4,6	1,2	0,0
Santo Ângelo II	68	5,7	6,2	2,6	4,7	350	5,4	15,9	4,6	1,2	0,0
Santo Ângelo III	64	5,6	6,1	2,6	8,2	278	5,0	16,3	4,2	1,2	0,0
Durox I	54	5,9	6,2	4,0	2,4	370	5,7	7,6	6,2	2,2	0,0
Durox II	53	6,1	6,4	3,8	7,9	301	5,9	7,0	8,2	2,4	0,0
Durox III	50	5,8	6,1	3,7	6,0	317	5,3	7,5	6,1	2,3	0,0
Cruz Alta II	24	5,8	6,4	1,6	2,7	150	2,8	3,1	3,0	0,9	0,0
Cruz Alta III	24	5,5	6,3	1,6	13,7	76	4,0	3,2	2,7	0,8	0,0
Cruz Alta VI	25	5,7	6,4	1,7	36,6	81	2,3	2,3	3,4	0,9	0,0
Vacaria I	25	5,6	5,6	5,0	2,0	258	7,2	11,8	8,1	2,6	0,0
Vacaria II	24	5,9	6,1	5,8	6,5	375	6,9	12,1	9,5	3,0	0,0
Vacaria III	25	5,9	6,1	4,8	11,4	545	6,7	10,7	8,7	2,7	0,0
Uruguaiana I	14	5,3	6,1	3,0	3,3	140	3,9	4,5	10,5	3,6	0,3
Uruguaiana II	13	5,5	6,2	3,1	8,4	91	5,2	4,5	9,5	3,8	0,0
Uruguaiana III	22	5,5	6,2	3,1	14,4	107	4,5	5,1	11,0	3,8	0,0
Bom Jesus I	20	6,4	6,1	8,6	2,0	293	0,7	0,3	15,1	3,5	0,0
Bom Jesus II	20	6,5	6,1	10,7	12,4	228	0,7	0,2	16,8	3,6	0,0
Bom Jesus III	20	5,7	5,3	18,1	6,5	163	2,7	0,3	11,0	3,6	0,0
Bagé I	40	5,7	6,3	3,0	2,5	277	3,7	3,1	6,5	3,1	0,0
Bagé II	41	5,6	6,1	2,3	2,4	183	2,0	1,8	6,2	3,3	0,0
Bagé III	32	5,5	6,1	2,4	44,4	136	2,6	2,1	6,1	2,8	0,0
Aceguá I	17	5,8	6,2	3,7	6,7	376	4,8	2,2	12,9	5,0	0,0
Aceguá II	16	5,9	6,2	4,1	4,4	344	4,3	1,8	13,2	5,1	0,0
Aceguá III	18	5,7	6,2	4,6	28,2	355	5,6	2,4	11,8	4,4	0,0
São Gabriel I	25	5,7	6,5	2,2	2,5	128	3,9	3,3	3,9	1,3	0,0
São Gabriel II	24	5,6	6,5	2,1	3,2	89	3,7	3,4	3,7	1,3	0,0
São Gabriel III	25	5,6	6,5	2,1	14,1	99	3,8	3,5	3,8	1,2	0,0
São Jerônimo I	25	5,2	6,4	1,6	0,9	89	3,7	3,8	2,1	0,7	0,5
São Jerônimo II	25	5,6	6,5	2,1	15,5	125	4,2	3,3	2,9	0,9	0,0
São Jerônimo III	24	5,4	6,4	2,0	27,3	103	3,6	3,1	2,6	0,8	0,4
Passo Fundo I	29	5,7	6,1	2,4	2,4	257	3,8	3,4	3,9	1,1	0,0
Passo Fundo II	30	5,7	6,1	2,7	6,2	288	4,4	3,1	4,3	1,2	0,0
Passo Fundo III	28	5,6	6,0	2,6	28,1	113	4,1	4,1	4,9	1,2	0,0
Pelotas I	12	5,1	6,4	1,8	4,5	70	4,1	2,2	2,7	0,6	0,4
Pelotas II	10	5,4	6,4	1,9	6,0	76	4,1	3,2	2,7	0,7	0,4
Pelotas III	10	5,3	6,2	1,9	29,1	62	4,5	3,3	2,6	0,6	0,4
Ciríaco I	41	5,8	5,8	3,6	1,6	449	6,3	5,7	10,4	4,4	0,0
Ciríaco II	40	6,0	6,1	3,9	2,7	447	6,2	4,9	13,3	4,4	0,0
Ciríaco III	39	6,1	6,1	3,6	4,3	361	6,1	5,0	14,2	5,0	0,0
Ciríaco VI	40	5,8	6,0	3,7	12,8	316	7,8	5,2	14,3	4,9	0,0
Júlio de Castilhos I	40	5,5	6,0	2,8	1,8	288	6,1	4,1	4,4	1,4	0,0
Júlio de Castilhos II	41	5,6	6,0	3,1	6,6	376	4,6	3,6	5,0	1,6	0,0
Júlio de Castilhos III	41	5,5	6,0	2,8	18,3	248	6,0	4,0	5,2	1,5	0,0
Erechim I	56	6,2	6,4	3,9	7,9	631	7,8	5,0	8,7	1,9	0,0
Erechim II	58	5,7	6,0	3,8	3,3	256	7,8	8,3	7,2	1,8	0,0
Erechim III	56	5,7	6,0	3,8	15,3	174	6,0	7,0	7,7	1,8	0,0
Estação I	39	5,7	6,2	2,9	1,9	294	5,5	5,0	4,7	1,3	0,0
Estação II	46	5,6	6,2	2,8	4,0	259	4,7	4,8	4,9	1,2	0,0
Estação III	43	5,7	6,1	2,9	18,8	289	6,0	5,2	5,9	1,3	0,0

Apêndice 7. Solos utilizados no segundo cultivo para avaliação da disponibilidade de fósforo para as plantas.

Unidade de Mapeamento	Argila	pH H ₂ O	MO	P	K	Zn	Cu	Ca	Mg
	%		%	----- mg dm ⁻³ -----			- cmol _c dm ⁻³ -		
Santo Ângelo I	70	4,9	2,4	1,6	343	7,2	17,7	4,2	1,2
Santo Ângelo II	68	5,4	2,6	3,9	246	5,5	17,2	4,0	0,9
Santo Ângelo III	64	5,4	2,6	8,8	243	6,1	18,4	3,4	1,3
Durox I	54	5,2	4,0	3,3	290	4,7	7,6	5,1	2,5
Durox II	53	5,7	3,8	7,7	176	4,3	7,1	8,1	1,8
Durox III	50	5,2	3,7	4,9	192	4,6	7,7	6,2	1,7
Cruz Alta II	24	5,0	1,6	3,0	107	4,5	2,2	3,1	1,3
Vacaria I	25	5,0	5,0	1,9	153	5,9	12,9	6,5	2,5
Vacaria II	24	5,6	5,8	5,4	88	5,1	11,3	8,0	2,4
Vacaria III	25	5,4	4,8	5,4	179	5,4	11,4	7,0	3,0
Uruguaiiana I	14	5,0	3,0	3,7	102	4,3	4,4	10,5	2,5
Bom Jesus I	20	5,9	8,6	2,2	236	0,9	0,2	12,1	4,7
Bom Jesus II	20	6,0	10,7	8,7	81	0,9	0,2	15,3	4,3
Bagé I	40	5,0	3,0	4,0	197	2,9	2,4	5,6	3,1
Bagé II	41	5,0	2,3	6,2	146	3,8	2,4	5,8	2,8
Aceguá I	17	5,2	3,7	4,2	265	5,2	2,2	10,3	4,2
Aceguá II	16	5,2	4,1	4,8	257	6,2	2,0	12,4	3,6
Aceguá III	18	5,4	4,6	13,6	198	5,5	2,2	10,3	2,9
São Gabriel I	25	5,0	2,2	2,9	76	3,8	3,4	2,3	1,8
São Gabriel II	24	5,0	2,1	4,0	77	3,3	3,1	3,3	1,0
São Jerônimo I	25	5,0	1,6	2,3	91	3,0	3,2	2,1	0,9
Passo Fundo I	29	5,1	2,4	3,0	240	3,5	3,1	3,1	1,0
Passo Fundo II	30	5,4	2,7	5,5	149	4,1	3,5	4,1	1,0
Ciríaco I	41	5,4	3,6	2,9	330	6,4	5,1	10,1	4,4
Ciríaco II	40	5,5	3,9	4,0	227	6,3	4,5	12,0	4,1
Ciríaco III	39	5,8	3,6	5,3	191	6,8	4,8	13,4	1,9
Ciríaco VI	40	5,9	3,7	9,5	108	6,1	4,7	13,8	3,2
Júlio de Castilhos II	41	5,1	3,1	4,5	144	3,7	3,8	5,1	1,9
Júlio de Castilhos III	41	5,4	2,8	15,4	130	3,9	3,3	4,8	1,1
Erechim I	56	5,4	3,9	3,4	403	6,4	6,5	8,8	1,8
Erechim II	58	5,2	3,8	3,5	240	4,9	6,7	7,1	1,3
Erechim III	56	5,6	3,8	16,6	125	5,5	5,5	7,0	1,7
Estação I	39	5,0	2,9	2,1	221	6,1	5,2	4,5	1,0
Estação II	46	5,0	2,8	4,1	150	5,7	4,8	3,9	0,7
Estação III	43	5,5	2,9	16,3	118	7,5	5,8	5,4	1,1

Apêndice 8. Solos utilizados no primeiro cultivo para avaliação da disponibilidade de potássio para as plantas

Unidade de Mapeamento	Argila	pH H ₂ O	Índice SMP	MO	P	K	Zn	Cu	Ca	Mg	Al
	%			%	----- mg dm ⁻³ -----			--- cmol _c dm ⁻³ ---			
Santo Ângelo III	64	5,6	6,1	2,6	8,2	278	5,0	16,3	4,2	1,2	0,0
Durox II	53	6,1	6,4	3,8	7,9	301	5,9	7,0	8,2	2,4	0,0
Cruz Alta III	24	5,5	6,3	1,6	13,7	76	4,0	3,2	2,7	0,8	0,0
Cruz Alta VI	25	5,7	6,4	1,7	36,6	81	2,3	2,3	3,4	0,9	0,0
Vacaria II	54	5,9	6,1	5,8	6,5	375	6,9	12,1	9,5	3,0	0,0
Vacaria III	50	5,9	6,1	4,8	11,4	545	6,7	10,7	8,7	2,7	0,0
Uruguaiana II	24	5,5	6,2	3,1	8,4	91	5,2	4,5	9,5	3,8	0,0
Uruguaiana III	25	5,5	6,2	3,1	14,4	107	4,5	5,1	11,0	3,8	0,0
Bom Jesus II	23	6,5	6,1	10,7	12,4	228	0,7	0,2	16,8	3,6	0,0
Bagé III	20	5,5	6,1	2,4	44,4	136	2,6	2,1	6,1	2,8	0,0
Aceguá III	32	5,7	6,2	4,6	28,2	355	5,6	2,4	11,8	4,4	0,0
São Gabriel III	18	5,6	6,5	2,1	14,1	99	3,8	3,5	3,8	1,2	0,0
São Gabriel VI	16	5,3	6,2	2,0	25,9	34	4,0	4,0	3,7	0,9	0,4
São Jerônimo II	25	5,6	6,5	2,1	15,5	125	4,2	3,3	2,9	0,9	0,0
São Jerônimo III	24	5,4	6,4	2,0	27,3	103	3,6	3,1	2,6	0,8	0,4
Passo Fundo III	28	5,6	6,0	2,6	28,1	113	4,1	4,1	4,9	1,2	0,0
Pelotas III	10	5,3	6,2	1,9	29,1	62	4,5	3,3	2,6	0,6	0,4
Ciríaco VI	40	5,8	6,0	3,7	12,8	316	7,8	5,2	14,3	4,9	0,0
Júlio de Castilhos III	51	5,5	6,0	2,8	18,3	248	6,0	4,0	5,2	1,5	0,0
Erechim III	56	5,7	6,0	3,8	15,3	174	6,0	7,0	7,7	1,8	0,0
Estação III	43	5,7	6,1	2,9	18,8	289	6,0	5,2	5,9	1,3	0,0

Apêndice 9. Solos utilizados no segundo cultivo para avaliação da disponibilidade de potássio para as plantas.

Unidade de Mapeamento	Argila	pH H ₂ O	MO	P	K	Zn	Cu	Ca	Mg
	%		%	----- mg dm ⁻³ -----			- cmol _c dm ⁻³ -		
Santo Ângelo III	64	5,4	2,6	8,8	243	6,1	18,4	3,4	1,3
Durox II	53	5,7	3,8	7,7	176	4,3	7,1	8,1	1,8
Cruz Alta III	24	5,0	1,6	15,0	36	2,8	2,8	2,1	0,7
Cruz Alta VI	25	5,4	1,7	32,6	31	1,4	2,0	2,8	0,9
Uruguaiana III	25	5,3	3,1	11,2	51	3,9	3,8	10,0	2,8
Bagé III	20	5,2	2,4	33,7	78	4,1	2,2	6,1	2,1
Aceguá III	32	5,4	4,6	13,6	198	5,5	2,2	10,3	2,9
São Gabriel VI	16	5,3	2,0	26,0	32	3,7	3,0	3,4	1,2
São Jerônimo III	24	5,1	2,0	23,7	44	2,8	3,0	2,6	1,0
Passo Fundo III	28	5,3	2,6	34,9	63	3,1	3,5	4,3	1,6
Ciríaco VI	40	5,9	3,7	9,5	108	6,1	4,7	13,8	3,2
Júlio de Castilhos III	51	5,4	2,8	15,4	130	3,9	3,3	4,8	1,1
Erechim III	56	5,6	3,8	16,6	125	5,5	5,5	7,0	1,7
Estação III	43	5,5	2,9	16,3	118	7,5	5,8	5,4	1,1

Apêndice 10. Produção de matéria seca do milho e da soja nos solos utilizados

Unidade de Mapeamento	Produção de Matéria Seca (g vaso ⁻¹)	
	Milho	Soja
Santo Ângelo I	1,50	2,57
Santo Ângelo II	3,66	8,55
Santo Ângelo III	3,84	9,00
Durox I	2,87	3,63
Durox II	12,24	15,45
Durox III	6,63	14,05
Cruz Alta I	1,22	3,48
Cruz Alta II	1,44	4,83
Cruz Alta III	3,63	8,96
Cruz Alta VI	15,52	10,44
Vacaria I	2,49	8,91
Vacaria II	17,41	17,71
Vacaria III	19,11	16,52
Uruguaiana I	5,16	6,67
Uruguaiana II	4,55	11,55
Uruguaiana III	12,55	14,77
Bom Jesus I	1,58	2,55
Bom Jesus II	6,68	9,91
Bom Jesus III	3,02	10,09
Bagé I	1,71	4,36
Bagé II	5,91	10,57
Bagé III	19,40	9,56
Aceguá I	7,59	12,63
Aceguá II	7,71	12,17
Aceguá III	16,15	14,81
São Gabriel I	1,88	5,47
São Gabriel II	2,69	8,45
São Gabriel III	9,79	13,02
São Gabriel VI	13,77	9,40
São Jerônimo I	2,21	4,32
São Jerônimo II	11,24	12,09
São Jerônimo III	15,75	11,12
Camaquã I	2,00	4,53
Camaquã II	4,65	5,20
Camaquã III	9,32	11,02
Alto das Canas I	2,43	5,36
Alto das Canas II	2,12	6,31
Alto das Canas III	8,23	9,52
Alto das Canas IV	8,21	8,88
Passo Fundo I	2,57	6,57
Passo Fundo II	5,86	12,83
Passo Fundo III	12,11	13,27
Pelotas I	3,97	6,51
Pelotas II	4,74	6,97
Pelotas III	15,83	11,40
Ciríaco I	2,29	5,09
Ciríaco II	8,15	8,29
Ciríaco III	17,56	12,35
Ciríaco VI	21,11	15,02
Itapuã I	1,62	3,77
Itapuã II	1,94	4,14
Itapuã III	2,50	3,77
Itapuã VI	2,61	3,74
Júlio de Castilhos I	2,41	4,97
Júlio de Castilhos II	7,63	12,17
Júlio de Castilhos III	17,76	16,91

Continua....

Apêndice 10. Continuação...

Unidade de Mapeamento	Produção de Matéria Seca (g vaso⁻¹)	
	Milho	Soja
Erechim I	13,49	11,50
Erechim II	5,36	9,95
Erechim III	15,59	13,17
Estação I	2,16	6,68
Estação II	7,65	10,66
Estação III	14,27	14,36
Bom Retiro I	1,51	2,88
Bom Retiro II	0,95	4,29
Bom Retiro III	8,19	4,97

Apêndice 11. Quantidade de cobre extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de cobre na parte aérea e produção de matéria seca do milho (média de 2 repetições)

Unidade de Mapeamento	Cobre no Solo			Cobre na planta		Matéria Seca
	HCl	Mehlich 1	Mehlich 3	Tecido	Absorvido	
	----- mg dm ⁻³ -----			%	mg vaso ⁻¹	g vaso ⁻¹
Cruz Alta VI	2,3	5,0	3,6	3,3	0,52	15,52
Vacaria III	10,7	13,4	11,8	6,3	1,22	19,11
Uruguaiana III	5,1	9,5	7,9	3,3	0,42	12,55
Bom Jesus II	0,2	0,4	2,6	8,5	0,57	6,68
Bagé III	2,1	3,4	1,5	3,0	0,57	19,40
Aceguá III	2,4	2,3	4,0	3,0	0,48	16,15
São Jerônimo III	3,1	6,5	3,6	4,8	0,76	15,75
Passo Fundo III	4,1	6,9	4,4	3,7	0,45	12,11
Ciríaco VI	5,2	5,3	7,1	3,7	0,78	21,11
Júlio de Castilhos III	4	7,2	3,8	3,7	0,66	17,76
Erechim III	7	9,5	8,5	6,7	1,03	15,59
Estação III	5,2	8,0	6,0	3,7	0,53	14,27

Apêndice 12. Quantidade de cobre extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de cobre na parte aérea e produção de matéria seca da soja (média de 2 repetições).

Unidade de Mapeamento	Cobre no Solo			Cobre na planta		Matéria Seca
	HCl	Mehlich 1	Mehlich 3	Tecido	Absorvido	
	----- mg dm ⁻³ -----			mg kg ⁻¹	mg vaso ⁻¹	g vaso ⁻¹
Cruz Alta VI	2,0	4,5	2,7	5,2	0,46	10,44
Uruguaiana III	3,8	9,5	5,6	6,3	0,77	14,77
Bagé III	2,2	3,0	1,8	5,9	0,52	9,56
São Jerônimo III	3,0	7,3	3,2	5,6	0,54	11,12
Passo Fundo III	3,5	8,3	3,8	5,9	0,63	13,27
Ciríaco VI	4,7	5,8	6,9	7,1	0,90	15,02
Júlio de Castilhos III	3,3	5,3	3,5	4,8	0,57	16,91
Erechim III	5,5	10,3	7,9	7,8	1,00	13,17
Estação III	5,8	7,3	5,7	5,9	0,69	14,36

Apêndice 13. Quantidade de zinco extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de zinco na parte aérea e produção de matéria seca do milho (média de 2 repetições).

Unidade de Mapeamento	Zinco no Solo			Zinco na planta		Matéria Seca
	HCl	Mehlich 1	Mehlich 3	Tecido	Absorvido	
	----- mg dm ⁻³ -----			mg kg ⁻¹	mg vaso ⁻¹	g vaso ⁻¹
Cruz Alta VI	2,3	2,6	2,5	11,3	1,75	15,52
Vacaria III	6,7	8,2	4,5	31,7	6,00	19,11
Uruguaiana III	4,5	4,7	3,9	18,5	2,31	12,55
Bom Jesus II	0,7	0,1	2,0	14,4	0,96	6,68
Bagé III	2,6	3,6	3,8	23,5	4,62	19,40
Aceguá III	5,6	5,4	5,1	16,7	2,71	16,15
São Jerônimo III	3,6	4,1	3,2	24,5	3,85	15,75
Passo Fundo III	4,1	3,8	3,5	12,7	1,54	12,11
Ciríaco VI	7,8	6,3	4,6	18,3	3,86	21,11
Júlio de Castilhos III	6	5,9	4,7	16,8	3,01	17,76
Erechim III	6	6,6	4,5	12,2	1,89	15,59
Estação III	6	6,8	6,0	16,9	2,41	14,27

Apêndice 14. Quantidade de zinco extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de zinco na parte aérea e produção de matéria seca da soja (média de 2 repetições).

Unidade de Mapeamento	Zinco no Solo			Zinco na planta		Matéria Seca
	HCl	Mehlich 1	Mehlich 3	Tecido	Absorvido	
	----- mg dm ⁻³ -----			mg kg ⁻¹	mg vaso ⁻¹	g vaso ⁻¹
Cruz Alta VI	1,4	0,7	2,2	41,1	4,29	10,44
Uruguaiana III	3,9	3,6	3,3	42,9	6,33	14,77
Bagé III	4,1	4,9	3,8	54,3	5,19	9,56
São Jerônimo III	2,8	3,1	3,1	63,4	7,04	11,12
Passo Fundo III	3,1	2,9	3,4	44,1	5,85	13,27
Ciríaco VI	6,1	5,8	4,3	50,8	7,62	15,02
Júlio de Castilhos III	3,9	3,7	3,4	47,2	7,99	16,91
Erechim III	5,5	5,1	3,7	46,9	6,16	13,17
Estação III	7,5	6,9	5,7	52,6	7,54	14,36

Apêndice 15. Quantidade de fósforo extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de fósforo na parte aérea e produção de matéria seca do Milho (média de 2 repetições).

Unidade de Mapeamento	Fósforo no Solo			Fósforo na planta		Matéria Seca
	Mehlich 1	Mehlich 3	Resina	Tecido	Absorvido	
	----- mg dm ⁻³ -----			%	mg vaso ⁻¹	g vaso ⁻¹
Santo Ângelo I	0,5	0,1	2,4	0,07	1,1	1,50
Santo Ângelo II	4,7	2,7	12,8	0,16	5,9	3,66
Santo Ângelo III	8,2	6,9	23,1	0,14	5,4	3,84
Durox I	2,4	1,0	0,6	0,12	3,3	2,87
Durox II	7,9	7,7	6,7	0,15	18,8	12,24
Durox III	6	5,0	19,3	0,13	8,6	6,63
Cruz Alta II	2,7	5,7	0,9	0,11	1,6	1,44
Cruz Alta III	13,7	25,3	12,8	0,21	7,5	3,63
Cruz Alta VI	36,6	68,9	58,5	0,18	28,2	15,52
Vacaria I	2	1,1	0,6	0,13	3,2	2,49
Vacaria II	6,5	4,7	21,3	0,13	23,3	17,41
Vacaria III	11,4	9,0	25,3	0,13	25,8	19,11
Uruguaiana I	3,3	4,1	3,1	0,11	5,8	5,16
Uruguaiana II	8,4	13,9	8,2	0,16	7,3	4,55
Uruguaiana III	14,4	25,1	15,2	0,14	17,9	12,55
Bom Jesus I	2	1,0	1,6	0,09	1,4	1,58
Bom Jesus II	12,4	16,6	22,6	0,26	17,2	6,68
Bom Jesus III	6,5	4,6	5,9	0,14	4,3	3,02
Bagé I	2,5	3,2	0,3	0,09	1,6	1,71
Bagé II	2,4	12,7	11,2	0,18	10,5	5,91
Bagé III	44,4	87,0	61,9	0,18	35,6	19,40
Aceguá I	6,7	5,2	5,1	0,13	10,0	7,59
Aceguá II	4,4	5,0	6,4	0,14	10,9	7,71
Aceguá III	28,2	47,4	43,3	0,15	24,3	16,15
São Gabriel I	2,5	2,1	2,0	0,11	2,1	1,88
São Gabriel II	3,2	4,0	3,4	0,14	3,7	2,69
São Gabriel III	14,1	27,4	22,8	0,16	15,5	9,79
São Jerônimo I	0,9	1,6	1,3	0,14	3,1	2,21
São Jerônimo II	15,5	16,6	11,6	0,18	19,7	11,24
São Jerônimo III	27,3	52,7	38,7	0,17	27,0	15,75
Passo Fundo I	2,4	1,4	1,4	0,13	3,4	2,57
Passo Fundo II	6,2	6,5	5,0	0,19	11,0	5,86
Passo Fundo III	28,1	49,3	47,2	0,18	21,8	12,11
Pelotas I	4,5	6,0	0,7	0,12	4,8	3,97
Pelotas II	6	11,5	2,3	0,11	5,3	4,74
Pelotas III	29,1	67,3	28,1	0,16	25,9	15,83
Ciríaco I	1,6	0,3	0,9	0,09	2,2	2,29
Ciríaco II	2,7	1,2	9,2	0,17	14,0	8,15
Ciríaco III	4,3	2,1	6,3	0,16	27,3	17,56
Ciríaco VI	12,8	9,9	14,0	0,17	34,9	21,11
Júlio de Castilhos I	1,8	1,1	0,3	0,12	2,8	2,41
Júlio de Castilhos II	6,6	8,7	15,9	0,13	10,1	7,63
Júlio de Castilhos III	18,3	29,6	44,5	0,15	27,0	17,76
Erechim I	7,9	5,8	2,2	0,14	18,7	13,49
Erechim II	3,3	1,3	5,1	0,16	8,6	5,36
Erechim III	15,3	17,1	46,4	0,17	26,7	15,59
Estação I	1,9	0,8	4,4	0,11	2,4	2,16
Estação II	4	4,0	3,9	0,19	14,2	7,65
Estação III	18,8	23,7	33,8	0,15	21,4	14,27

Apêndice 16. Quantidade de fósforo extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de fósforo na parte aérea e produção de matéria seca da soja (média de 2 repetições).

Unidade de Mapeamento	Fósforo no Solo			Fósforo na planta		Matéria Seca
	Mehlich 1	Mehlich 3	Resina	Tecido	Absorvido	
	----- mg dm ⁻³ -----			%	mg vaso ⁻¹	g vaso ⁻¹
Santo Ângelo I	1,6	1,2	1,0	0,08	2,1	2,57
Santo Ângelo II	3,9	3,1	9,0	0,16	13,9	8,55
Santo Ângelo III	8,8	16,7	16,0	0,18	16,5	9,00
Durox I	3,3	2,6	3,0	0,09	3,2	3,63
Durox II	7,7	14,6	7,0	0,19	29,2	15,45
Durox III	4,9	9,3	9,9	0,16	21,8	14,05
Cruz Alta II	3,0	4,7	3,3	0,11	5,1	4,83
Vacaria I	1,9	3,6	1,5	0,10	8,6	8,91
Vacaria II	5,4	10,2	7,3	0,21	36,9	17,71
Vacaria III	5,4	10,3	12,2	0,20	33,8	16,52
Uruguaiana I	3,7	7,0	6,9	0,15	9,7	6,67
Bom Jesus I	2,2	4,1	6,3	0,14	3,5	2,55
Bom Jesus II	8,7	15,1	13,1	0,20	20,0	9,91
Bagé I	4,0	7,0	4,8	0,07	3,0	4,36
Bagé II	6,2	10,3	11,8	0,13	14,2	10,57
Aceguá I	4,2	6,9	8,8	0,14	17,9	12,63
Aceguá II	4,8	8,3	9,7	0,15	18,7	12,17
Aceguá III	13,6	25,8	23,1	0,24	35,2	14,81
São Gabriel I	2,9	5,6	4,1	0,12	6,4	5,47
São Gabriel II	4,0	7,3	5,4	0,17	14,2	8,45
São Jerônimo I	2,3	4,4	2,8	0,11	4,8	4,32
Passo Fundo I	3,0	5,6	3,1	0,12	7,8	6,57
Passo Fundo II	5,5	9,4	7,6	0,16	20,3	12,83
Ciríaco I	2,9	4,4	2,9	0,11	5,8	5,09
Ciríaco II	4,0	7,6	13,7	0,20	16,6	8,29
Ciríaco III	5,3	9,5	6,7	0,22	26,6	12,35
Ciríaco VI	9,5	16,4	11,4	0,26	39,0	15,02
Júlio de Castilhos II	4,5	7,8	12,1	0,14	16,9	12,17
Júlio de Castilhos III	15,4	29,9	28,1	0,21	35,1	16,91
Erechim I	3,4	7,4	10,7	0,16	17,8	11,50
Erechim II	3,5	6,7	7,6	0,18	18,1	9,95
Erechim III	16,6	33,4	27,6	0,26	33,6	13,17
Estação I	2,1	4,9	2,7	0,08	5,5	6,68
Estação II	4,1	6,9	9,9	0,18	18,8	10,66
Estação III	16,3	29,4	24,7	0,23	32,4	14,36

Apêndice 17. Quantidade de potássio extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de potássio na parte aérea e produção de matéria seca do milho (média de 2 repetições).

Unidade de Mapeamento	Potássio no Solo				Potássio na planta		Matéria Seca
	NH ₄ Ac	Mehlich 1	Mehlich 3	Resina	Tecido	Absorvido	
	----- mg dm ⁻³ -----				%	mg vaso ⁻¹	g vaso ⁻¹
Santo Ângelo III	357	278	387	158	3,4	131	3,84
Durox II	422	301	386	166	3,0	395	12,24
Cruz Alta III	95	76	92	42	2,3	78	3,63
Cruz Alta VI	105	81	99	49	1,2	165	15,52
Vacaria II	452	375	444	206	2,6	407	17,41
Vacaria III	430	545	444	310	3,3	626	19,11
Uruguaiana II	138	91	135	50	1,2	54	4,55
Uruguaiana III	138	107	145	62	0,6	71	12,55
Bom Jesus II	234	228	248	124	3,7	259	6,68
Bagé III	128	136	124	77	1,3	263	19,40
Aceguá III	442	355	419	224	2,8	464	16,15
São Gabriel III	146	99	129	54	2,4	287	9,79
São Gabriel VI	52	34	45	12	0,5	66	13,77
São Jerônimo II	165	125	186	69	2,2	234	11,24
São Jerônimo III	144	103	140	69	1,3	189	15,75
Passo Fundo III	148	113	137	42	2,4	272	12,11
Pelotas III	109	62	97	23	0,7	115	15,83
Ciríaco VI	504	316	503	174	2,5	533	21,11
Júlio de Castilhos III	345	248	235	123	3,0	547	17,76
Erechim III	197	174	240	95	2,7	386	15,59
Estação III	348	289	325	144	1,9	370	14,27

Apêndice 18. Quantidade de potássio extraído por diferentes métodos (média de três repetições), concentração e absorção de potássio na parte aérea e produção de matéria seca da soja (média de 2 repetições).

Unidade de Mapeamento	Potássio no Solo				Potássio na planta		Matéria Seca
	NH ₄ Ac	Mehlich 1	Mehlich 3	Resina	Tecido	Absorvido	
	----- mg dm ⁻³ -----				%	mg vaso ⁻¹	g vaso ⁻¹
Santo Ângelo III	314	243	283	139	137	2,04	185,3
Durox II	241	176	204	103	99	2,57	396,5
Cruz Alta III	42	36	41	8	9	1,49	133,3
Cruz Alta VI	34	31	32	5	6	0,88	91,5
Uruguaiana III	31	51	29	20	6,0	0,86	125,2
Bagé III	76	78	71	33	100	1,09	103,9
Aceguá III	251	198	233	99	70	2,15	318,5
São Gabriel VI	44	32	41	19	5	0,61	56,9
São Jerônimo III	70	44	65	34	12	0,98	109,5
Passo Fundo III	96	63	96	24	22	1,42	188,9
Ciríaco VI	167	108	165	79	8	1,75	263,3
Júlio de Castilhos III	199	130	185	22	89	2,03	342,5
Erechim III	164	125	151	59	56	1,70	223,0
Estação III	163	118	176	54	64	2,25	322,4

Apêndice 19. Quantidade de potássio extraído por diferentes métodos (média de três repetições) nos solos do primeiro e segundo cultivos.

Unidade de Mapeamento	Potássio no solo			
	NH ₄ Ac	Mehlich 1	Mehlich 3	Resina
	----- mg dm ⁻³ -----			
	<i>Solos do primeiro cultivo</i>			
Santo Ângelo I	515	357	430	187
Santo Ângelo II	509	350	490	194
Santo Ângelo III	357	278	387	158
Durox I	432	370	456	213
Durox II	422	301	386	166
Durox III	401	317	373	179
Cruz Alta I	85	64	81	36
Cruz Alta II	261	150	251	82
Cruz Alta III	95	76	92	42
Cruz Alta VI	105	81	99	49
Vacaria I	345	258	335	142
Vacaria II	452	375	444	206
Vacaria III	430	545	444	310
Uruguaiana I	205	140	215	79
Uruguaiana II	138	91	135	50
Uruguaiana III	138	107	145	62
Bom Jesus I	442	293	426	162
Bom Jesus II	234	228	248	124
Bom Jesus III	225	163	222	72
Bagé I	345	277	342	155
Bagé II	138	183	148	92
Bagé III	128	136	124	77
Aceguá I	425	376	391	204
Aceguá II	449	344	464	190
Aceguá III	442	355	419	224
São Gabriel I	185	128	167	97
São Gabriel II	116	89	109	44
São Gabriel III	146	99	129	54
São Gabriel VI	52	34	45	12
São Jerônimo I	150	89	128	49
São Jerônimo II	165	125	186	69
São Jerônimo III	144	103	140	69
Camaquã I	214	157	208	88
Camaquã II	312	279	284	155
Camaquã III	274	195	245	115
Alto das Canas I	122	84	114	34
Alto das Canas II	66	43	64	14
Alto das Canas III	63	40	61	22
Alto das Canas IV	45	25	43	8
Passo Fundo I	348	257	337	144
Passo Fundo II	385	288	380	164
Passo Fundo III	148	113	137	42
Pelotas I	102	70	100	15
Pelotas II	97	76	94	42
Pelotas III	109	62	97	23
Ciríaco I	642	449	629	247
Ciríaco II	602	447	588	246
Ciríaco III	409	361	329	199
Ciríaco VI	504	316	503	174
Itapuã I	8	8	8	4
Itapuã II	12	10	11	6
Itapuã III	18	13	16	7
Itapuã VI	13	6	11	3

Continua...

Apêndice 19. Continuação....

Unidade de Mapeamento	Potássio no solo			
	NH ₄ Ac	Mehlich 1	Mehlich 3	Resina
	----- mg dm ⁻³ -----			
	<i>Solos do primeiro cultivo</i>			
Júlio de Castilhos I	445	288	435	158
Júlio de Castilhos II	485	376	466	207
Júlio de Castilhos III	345	248	235	123
Erechim I	788	631	670	347
Erechim II	385	256	366	141
Erechim III	197	174	240	95
Estação I	450	294	378	134
Estação II	316	259	324	135
Estação III	348	289	325	144
Bom Retiro I	52	33	53	12
Bom Retiro II	24	13	17	5
Bom Retiro III	49	39	47	10
	<i>Solos do segundo cultivo</i>			
Santo Ângelo I	464	343	426	193
Santo Ângelo II	317	246	310	136
Santo Ângelo III	314	243	283	139
Durox I	384	290	337	177
Durox II	241	176	204	103
Durox III	211	192	201	110
Cruz Alta I	56	48	62	29
Cruz Alta II	135	107	130	61
Cruz Alta III	42	36	41	8
Cruz Alta VI	34	31	32	5
Vacaria I	189	153	180	73
Vacaria II	114	88	110	49
Vacaria III	79	179	134	98
Uruguaiana I	114	102	110	55
Uruguaiana II	41	52	38	26
Uruguaiana III	31	51	29	20
Bom Jesus I	314	236	303	124
Bom Jesus II	108	81	100	31
Bom Jesus III	81	59	75	43
Bagé I	299	197	266	88
Bagé II	169	146	157	60
Bagé III	76	78	71	33
Aceguá I	343	265	337	156
Aceguá II	323	257	300	134
Aceguá III	251	198	233	99
São Gabriel I	83	76	77	46
São Gabriel II	115	77	109	49
São Gabriel III	65	40	68	12
São Gabriel VI	44	32	41	19
São Jerônimo I	134	91	144	59
São Jerônimo II	56	48	52	46
São Jerônimo III	70	44	65	34
Camaquã I	191	132	189	46
Camaquã II	260	204	266	132
Camaquã III	119	101	111	63
Alto das Canas I	50	59	46	42
Alto das Canas II	24	25	24	16
Alto das Canas III	32	32	35	22
Alto das Canas IV	59	35	55	29
Passo Fundo I	308	240	300	134
Passo Fundo II	209	149	201	92
Passo Fundo III	96	63	96	24

Continua...

Apêndice 19. Continuação...

Unidade de Mapeamento	Potássio no solo			
	NH ₄ Ac	Mehlich 1	Mehlich 3	Resina
	----- mg dm ⁻³ -----			
	<i>Solos do segundo cultivo</i>			
Pelotas I	64	35	62	29
Pelotas II	54	33	63	21
Pelotas III	54	24	53	16
Ciríaco I	463	330	449	163
Ciríaco II	321	227	316	94
Ciríaco III	237	191	229	135
Ciríaco VI	167	108	165	79
Itapuã I	7	7	7	12
Itapuã II	9	6	8	34
Itapuã III	11	7	10	45
Itapuã VI	7	6	7	22
Júlio de Castilhos I	320	249	313	144
Júlio de Castilhos II	177	144	165	36
Júlio de Castilhos III	199	130	185	22
Erechim I	543	403	525	182
Erechim II	338	240	326	144
Erechim III	164	125	151	59
Estação I	309	221	299	151
Estação II	216	150	241	93
Estação III	163	118	176	54
Bom Retiro I	17	15	16	18
Bom Retiro II	12	29	28	29
Bom Retiro III	19	16	19	9

Apêndice 20. Quantidade de cálcio extraído por diferentes métodos (média de três repetições) nos solos do primeiro e segundo cultivos.

Unidade de Mapeamento	Cálcio no solo				
	NH ₄ Ac	KCl	Resina	Mehlich 1	Mehlich 3
	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
	<i>Solos do primeiro cultivo</i>				
Santo Ângelo I	4,1	4,6	1,8	5,6	4,1
Santo Ângelo II	4	4,6	2,1	5,1	4,2
Santo Ângelo III	3,8	4,2	2,1	6,4	4,4
Durox I	5,8	6,2	2,2	7,5	4,9
Durox II	6,4	8,2	3,0	10,0	7,1
Durox III	6,3	6,1	2,0	6,9	5,3
Cruz Alta I	1,6	1,8	0,5	2,0	1,3
Cruz Alta II	3,1	3	0,9	3,4	2,5
Cruz Alta III	2,5	2,7	1,6	3,1	2,5
Cruz Alta VI	3	3,4	1,3	3,6	3,2
Vacaria I	7,1	8,1	3,8	9,4	6,9
Vacaria II	8,5	9,5	3,5	11,2	8,4
Vacaria III	8,7	8,7	2,8	9,9	7,8
Uruguaiana I	11	10,5	2,2	10,2	9,0
Uruguaiana II	9,9	9,5	3,5	8,2	9,5
Uruguaiana III	10,9	11	2,1	9,5	9,8
Bom Jesus I	15	15,1	4,4	16,2	16,6
Bom Jesus II	16,3	16,8	6,2	15,4	18,2
Bom Jesus III	9,8	11	3,4	14,7	9,1
Bagé I	6,3	6,5	2,5	6,3	5,8
Bagé II	6	6,2	1,7	6,7	6,1
Bagé III	6,4	6,1	1,8	6,4	6,2
Aceguá I	10,9	12,9	3,8	12,4	13,8
Aceguá II	12,8	13,2	3,3	13,5	11,5
Aceguá III	12	11,8	4,8	13,6	10,9
São Gabriel I	3,3	3,9	1,1	4,2	3,7
São Gabriel II	3,4	3,7	0,9	4,1	3,5
São Gabriel III	3,2	3,8	0,9	4,0	3,5
São Gabriel VI	3,5	3,7	1,1	3,8	3,4
São Jerônimo I	1,8	2,1	0,6	2,4	1,9
São Jerônimo II	2,6	2,9	0,8	3,1	2,4
São Jerônimo III	2,6	2,6	0,9	3,2	2,4
Camaquã I	1,9	2,1	0,4	2,3	1,8
Camaquã II	2,7	2,7	0,5	2,8	2,5
Camaquã III	2,6	2,6	0,4	2,6	2,3
Alto das Canas I	2,3	2	0,5	2,2	1,8
Alto das Canas II	2,2	2,2	0,6	2,6	2,0
Alto das Canas III	2,6	2,3	0,6	2,4	2,0
Alto das Canas IV	2,3	2	0,4	2,3	1,7
Passo Fundo I	4	3,9	0,7	4,6	3,8
Passo Fundo II	4,3	4,3	0,7	4,0	3,9
Passo Fundo III	4,6	4,9	0,9	4,4	4,1
Pelotas I	2,7	2,7	0,6	3,1	2,6
Pelotas II	2,3	2,7	0,6	3,2	2,6
Pelotas III	2,2	2,6	0,5	2,5	2,4
Ciríaco I	11,3	10,4	3,6	11,8	11,1
Ciríaco II	14,1	13,3	2,3	13,9	12,6
Ciríaco III	14	14,2	2,5	14,0	12,5
Ciríaco VI	13,5	14,3	2,1	13,1	12,0
Itapuã I	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
Itapuã II	0,2	0,3	0,1	0,4	0,2
Itapuã III	0,2	0,3	0,1	0,4	0,2
Itapuã VI	0,2	0,2	0,1	0,4	0,2

Continua...

Apêndice 20. Continua...

Unidade de Mapeamento	Cálcio no solo				
	NH ₄ Ac	KCl	Resina	Mehlich 1	Mehlich 3
	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
<i>Solos do primeiro cultivo</i>					
Júlio de Castilhos I	4,3	4,4	0,9	4,3	4,0
Júlio de Castilhos II	5	5	0,9	4,7	4,1
Júlio de Castilhos III	5,3	5,2	1,0	5,3	5,3
Erechim I	8,8	8,7	2,3	7,3	8,4
Erechim II	7,3	7,2	1,5	6,1	6,5
Erechim III	7	7,7	1,9	8,2	6,9
Estação I	4,9	4,7	0,6	4,7	4,2
Estação II	4	4,9	1,2	4,9	4,4
Estação III	5,3	5,9	1,3	5,2	4,8
Bom Retiro I	0,4	0,3	0,5	0,4	0,2
Bom Retiro II	0,2	0,5	0,1	0,5	0,4
Bom Retiro III	0,6	0,6	0,1	0,6	0,5
<i>Solos do segundo cultivo</i>					
Santo Ângelo I	3,7	4,2	1,3	4,1	4,0
Santo Ângelo II	3,6	4,0	2,0	4,0	5,0
Santo Ângelo III	2,4	3,4	1,8	3,8	5,2
Durox I	4,6	5,1	2,1	4,8	6,1
Durox II	6,0	8,1	3,0	7,3	7,4
Durox III	5,9	6,2	2,0	5,8	6,3
Cruz Alta I	1,2	1,6	0,7	1,6	1,5
Cruz Alta II	2,7	3,1	1,5	2,9	1,6
Cruz Alta III	2,1	2,1	1,2	2,4	2,4
Cruz Alta VI	2,6	2,8	1,4	3,1	3,1
Vacaria I	6,7	6,5	3,1	6,1	7,4
Vacaria II	8,1	8,0	2,4	7,2	9,8
Vacaria III	8,3	7,0	2,8	8,2	9,7
Uruguaiana I	10,6	10,5	2,9	11,4	11,4
Uruguaiana II	9,5	8,0	2,8	10,1	11,1
Uruguaiana III	10,5	10,0	2,8	11,3	10,4
Bom Jesus I	12,4	12,1	4,0	13,4	15,4
Bom Jesus II	13,1	15,3	5,1	15,4	13,8
Bom Jesus III	10,0	10,3	3,0	11,5	9,4
Bagé I	5,9	5,6	2,3	4,4	5,6
Bagé II	5,6	5,8	1,9	6,3	5,7
Bagé III	6,0	6,1	2,2	5,6	6,5
Aceguá I	10,5	10,3	4,2	12,3	12,7
Aceguá II	12,4	12,4	4,2	11,1	13,0
Aceguá III	11,6	10,3	3,9	9,3	13,4
São Gabriel I	2,9	2,3	1,0	3,9	4,1
São Gabriel II	3,0	3,3	1,8	3,2	1,9
São Gabriel III	2,8	3,6	1,8	3,6	3,8
São Gabriel VI	3,1	3,4	1,3	4,1	3,6
São Jerônimo I	1,8	2,1	1,1	2,5	2,4
São Jerônimo II	2,2	2,3	1,2	2,5	2,5
São Jerônimo III	2,2	2,6	1,2	2,8	2,6
Camaquã I	1,8	2,1	0,9	2,4	2,3
Camaquã II	2,3	2,6	0,3	2,8	2,7
Camaquã III	2,2	2,6	0,4	2,8	2,8
Alto das Canas I	1,9	2,0	0,5	1,9	1,6
Alto das Canas II	1,8	2,2	0,7	2,2	1,1
Alto das Canas III	2,2	2,3	1,3	2,4	2,0

Continua...

Apêndice 20. Continua...

Unidade de Mapeamento	Cálcio no solo				
	NH ₄ Ac	KCl	Resina	Mehlich 1	Mehlich 3
	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
	<i>Solos do segundo cultivo</i>				
Alto das Canas IV	1,9	2,0	0,9	2,0	1,6
Passo Fundo I	3,3	3,1	1,4	5,1	4,4
Passo Fundo II	3,9	4,1	0,5	5,4	4,6
Passo Fundo III	4,2	4,3	0,9	5,5	5,0
Pelotas I	2,3	2,1	1,6	3,2	2,6
Pelotas II	1,9	2,1	1,1	3,2	2,6
Pelotas III	1,8	2,0	0,3	3,2	2,8
Ciríaco I	10,9	10,1	2,8	11,2	12,9
Ciríaco II	10,4	12,0	3,1	13,2	12,1
Ciríaco III	12,1	13,4	2,1	13,1	14,4
Ciríaco VI	12,4	13,8	2,1	13,2	14,7
Itapuã I	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Itapuã II	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Itapuã III	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2
Itapuã VI	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3
Júlio de Castilhos I	3,9	3,9	1,0	4,5	4,9
Júlio de Castilhos II	4,6	5,1	1,8	5,6	5,3
Júlio de Castilhos III	4,9	4,8	2,0	5,5	5,5
Erechim I	8,4	8,8	2,2	7,2	7,0
Erechim II	6,4	7,1	2,2	6,1	6,9
Erechim III	6,6	7,0	3,0	8,0	7,7
Estação I	4,5	4,5	2,1	4,2	4,7
Estação II	3,6	3,9	1,6	3,8	4,2
Estação III	4,1	5,4	2,0	4,8	4,7
Bom Retiro I	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2
Bom Retiro II	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5
Bom Retiro III	0,2	0,1	0,1	0,6	0,6

Apêndice 21. Quantidade de magnésio extraído por diferentes métodos (média de três repetições) nos solos do primeiro e segundo cultivos

Unidade de Mapeamento	Magnésio no solo				
	NH ₄ Ac	KCl	Resina	Mehlich 1	Mehlich 3
	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
	<i>Solos do primeiro cultivo</i>				
Santo Ângelo I	1,4	1,2	0,8	1,4	1,1
Santo Ângelo II	1,8	1,2	0,9	1,2	1,1
Santo Ângelo III	1,7	1,2	0,9	1,6	1,2
Durox I	1,7	2,2	1,4	2,7	1,8
Durox II	1,9	2,4	1,6	3,0	2,2
Durox III	2,0	2,3	1,3	2,6	2,1
Cruz Alta I	0,6	0,6	0,3	0,6	0,5
Cruz Alta II	0,7	0,9	0,5	0,9	0,9
Cruz Alta III	0,6	0,8	0,8	0,9	0,8
Cruz Alta VI	0,8	0,9	0,6	0,9	0,9
Vacaria I	3,3	2,6	2,0	3,0	2,4
Vacaria II	3,9	3	1,8	3,3	2,7
Vacaria III	3,3	2,7	1,4	2,8	2,4
Uruguaiana I	3,1	3,6	1,3	3,5	3,2
Uruguaiana II	3,6	3,8	2,1	2,8	3,7
Uruguaiana III	3,0	3,8	1,3	3,2	3,4
Bom Jesus I	3,3	3,5	2,0	5,3	2,3
Bom Jesus II	2,8	3,6	2,5	5,1	2,5
Bom Jesus III	2,1	3,6	2,7	4,7	3,4
Bagé I	3,3	3,1	2,2	3,1	2,9
Bagé II	2,9	3,3	1,4	3,5	3,3
Bagé III	3,0	2,8	1,3	2,8	2,6
Aceguá I	4,4	5	2,4	4,7	3,7
Aceguá II	4,9	5,1	2,1	5,2	3,9
Aceguá III	4,3	4,4	2,9	5,1	3,3
São Gabriel I	1,3	1,3	0,6	1,3	1,2
São Gabriel II	1,1	1,3	0,5	1,3	1,2
São Gabriel III	1,0	1,2	0,5	1,2	1,1
São Gabriel VI	1,0	0,9	0,5	0,9	0,9
São Jerônimo I	0,9	0,7	0,3	0,7	0,6
São Jerônimo II	1,1	0,9	0,5	1,0	0,9
São Jerônimo III	0,7	0,8	0,6	0,9	0,7
Camaquã I	1,0	0,8	0,2	0,8	0,7
Camaquã II	1,4	1,2	0,4	1,1	1,1
Camaquã III	0,2	0,9	0,3	1,0	0,9
Alto das Canas I	0,4	0,5	0,2	0,5	0,5
Alto das Canas II	0,6	0,5	0,2	0,6	0,5
Alto das Canas III	0,5	0,5	0,2	0,5	0,5
Alto das Canas IV	0,3	0,4	0,2	0,5	0,4
Passo Fundo I	0,8	1,1	0,4	1,2	1,1
Passo Fundo II	0,8	1,2	0,4	1,2	1,1
Passo Fundo III	1,1	1,2	0,4	1,2	1,1
Pelotas I	0,4	0,6	0,3	0,8	0,6
Pelotas II	0,9	0,7	0,2	0,8	0,7
Pelotas III	0,7	0,6	0,2	0,7	0,6
Ciríaco I	3,9	4,4	1,1	4,3	2,7
Ciríaco II	3,8	4,4	1,6	5,1	3,0
Ciríaco III	5,2	5	1,6	4,9	3,2
Ciríaco VI	3,5	4,9	1,3	4,7	3,6
Itapuã I	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Itapuã II	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
Itapuã III	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
Itapuã VI	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Continua...

Apêndice 21. Continuação...

Unidade de Mapeamento	Magnésio no solo				
	NH ₄ Ac	KCl	Resina	Mehlich 1	Mehlich 3
	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
<i>Solos do primeiro cultivo</i>					
Júlio de Castilhos I	1,2	1,4	0,5	1,4	1,3
Júlio de Castilhos II	1,7	1,6	0,5	1,5	1,4
Júlio de Castilhos III	1,1	1,5	0,5	1,6	1,4
Erechim I	1,9	1,9	0,9	1,6	2,1
Erechim II	1,5	1,8	0,7	1,6	1,3
Erechim III	1,7	1,8	0,8	1,9	1,5
Estação I	1,9	1,3	0,3	1,5	1,1
Estação II	1,1	1,2	0,5	1,3	1,0
Estação III	1,0	1,3	0,6	1,3	1,1
Bom Retiro I	0,2	0,1	0,3	0,3	0,1
Bom Retiro II	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2
Bom Retiro III	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
<i>Solos do segundo cultivo</i>					
Santo Ângelo I	0,9	1,2	0,7	1,1	1,0
Santo Ângelo II	1,1	0,9	0,9	1,1	0,8
Santo Ângelo III	1,1	1,3	0,8	1,0	0,8
Durox I	2,9	2,5	1,2	1,9	2,4
Durox II	1,9	1,8	1,0	2,0	1,5
Durox III	2,2	1,7	0,9	1,8	1,7
Cruz Alta I	0,9	0,6	0,2	0,5	0,4
Cruz Alta II	1,6	1,3	0,6	0,9	1,2
Cruz Alta III	0,6	0,7	0,3	0,7	0,7
Cruz Alta VI	0,8	0,9	0,4	0,8	0,7
Vacaria I	3,1	2,5	1,9	2,2	2,4
Vacaria II	2,5	2,4	1,3	2,3	1,9
Vacaria III	3,6	3,0	1,9	2,4	2,7
Uruguaiana I	2,4	2,5	1,1	2,6	1,8
Uruguaiana II	2,9	3,1	1,2	2,9	2,4
Uruguaiana III	3,3	2,8	1,1	3,0	2,6
Bom Jesus I	4,1	4,7	2,3	5,1	3,6
Bom Jesus II	3,9	4,3	2,1	4,3	3,2
Bom Jesus III	2,1	2,6	1,4	3,2	1,6
Bagé I	3,0	3,1	1,1	2,5	2,3
Bagé II	2,9	2,8	0,9	2,9	2,2
Bagé III	2,2	2,1	1,0	2,4	1,7
Aceguá I	4,0	4,2	1,6	4,3	3,8
Aceguá II	4,1	3,6	1,6	4,0	3,8
Aceguá III	3,3	2,9	1,5	3,5	2,2
São Gabriel I	1,1	1,8	0,6	1,2	0,7
São Gabriel II	1,3	1,0	0,7	1,1	1,0
São Gabriel III	1,4	0,8	0,5	1,1	1,1
São Gabriel VI	1,5	1,2	0,5	0,9	0,8
São Jerônimo I	0,9	0,9	0,4	0,7	0,7
São Jerônimo II	0,6	0,4	0,4	0,7	0,7
São Jerônimo III	1,3	1,0	0,4	0,7	0,6
Camaquã I	1,5	0,9	0,3	0,8	0,9
Camaquã II	1,0	1,1	0,3	1,0	1,0
Camaquã III	0,6	0,5	0,2	0,8	0,9
Alto das Canas I	0,4	0,2	0,1	0,5	0,4
Alto das Canas II	1,3	0,9	0,1	0,5	1,0
Alto das Canas III	0,5	0,5	0,1	0,5	0,4
Alto das Canas IV	0,7	0,6	0,1	0,5	0,4
Passo Fundo I	1,3	1,0	0,4	1,4	1,2
Passo Fundo II	0,8	1,0	0,3	1,3	0,6
Passo Fundo III	1,3	1,6	0,3	1,3	1,4

Continua...

Apêndice 21. Continuação...

Unidade de Mapeamento	Magnésio no solo				
	NH ₄ Ac	KCl	Resina	Mehlich 1	Mehlich 3
	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
	<i>Solos do segundo cultivo</i>				
Pelotas I	0,4	0,4	0,2	0,7	0,6
Pelotas II	0,4	0,9	0,2	0,8	0,7
Pelotas III	1,0	0,7	0,2	0,6	0,6
Ciríaco I	4,0	4,4	1,9	4,3	3,3
Ciríaco II	3,6	4,1	1,8	4,3	2,6
Ciríaco III	2,0	1,9	1,3	1,8	1,1
Ciríaco VI	3,9	3,2	1,6	3,9	3,0
Itapuã I	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Itapuã II	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
Itapuã III	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2
Itapuã VI	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2
Júlio de Castilhos I	1,2	1,1	0,6	1,4	0,9
Júlio de Castilhos II	2,3	1,9	0,6	1,6	1,7
Júlio de Castilhos III	1,3	1,1	0,6	1,5	1,2
Erechim I	2,0	1,8	0,6	1,3	1,4
Erechim II	1,1	1,3	0,7	1,5	0,7
Erechim III	1,4	1,7	0,9	1,3	0,9
Estação I	1,3	1,0	0,7	1,1	1,2
Estação II	0,7	0,7	0,4	1,0	0,9
Estação III	1,2	1,1	0,6	1,0	1,0
Bom Retiro I	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Bom Retiro II	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
Bom Retiro III	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2