

VALMOR RAFFAELI

**SISTEMA DE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DE SOLO E DE
RECOMENDAÇÃO DE NUTRIENTES PARA ARROZ IRRIGADO**

**Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Solos e Nutrição de
Plantas, para obtenção do título de
“Magister Scientiae”.**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2000**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

R136s
2000

Raffaelli, Valmor 1970-

Sistema de interpretação de análise de solo e de
recomendação de nutrientes para arroz irrigado. / Valmor
Raffaelli. – Viçosa: UFV, 2000.
x, 76f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Victor Hugo Alvarez Venegas.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 64-72.

1. Adubos e fertilizantes - Aplicação - Modelos
matemáticos. 2. Solos - Análise - Modelos matemáticos.
3. Fertilidade do solo - Modelos matemáticos. 4. Arroz -
Adubos e fertilizantes. I. Universidade Federal de Viçosa.
II . Título.

CDD 20.ed. 631.81

VALMOR RAFFAELI

**SISTEMA DE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DE SOLO E DE
RECOMENDAÇÃO DE NUTRIENTES PARA ARROZ IRRIGADO**

**Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Solos e Nutrição de
Plantas, para obtenção do título de
“Magister Scientiae”.**

APROVADA: 11 de dezembro de 2000.

Prof. Jaime Wilson Vargas de Mello

Dr. Francisco Morel Freire

Prof. Roberto Ferreira de Novais
(Conselheiro)

Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti
(Conselheiro)

Prof. Victor Hugo Alvarez V.
(Orientador)

AGRADECIMENTO

À UFV pela oportunidade de realizar o curso, à CAPES e CNPq, pela concessão de bolsa de estudo.

À minha esposa Janete, companheira inseparável no dia-a-dia, pelo apoio nos momentos difíceis.

À minha família, por suportar a minha ausência e pelo apoio.

Aos professores Victor Hugo Alvarez V., Roberto Ferreira de Novais e Reinaldo Bertola Cantarutti, pela amizade, pelos ensinamentos, pelas críticas e sugestões durante a elaboração deste trabalho.

Aos professores da UFV, que de uma ou de outra forma me auxiliaram durante o desenvolvimento do curso.

Aos Colegas de pesquisa Fábio Torres, Fábio Henrique, Fernando, Helder, Thomé, Prezotti e Márcio, pela contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos Jilmar e Elda, Carlos e Rubiane, Airton, Luciano, Edson, Clodoaldo, Rosane, Elaine, Hérica, Eduardo, Guilherme, Luiz Henrique e Ronessa, pelo convívio e amizade.

Aos Funcionários do Departamento de Solos, em especial à Tânia, Sônia, Junia e Dorinha, pela cordialidade e atenção no decorrer do curso.

BIOGRAFIA

VALMOR RAFFAELI, filho de Faustino José Raffaelli e Irene Zanete Raffaelli, nasceu em 17 de outubro de 1970, no município de Tenente Portela, Estado do Rio Grande do Sul.

Cursou o primário e o ginásio na Escola Municipal José Garibaldi e Escola Estadual Érico Veríssimo, em Vista Gaúcha – RS.

Cursou o segundo Grau na Escola Estadual Professora Cléia Saete Dalberto, em Tenente Portela – RS.

Em setembro de 1992, iniciou o Curso de Agronomia na Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria – RS, concluindo-o em outubro de 1998.

Em outubro de 1998, iniciou o Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa - MG.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Nitrogênio	5
2.2. Fósforo	7
2.3. Potássio	8
2.4. Enxofre	9
2.5. Cálcio e Magnésio	10
2.6. Zinco	11
2.7. Boro	12
2.8. Silício	13
2.9. Restos culturais na cultura do arroz irrigado.....	14
3. ESTRUTURA DO SISTEMA.....	16
3.1. Procedimentos comuns para fósforo, enxofre e zinco.....	19
3.1.1. Informações relacionadas à planta	19
3.1.2. Informações relacionadas ao solo.....	20

3.2	Procedimentos comuns para potássio, cálcio, magnésio, boro, nitrogênio e silício	22
3.2.1.	Informações relacionadas à planta	22
3.2.2.	Informações relacionadas ao solo.....	23
3.2.3.	Informações relacionadas ao solo para o N	23
4.	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	25
4.1.	Determinação do coeficiente de utilização biológica de nutrientes.....	25
4.2.	Taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado.....	27
4.3.	Recuperação pelo extrator do nutriente aplicado ao solo.....	28
4.4.	Recomendação de fósforo – Mehlich-1. Exemplo de cálculos.....	29
4.5.	Recomendação de fósforo – Resina. Exemplo de cálculos....	35
4.6.	Enxofre	37
4.7.	Zinco	39
4.8.	Informações necessárias ao SIR-AI para recomendação de potássio, cálcio, magnésio, boro, silício e nitrogênio	40
4.8.1.	Determinação do coeficiente de utilização biológica de nutrientes	40
4.8.2.	Taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado.....	41
4.8.3.	Taxa de recuperação pelo extrator do nutriente aplicado	41
4.8.4	Recomendação de potássio–Mehlich-1. Exemplo de cálculos	43
4.8.5.	Boro	47
4.8.6.	Cálcio e Magnésio	48
4.8.7.	Silício	50
4.8.8.	Capacidade do solo em fornecer nitrogênio.....	51
4.8.9.	Recomendação de Nitrogênio. Exemplo de cálculos .	52

4.9. Equações para estimar os níveis críticos de produção e a recomendação de nutrientes.....	56
4.10. Comparação entre as recomendações de nutrientes pelo SIR-AI, ROLAS, 5 ^a Aproximação e Boletim 100.....	59
5. RESUMO E CONCLUSÕES	62
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
7. APÊNDICE	73

RESUMO

RAFFAELI, Valmor, M.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2000. **Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de nutrientes para arroz irrigado** Orientador: Victor Hugo Alvarez V. Conselheiros: Roberto Ferreira de Novais e Reinaldo Bertola Cantarutti.

A informática pode ser vista como uma ferramenta, que permite armazenar informações de forma organizada, a fim de possibilitar o avanço na interpretação de alguns fenômenos do solo e da planta. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema capaz de interpretar análise de solo e recomendar nutrientes (SIR) para a cultura do arroz irrigado (AI) por inundação. O SIR-AI desenvolvido estima a demanda do nutriente pela cultura, como variável dependente da produção de grãos, e características do solo como a capacidade tampão. A quantidade de nutriente disponibilizada pelo solo é quantificada pela divisão de seu teor pela taxa de recuperação pelo extrator do nutriente adicionado. A demanda da cultura menos o nutriente disponibilizado no solo gera a recomendação de nutrientes. Para o N, utiliza-se a matéria orgânica, como variável, para estimar o N mineralizado num determinado período de tempo e o N disponível no solo, que deverá ser somado à quantidade de N

reciclado dos restos de culturas utilizadas em rotação no inverno. Equações foram geradas para simplificar todo o SIR-AI, incluindo variáveis como a produção de grãos, o teor do nutriente disponível no solo e a medida da capacidade tampão dos solos. As equações estimam a recomendação de nutrientes com exatidão suficiente para serem utilizadas, satisfatoriamente, como uma maneira prática de interpretar análise de solo e recomendar nutrientes para a cultura do arroz irrigado por inundação, em substituição às tabelas atuais de recomendação.

ABSTRACT

RAFFAELI, Valmor, M.S., Universidade Federal de Viçosa, December 2000.
System for soil analysis interpretation and nutrient recommendation to irrigated rice. Adviser: Victor Hugo Alvarez V. Committee members: Roberto Ferreira de Novais and Reinaldo Bertola Cantarutti.

The computer science may be seen as a tool that allows to store information on such an organized way to making possible the improvement of the interpretation of some soil and plant phenomena. The objective of this study was to develop a system capable to interpret soil analysis, as well as to recommend nutrients (SIR) to flood-irrigation rice crop (AI). The developed SIR-AI estimates the crop nutrient demand as a dependent variable of grain yield as well as the soil characteristics such as buffer capacity. The amount of nutrients available in soil is quantified, by dividing its nutrient content by the recovery rate as a function of the nutrient-added extractor. The crop demand minus the nutrient available in soil generates the nutrient recommendation. For N, the organic matter is used as variable to estimate the N mineralized over a certain time period, as well as the N available in soil which must be summed to the amount of N recycled from remainders of the rotation-used crops during winter. The equations were generated to simplify the whole SIR-AI, by including some variables such as grain yield, the nutrient content available in soil and the

measurement of soil buffer capacity. The equations estimate the recommended amount of nutrients with an accuracy enough to be adequately used, so constituting a practical way to interpret soil analysis and to recommend nutrients to flood-irrigated rice crop in substitution to the current recommendation tables.

1. INTRODUÇÃO

Recomendações de corretivos e fertilizantes sugeridas no País resultam de trabalhos de correlação e de calibrações regionais. Nos trabalhos de correlação, utilizam-se solos mais comuns na região, sendo realizados ensaios com doses crescentes de nutrientes visando obter a produtividade de máxima eficiência econômica.

Nos trabalhos de correlação, a escolha de métodos de análise de solo tem, na maioria das vezes, bases empíricas. Como as tabelas de recomendação de fertilizantes são escassas, as generalizações dessas recomendações podem apresentar grande possibilidade de equívocos.

No caso de corretivos para o cultivo do arroz irrigado, tem-se recomendado o calcário com a finalidade de elevar os teores de Ca e de Mg e fazer a correção da acidez do solo, no período que antecede à inundação. Todavia, a maioria dos trabalhos não tem encontrado resposta à calagem, para esta cultura, pois, à medida que se inunda o solo, o que ocorre em torno de 30 dias após a implantação da lavoura, o pH tende a estabilizar-se num valor próximo a 7, no período de duas a três semanas. Para os solos ácidos, o pH aumenta, e, no caso dos solos alcalinos, o pH diminui. A justificativa de calagem para esta cultura é que, nos 45 a 50 dias iniciais do ciclo, as plantas devem atingir o crescimento máximo, fato

este que depende da calagem para ocorrer.

Neste trabalho, propõe-se substituir as tabelas, que recomendam doses de nutrientes de acordo com as faixas de disponibilidade no solo, por equações matemáticas desenvolvidas a partir de informação disponível na literatura. Embora, inicialmente, muitas informações sejam ainda estimadas, essas equações servirão para indicar o caminho de futuras pesquisas, que possibilitarão chegar a recomendações de doses mais exatas em futuras versões.

Tais equações terão como característica fundamental a utilização de resultados de análises de solo e de planta. Conhecendo-se os teores de nutrientes na planta, é possível determinar a demanda pela cultura e a quantidade de nutrientes que deverá ser disponibilizada pelo solo, a fim de obter a produtividade desejada. A dose de nutriente, a ser aplicada para obter a produtividade desejada, é obtida pela diferença entre a quantidade de nutrientes que deverá ser disponibilizada pelo solo e o teor disponível, obtido por meio de análise de solo. Deve-se enfatizar que a produtividade esperada seja alcançada, desde que os demais fatores que a controlam mantenham-se próximo do ótimo.

Para a condução deste trabalho, os nutrientes foram divididos em dois grupos, segundo suas características. No primeiro grupo encontram-se P, S e Zn, por serem suas recomendações afetadas pela capacidade tampão do solo; no segundo grupo reuniram-se K, Ca, Mg, B, e N, além do Si, cuja disponibilidade não depende da capacidade tampão do solo.

Para os nutrientes cujo acúmulo na planta e o teor disponível no solo sofrem influência da capacidade tampão do solo, utilizar-se-á o fósforo remanescente (Prem) para estimar as quantidades que deverão ser disponibilizadas pelo solo, para que a planta atinja o crescimento desejado.

A disponibilidade dos nutrientes catiônicos no solo é pouco influenciada pela capacidade tampão do solo, em razão da baixa afinidade entre eles e o solo.

A disponibilidade de N no solo é influenciada pela matéria orgânica do solo e pelas condições do ambiente de cultivo, que irão influenciar a atividade microbiana do solo, razão pela qual, não se tem um método específico para estimar a disponibilidade de N.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de interpretação de análise de solo e de planta, de modo a obter recomendações de nutrientes para a cultura do arroz irrigado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O acúmulo de nutrientes em diferentes órgãos da planta, durante o seu ciclo de cultivo, vai determinar a quantidade de nutrientes que deve ser disponibilizada pelo solo. Por outro lado, o balanço entre a demanda da planta e a quantidade de nutrientes disponibilizada pelo solo determina a recomendação de nutriente como fertilizante.

O acúmulo de nutrientes, nas diferentes partes da planta, pode variar com as características genéticas da cultura e os fatores ambientais.

Estudando a absorção de nutrientes por cultivares de arroz brasileiros, GARGANTINI & BLANCO (1965) concluíram que o crescimento máximo da planta ocorreu entre 100 e 110 dias após a emergência, em um ciclo de 150 dias. O N e K apresentaram o maior acúmulo na planta, seguidos por Ca, Mg e P. As plantas acumularam N e K até os 110 dias após a emergência, enquanto para P, Ca e Mg o acúmulo mostrou-se constante do início ao final do ciclo.

O acúmulo de matéria seca e a absorção de nutrientes pelo arroz irrigado BR-IRGA 409, num Planossolo no estado do RS, mostrou, na fase inicial de crescimento, teores de nutrientes mais altos, com exceção do P e do Mg (LOPES et al., 1993). Com o crescimento intenso da parte aérea até a floração, o teor da maioria dos nutrientes na palha diminui

gradativamente. A partir da floração, os teores de K, Ca, Mg, Zn, Fe e Mn, na palha, translocados em pequenas quantidades para os grãos, voltam a aumentar. Isto ocorre porque parte dos carboidratos das folhas e colmos são retranslocados para os grãos, diminuindo a proporção de matéria seca da palha. Diminui ainda mais a concentração dos nutrientes na palha, como de N, P, S e Cu, translocados em grandes quantidades para os grãos. Esses autores ainda destacaram que as quantidades de nutrientes acumulados na parte aérea (palha + grãos) seguem a seguinte ordem: $K > N > P > Mg > Ca > S > Mn > Fe > Zn > Cu$. Por sua vez, as quantidades exportadas pelos grãos, em casca, seguem a ordem: $N > P > K > Mg > S > Ca > Fe > Mn > Zn > Cu$.

Há, portanto, diferenças entre as variedades de arroz quanto à quantidade de nutrientes acumulada nos diferentes órgãos da planta. Algumas variedades apresentam maior habilidade para acumular matéria seca por unidade de nutrientes absorvidos, enquanto outras apresentam menor eficiência na utilização de nutrientes.

O coeficiente de utilização biológica (CUB) e a produtividade esperada permitem estimar a demanda de nutrientes pela cultura. Este coeficiente indica a quantidade de matéria na forma do produto comercial ou da parte vegetativa que a planta produz por unidade de nutriente acumulado neste material. O CUB é igual ao inverso da concentração do nutriente no tecido analisado, e expressa-se em $kg\ kg^{-1}$ (NOVAIS & SMYTH, 1999).

2.1. Nitrogênio

A taxa de recuperação de N por variedades utilizadas no sistema de cultivo irrigado é muito baixa, alcançando valores entre 40 e 60% nos trópicos, mesmo em sistemas de produção mais avançados (Bartholomew, 1971, citado por FAGERIA & BARBOSA FILHO 1982).

Na China, a recuperação, pelas plantas de arroz, do N aplicado ficou entre 25 e 29%, enquanto 17 a 25% ficou no solo, e as perdas atingiram 50 e 54% de N aplicado (ZHU, 1987).

Na Austrália, BACON & HEENAN (1987), trabalhando num solo com 0,09 dag kg⁻¹ de N total, 1 dag kg⁻¹ de C orgânico e pH 4,2 estimaram que 68 a 82% do N absorvido pela planta de arroz pode ser suprido pelo solo, sendo o restante dependente da aplicação de fertilizantes. Nesse estudo, os pesquisadores concluíram que 35% do N aplicado foi absorvido pela planta, dos quais 20% foi exportado pelos grãos, 12% acumulado na palha e 3% na raiz e 41% foi perdido do sistema. Uma análise do solo mostrou que 24% do N aplicado encontrava-se na camada de 0 a 30 cm, 2% na camada de 30 a 55 cm e 1% na camada de 55 a 80 cm. Experimentos conduzidos separadamente mostraram que de 41% de N perdido, 1% foi volatilizado como amônia e 38% restante foi perdido por desnitrificação, considerado o mecanismo mais expressivo de perda de N aplicado ao solo.

Em condições de campo, é conhecido que raramente a recuperação pela planta do N adicionado ao solo, como fertilizante, é maior que 50 % (OLSON, 1980; MORGHAN et al., 1984a, e, 1984b). O balanço do N no sistema solo-planta baseia-se em várias entradas e saídas. De acordo com URQUIAGA (1982) e REICHARDT et al. (1982), o balanço do N no sistema solo-planta consiste da contabilização das entradas e saídas do nutriente, na camada do solo explorada pelo sistema radicular, num determinado intervalo de tempo.

A quantidade de matéria seca, produzida por unidade do nutriente acumulado na planta, é o coeficiente de utilização biológica (CUB). FAGERIA & BARBOSA FILHO (1982), na busca por cultivares eficientes na utilização de N, estudaram 60 variedades de arroz irrigado, das quais 27 apresentaram CUB de grãos entre 25 e 67 kg kg⁻¹.

2.2. Fósforo

O nível crítico de P na planta pode apresentar variações de acordo com o ambiente. BATES (1971) observou que ele varia com o tecido e sua idade, com a variedade e com a interação entre nutrientes e condições ambientais.

FAGERIA (1990) obteve níveis críticos de P no solo pelo Mehlich-1, em relação à produção relativa do arroz, variando com o cultivar e com o estágio de crescimento.

A dependência de níveis críticos de P em plantas de arroz à capacidade tampão de fosfatos, em solos inundados, foi verificada por MELLO et al. (1993) e essa dependência aumentou com a calagem do solo.

MACHADO et al. (1981), estudando os efeitos de P e calcário em cinco safras de arroz, concluíram que a calagem não alterou a disponibilidade de P do solo, pelo Mehlich-1, e nem a resposta da cultura à adubação fosfatada. Nesse trabalho, a adubação fosfatada aumentou linearmente o teor de P disponível do solo, mas não alterou a produção de grãos do arroz irrigado, mesmo com o solo nativo apresentando teores abaixo do nível crítico (6 mg dm^{-3})^{1/}, atualmente admitido pela ROLAS/SUL (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC, 1994). Também o Mehlich-1 não mostrou-se adequado para indicar a disponibilidade de P do solo Pelotas (Albaqualf, Planossolo), para a cultura do arroz irrigado.

Conforme MUNIZ et al. (1985), a influência da capacidade tampão de fosfato do solo sobre as concentrações críticas de P na planta adquire importância fundamental nas interpretações de resultados de análise foliar e de solo.

^{1/} Para solos inundados a ROLAS/SUL considera que de acordo com o Mehlich-1, os teores são: baixo $\leq 3,0 \text{ mg L}^{-1}$; médio 3,1 a $6,0 \text{ mg L}^{-1}$; suficiente $> 6,0 \text{ mg L}^{-1}$.

Os níveis críticos de P disponível variam de acordo com o extrator utilizado, com a cultura e com as características de solo que determinam a sua capacidade tampão. Geralmente, os solos argilosos apresentam nível crítico bem menor que os arenosos (FREIRE, 1979; ALVAREZ V., 1996).

O conhecimento da capacidade tampão de P do solo, além do teor obtido usando extratores do disponível, permite a modelagem de recomendação de adubação fosfatada (NOVAIS & SMITH, 1999).

A taxa de recuperação de P pela planta varia com a capacidade tampão de fosfatos do solo. MUNIZ et al. (1985) verificaram que a taxa de recuperação de P, por plantas de soja, correlacionou-se inversamente com a capacidade tampão de fosfato. Essa taxa decresceu de 11,4%, no solo com menor capacidade tampão, para 2,1% no solo com maior capacidade tampão.

2.3. Potássio

O potássio (K) é acumulado em grande quantidade pelas plantas de arroz, embora sua exportação com a colheita seja proporcionalmente pequena. A capacidade de absorver e acumular K na parte aérea varia de acordo com o tipo de planta. De acordo com BAO (1985), as variedades de porte alto têm $0,83 \text{ dag kg}^{-1}$ de K na palha, as variedades do grupo “moderno” têm aproximadamente $1,66 \text{ dag kg}^{-1}$ e o arroz híbrido cerca de $2,32 \text{ dag kg}^{-1}$. Nos grãos, o teor médio de $0,41 \text{ dag kg}^{-1}$ de K é semelhante para os três grupos. SIMONETE (1998), em trabalho com doses crescentes de K, encontrou teores em torno de 1 dag kg^{-1} de K na matéria seca da parte aérea do arroz irrigado EMBRAPA - 6 Chui. Por outro lado, LOPES (1991), utilizando doses crescentes de K, em diferentes modos de incorporação e épocas de aplicação do fertilizante para o arroz irrigado BR IRGA 409, encontrou teores médios de $2,38 \text{ dag kg}^{-1}$ de K na palha e $0,19$ no grão com casca. A exportação de K pelos grãos com casca foi de apenas 9% dos

174 kg ha⁻¹ de K acumulado durante todo o ciclo da cultura.

Além do efeito varietal, as características do solo também influenciam o teor de K nos tecidos das plantas de arroz irrigado, conforme observado em 34 solos do Rio Grande do Sul (VAHL, 1982). Foram observados teores de K variando entre 1,46 e 4,13 dag kg⁻¹ de matéria seca nas plantas da cultivar Bluebelle com 51 dias de idade, quando a adubação potássica foi aplicada, e teores de K variando de 0,43 a 3,98 dag kg⁻¹ quando o elemento faltante foi o K. Esta grande variação, possivelmente, possa ser explicada pela amplitude do K disponível (Mehlich-1) de 16 a > 200 mg dm⁻³ de K no solo, com média de 59 mg dm⁻³.

NACHTIGALL & VAHL (1991), estudando a capacidade de suprimento de K de solos do Rio Grande do Sul, observaram que todos os solos cultivados apresentavam teores de K trocável, não-trocável e acumulado pelas plantas inferiores aos dos solos nativos. Isto indica que os cultivos não devem estar recebendo reposição de K suficiente para manter a fertilidade natural dos solos.

2.4. Enxofre

A busca por melhores extratores e a recomendação de S em solos têm sido objeto de muitas pesquisas (FREIRE, 1996). Na definição do melhor extrator, FONTES et al. (1982), utilizando amostras superficiais de 12 Latossolos de Minas Gerais em casa de vegetação, avaliaram o S disponível pelos extratores Ca(H₂PO₄)₂ em H₂O, Ca(H₂PO₄)₂ em HOAc e pelo reagente de Morgan. Esses pesquisadores verificaram, para a cultura do sorgo, que os extratores constituídos de fosfato tiveram melhor eficiência, e que o fosfato em ácido acético foi o mais indicado para os solos testados.

Apenas a determinação do S disponível do solo não permite obter informações sobre a capacidade tampão de S, que mostrou influenciar os

valores dos níveis críticos no solo (FONTES et al., 1982). Desse modo, para avaliar o status de S no solo, deve-se considerar, de maneira semelhante ao P, informações sobre o fator quantidade e a capacidade tampão de S.

Visando entender essa relação, ALVAREZ V. et al. (1983), trabalhando com amostras de 14 solos de cerrado com ampla variação textural, obtiveram, para o crescimento de mudas de eucalipto, níveis críticos variando de 1,8 a 14,9 mg dm⁻³ de S, usando o extrator Ca(H₂PO₄)₂ em HOAc. Verificaram que tanto os níveis críticos como as declividades do S, recuperado pelo extrator de acordo com as doses aplicadas correlacionaram-se com as características: equivalente de umidade, teor de argila, matéria orgânica, S-remanescente e P-remanescente (características relacionadas à capacidade tampão de S).

NACIMENTO & MORELI (1980), estudando a disponibilidade de S em 16 solos do Rio Grande do Sul, pelo extrator CH₃COOH 2 mol L⁻¹ e 500 mg L⁻¹ de P em forma de Ca(H₂PO₄)₂.2H₂O, encontraram S disponível variando de 2,1 a 10,3 mg dm⁻³, além de resposta significativa à aplicação de S em solos com teores menores ou igual a 5,6 mg dm⁻³.

Referindo-se à taxa de recuperação de S pelos extratores, FONTES et al. (1982) relataram que o S recuperado por Ca(H₂PO₄)₂ em HOAc como variável do aplicado está na faixa de 47% em solo com 11% de argila, e de 25% em solos com 55% de argila.

2.5. Cálcio e Magnésio

A determinação de níveis críticos de Ca e Mg no solo envolve uma série de informações, que deve ser levada em consideração: a cultura, o extrator utilizado, o método de extração e as características do solo (MARTINS, 1988).

De acordo com RAIJ (1981), valores de Mg disponível no solo entre 0,4 e 0,8 cmol_c dm⁻³ são considerados adequados, enquanto valores

menores que $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são considerados baixos, e valores acima de $0,8$ podem ser considerados elevados.

Outra informação que tem recebido certa atenção da pesquisa refere-se à relação Ca/Mg, ideal para o crescimento de plantas. Para o centeio, SOARES & LIMA (1983) observaram que a absorção de Ca está estreitamente relacionada à relação Ca/Mg do solo, pois, quanto maior esta relação, maior é o teor de Ca encontrado na planta enquanto para o Mg absorvido a relação é inversa.

MARTINS (1988), utilizando 20 solos com ampla variação textural, encontrou que a recuperação do Mg trocável em função do aplicado variou desde 29% até 80%. Já os estudos de SILVA (1986), em 10 solos com textura variando de 5 a 73% de argila, apresentaram recuperação média de 65% do Ca aplicado pelo KCl e de 60% pelo Mehlich-1. Para Mg, esse autor encontrou taxas de recuperação médias de 71,6% para o KCl e de 66% para o Mehlich-1. Nesses solos, não foi possível o ajuste de um modelo incluindo o teor de argila na estimativa da taxa de recuperação de Ca ou de Mg, para ambos os extratores.

2.6. Zinco

A quantidade de zinco (Zn) extraída do solo depende da característica do extrator e da capacidade tampão do solo, o que proporciona variações no nível crítico de Zn no solo, para o milho (BROWN et al., 1970).

Luchese (1985), citado por LEÃO (1990), em estudos para determinar a disponibilidade de Zn em solos do Rio Grande do Sul, observou que não são frequentes solos com teores de Zn inferiores a $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$. Em seu levantamento, utilizando 708 amostras de solos e o Mehlich-1, encontrou teores de Zn variando entre $0,4$ e $2,4 \text{ mg dm}^{-3}$, em mais de 50 % das amostras. Foram detectadas 15 amostras com valores iguais ou menores que $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$, e nove com

valores iguais ou maiores que 15 mg dm^{-3} de Zn.

Estudando solos de 14 unidades de mapeamento do estado de São Paulo, VALADARES (1979) determinou os teores de Zn disponível e obteve os seguintes resultados: $0,2$ a $9,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de Zn com HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$; $0,1$ a $8,5 \text{ mg dm}^{-3}$ com EDTA 1 dag L^{-1} ; $0,1$ a $3,8 \text{ mg dm}^{-3}$ com DPTA; $0,2$ a $9,4 \text{ mg dm}^{-3}$ com Mehlich-1; o Zn trocável, determinado pelo método do NH_4OAc , ficou entre $0,1$ e $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$. Para solos de cerrado, LOPES (1983) determinou que os teores de Zn pelo Mehlich-1 ficaram entre $0,32$ e $2,6 \text{ mg dm}^{-3}$, com HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ entre $0,32$ e $0,53 \text{ mg dm}^{-3}$ e com EDTA 1 dag L^{-1} entre $0,34$ e $2,1 \text{ mg dm}^{-3}$, admitindo o nível crítico de Zn, pelo Mehlich-1, de $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$.

COUTO et al. (1992) observaram ampla variação dos níveis críticos entre os vários solos estudados, numa amplitude de $0,8$ a $4,6 \text{ mg dm}^{-3}$, para o Mehlich-1, e de $1,1$ a $5,0$, para o HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. Estas variações indicam influência da capacidade tampão dos solos nos valores observados.

2.7. Boro

O boro (B) é um micronutriente facilmente lixiviável em solos com baixa capacidade de adsorção e que, dependendo do solo, pode ser adsorvido com maior intensidade (GUTTERRES & VOLKWEISS, 1987). Isso foi verificado em trabalho conduzido por SILVA & FERREYRA (1998), com solos do estado do Ceará, objetivando estudar a relação entre as formas de B total e disponível e as características do solo. Esses autores concluíram que o B disponível é influenciado principalmente pelo teor de matéria orgânica, enquanto argila, óxidos de Mn e sesquióxidos de Fe e Al amorfos e cristalinos influenciam-no em menor proporção.

Vários extratores têm sido utilizados para a determinação de B disponível. As melhores correlações têm sido encontradas para a água quente (RIBEIRO & TUCUNANGO SARABIA, 1984; GUTTERRES &

VOLKWEISS, 1987; BATAGLIA & RAIJ, 1990 e SILVA & FERREYRA, 1998).

Num estudo de avaliação e comparação dos extratores água quente e Mehlich-1 com amostras de Latossolos do Triângulo Mineiro, RIBEIRO & TUCUNANGO SARABIA (1984) observaram que a taxa de recuperação do B adicionado, pela água quente, após dois cultivos, variou de 34%, em solo com 17% de argila, a 54% em solo com 62% de argila, enquanto para Mehlich-1 essa taxa foi de 41 e 72%, respectivamente.

2.8. Silício

Embora não seja considerado elemento essencial para as plantas, o silício (Si) pode ter grande importância no aumento de produtividade da cultura de arroz. Vários autores têm demonstrado sua importância no controle de doenças do arroz. DATNOFF et al.(1990, 1991), trabalhando com solos orgânicos do sul da Flórida, demonstraram que a fertilização com Si reduziu a incidência de brusone de 31 para 17% e a mancha parda de 32 para 15%.

BARBOSA FILHO et al. (2000) relataram que, no Japão, 25% da área cultivada com arroz recebe, anualmente, aplicações de silicato de cálcio variando de 0,5 a 1,0 t ha⁻¹, embora a dose recomendada seja de 1,5 a 2,0 t ha⁻¹. Esses autores acreditam que, no Brasil, a cultura do arroz pode também responder positivamente à adubação com Si, dependendo de sua disponibilidade no solo. Entretanto, para conhecer a necessidade dessa prática, é preciso desenvolver métodos eficientes de análise de Si no solo, na planta e nos fertilizantes. Somente a partir do conhecimento das técnicas de extração de Si, e das correlações entre Si no solo e na planta, pode-se estabelecer um critério confiável para recomendação de fertilizante silicatado.

KHALID e SILVA (1978) usaram o Si extraível em ácido acético 0,1 mol L⁻¹, com pH 3,5 e 50 mg L⁻¹ de P como Ca(H₂PO₄)₂, para estudar

o efeito residual da aplicação de silicato de cálcio. Esses autores obtiveram recuperação do Si aplicado, variando de 13 a 23% em amostra de solo de 0 a 30 cm de profundidade; a recuperação, pelas plantas de arroz, do Si aplicado foi 8,3 a 30,4%.

Embora, no Brasil, sejam poucas as pesquisas realizadas no sentido de com a finalidade de ajustar métodos para determinação de Si no solo, KORNDÖRFER et al. (1999a) estudaram quatro métodos de extração (ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, tampão de acetato a pH 4,0, cloreto de cálcio $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$ e água) visando estimar a disponibilidade de Si no solo para as plantas de arroz de sequeiro, em casa de vegetação. Para os quatro solos estudados, concluíram que o ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ apresentou a melhor estimativa do Si disponível para o arroz de sequeiro.

2.9. Restos culturais na cultura do arroz irrigado

A utilização de plantas de cobertura do solo pode contribuir para a retenção de água e diminuir as perdas de solo e nutrientes por erosão. Outra característica atribuída às plantas de cobertura do solo é a reciclagem de nutrientes que, após a decomposição dos resíduos, poderão ser utilizados pela cultura subsequente.

HEINZMANN (1985), estudando várias espécies de plantas de cobertura de solo no Paraná, concluiu que as coberturas verdes de inverno não leguminosas podem deixar, nos resíduos, quantidades de N total iguais ou superiores às leguminosas. A mineralização do N, nos resíduos com relação $C/N < 25$, foi relativamente rápida, mesmo sem incorporação ao solo. Neste caso, as perdas por lixiviação podem ser consideráveis quando altas quantidades de resíduos vegetais são deixadas sobre o solo. Para resíduos com relação $C/N < 25$, o período entre o corte da cobertura verde de inverno e o plantio da cultura de verão deve ser o mais breve possível, desde que outros fatores agronômicos o permitam.

DERPSCH et al. (1985) encontraram que, entre as plantas de cobertura de solo estudadas, a aveia preta (*Avena strigosa* Schieb.), como cobertura verde de inverno, foi a que produziu maiores quantidades de matéria seca (8.670 kg ha^{-1}) e acúmulo de N total (147 kg ha^{-1}), com uma relação C/N = 28 para a parte aérea e 31 para a raiz.

SIMONETE (1998), estudando o azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) como planta de cobertura de solo no inverno, e doses crescentes de K obteve produção média de matéria seca vegetativa de 9.500 kg ha^{-1} e acúmulo médio de 105 kg ha^{-1} de N total. Para o K, obteve acúmulo que relacionou-se linearmente com o K aplicado, indicando que pelo menos 67 % do K aplicado foi reciclado pelo azevém e deixado para a cultura do arroz, em cultivo subsequente.

A taxa de decomposição de resíduos culturais de espécies cultivadas decai, exponencialmente, com o tempo. Em trabalho de DA ROS & AITA (1996), com quatro leguminosas, apenas 62 e 40% da matéria seca e N, respectivamente, ainda permaneceram na superfície do solo aos 30 dias após a incorporação. As altas taxas de decomposição das leguminosas podem, em parte, ser explicadas pela relação C/N de 12,5.

A proposta do sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de nutrientes (SIR-AI) requer, além da quantificação da disponibilidade de nutrientes no solo, uma avaliação da disponibilidade de nutrientes oriunda de restos culturais.

3. ESTRUTURA DO SISTEMA

O sistema de interpretação de análise de solo e de planta e de recomendação de nutrientes para a cultura do arroz irrigado (SIR-AI) é constituído por um conjunto de equações, numa seqüência de cálculos que resulta numa recomendação de nutrientes para a cultura do arroz irrigado.

Embora as recomendações apresentem características individuais para os nutrientes, estes foram reunidos num esquema básico que apresenta procedimento de cálculos comum a cada grupo de nutrientes, para se chegar a uma recomendação (Figuras 1 e 2).

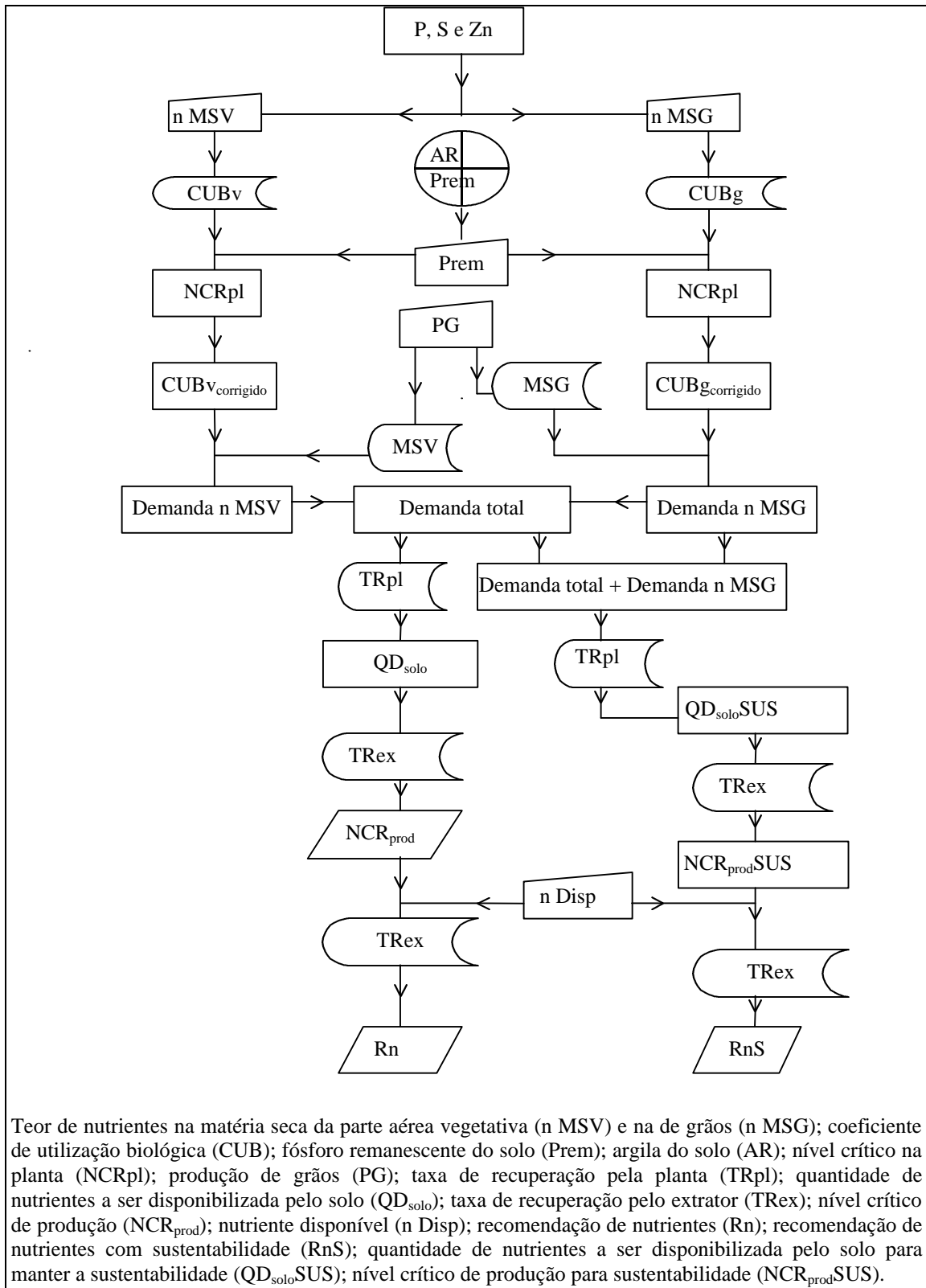
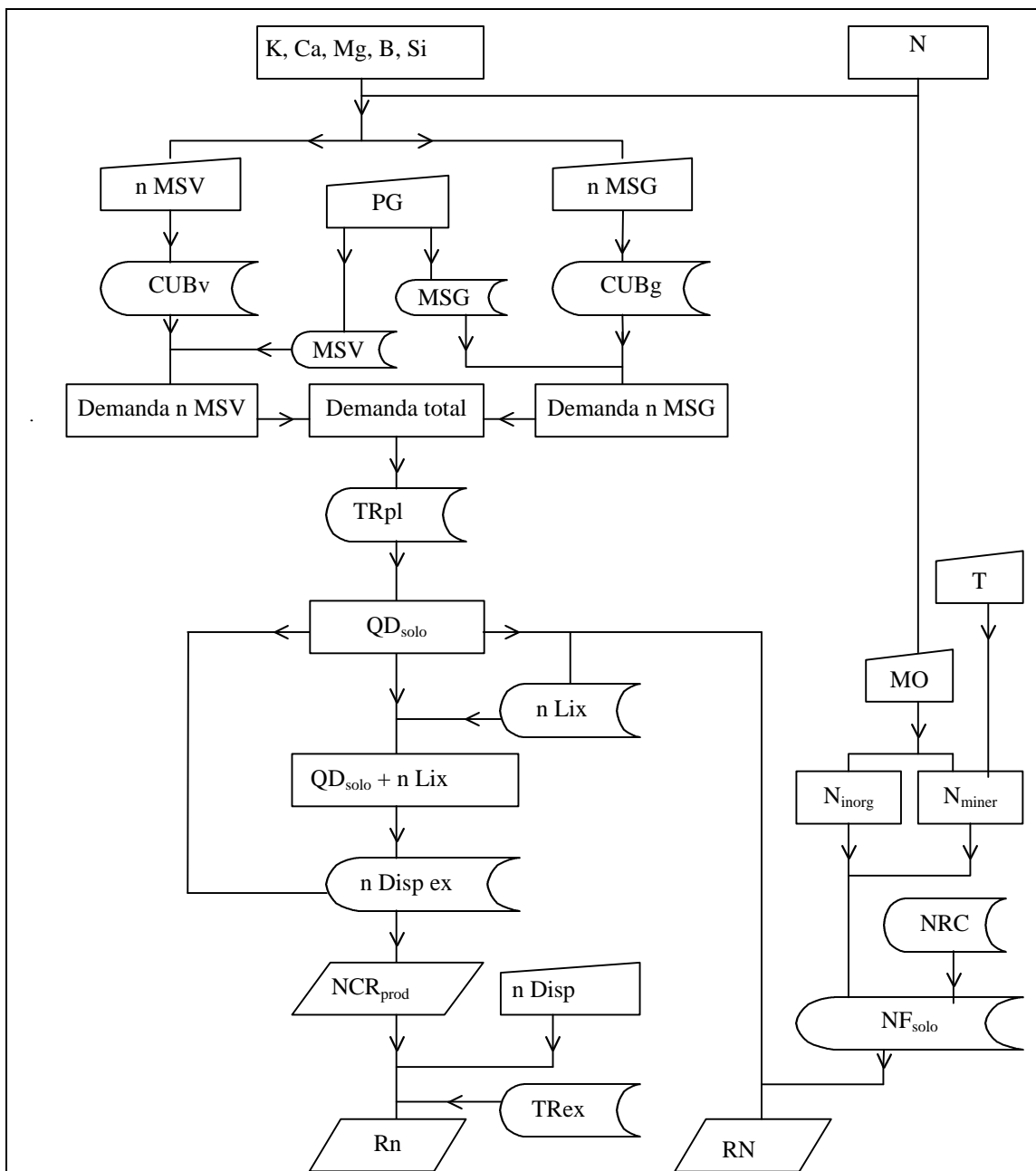


Figura 1. Fluxograma do SIR-AI utilizado para recomendação dos nutrientes P, S e Zn cujas estimativas das disponibilidades dependem da capacidade tampão dos solos



Teor de nutrientes na matéria seca da parte aérea vegetativa (n MSV) e na de grãos (n MSG); coeficiente de utilização biológica (CUB); nível crítico na planta (NCRpl); produção de grãos (PG); taxa de recuperação pela planta (TRpl); quantidade de nutrientes a ser disponibilizada pelo solo (QD_{solo}); taxa de recuperação pelo extrator (TRex); nível crítico de produção (NCR_{prod}); nutriente disponível (n D_{isp}); perda de nutrientes por lixiviação (n Lix); nutriente disponível pelo extrator (n Disp ex); matéria orgânica (MO); Tempo de incubação da amostra (T); nitrogênio inorgânico (N_{inorg}); nitrogênio mineralizado (N_{miner}); nitrogênio dos restos culturais (NRC); nitrogênio fornecido pelo solo (NF_{solo}); recomendação de nutrientes (Rn); recomendação de nitrogênio (RN)

Figura 2 – Fluxograma do SIR-AI utilizado para recomendação dos nutrientes K, Ca, Mg, B, N e do Si cujas estimativas da disponibilidade independem da capacidade tampão do solo

3.1. Procedimentos comuns para fósforo, enxofre e zinco

O procedimento de cálculo para P, S e Zn, foram agrupados num esquema comum em razão destes nutrientes terem suas disponibilidades sensíveis à capacidade tampão dos solos, característica estimada pelo fósforo remanescente (Prem)^{2/}.

3.1.1. Informações relacionadas à planta

A partir dos teores de P, S e Zn, no solo e na planta, foi ajustada uma equação linear que corrige os níveis críticos na planta, em função do Prem. Assim, o Prem é a primeira variável que deverá ser fornecida ao sistema. Como o Prem é uma determinação que ainda não está ao alcance de todos os usuários, seu valor poderá ser estimado a partir do teor de argila (AR) do solo.

O coeficiente de utilização biológica (CUB) dos nutrientes para a matéria seca da parte aérea vegetativa e de grãos, determinado com base no teor de nutriente na matéria seca da parte aérea vegetativa (n MSV) e na matéria seca de grãos (n MSG), é corrigido pelo nível crítico na planta. Para esta correção, o CUB é multiplicado pelo nível crítico médio na planta e, posteriormente, dividido pelo nível crítico da planta para o solo a ser cultivado.

O valor do nível crítico médio na planta ($NCR_{pl_médio}$), em função do Prem, é determinado com base numa equação linear. Para este cálculo, o sistema utiliza o valor do Prem = 30 mg L⁻¹, obtido pela média aritmética entre os valores do Prem de 0 e 60 mg L⁻¹.

Estimado o CUB para P, S e Zn, é necessário informar ao SIR-AI a produção de grãos esperada (PG), para que seja estimada a MSV e calculada a MSG. A equação linear que estima a produção de matéria seca da parte aérea vegetativa, em função da produção de grãos, foi desenvolvida com dados dos trabalhos de VIANA (1978), FIORE(1989) e LOPES (1991).

^{2/} Prem é o teor de P da solução de equilíbrio obtida ao se agitar 60 mg L⁻¹ de P em solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹ com uma amostra de solo, por uma hora, numa relação solo:solução de 1:10.

Já para obter a MSG, subtrai-se da produção de grãos 13% de umidade contida nos grãos.

O SIR-AI calcula a demanda de nutrientes pela planta (demanda total), necessária para atingir definida produção de grãos. O cálculo, que estima a demanda de nutrientes para a produção de matéria seca da parte aérea vegetativa, é obtido pela divisão do n MSV pelo coeficiente de utilização biológica da matéria seca da parte aérea vegetativa corrigido ($CUB_{v_{\text{corrigido}}}$). A demanda de nutrientes para a MSG é obtida pela divisão do n MSG pelo coeficiente de utilização biológica da matéria seca de grãos corrigido ($CUB_{g_{\text{corrigido}}}$). O cálculo da demanda total é feito pela soma da demanda para a MSV e a demanda para a MSG, para os nutrientes P, S e Zn.

Determinada a demanda de nutrientes pela cultura, o SIR-AI estima a taxa de recuperação, pela planta, do nutriente aplicado ao solo (TR_{pl}). Para os nutrientes P, S e Zn que apresentam sua disponibilidade sensível à capacidade tampão do solo, estima-se a taxa de recuperação pela planta em função do valor do Prem do solo a ser cultivado, informado, anteriormente, por meio de uma equação linear. Determinada a taxa de recuperação pela planta, obtém-se a quantidade de nutriente que deverá ser disponibilizada pelo solo (QD_{Solo}) para obter a produção de grãos esperada. A quantidade de nutriente a ser disponibilizada pelo solo é calculada pela divisão da demanda total de nutrientes da planta pela taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo.

3.1.2 Informações relacionadas ao solo

Determinadas as variáveis relacionadas à necessidade da planta, o SIR-AI utiliza informações relativas ao extrator. Essas informações foram modeladas a partir de resultados de experimentos, que utilizaram doses crescentes de nutrientes, dando origem à taxa de recuperação pelo extrator (TR_{ex}).

Na Figura 1, que representa o fluxograma para cálculo da recomendação de nutrientes cuja disponibilidade depende da capacidade tampão dos solos, a taxa de recuperação pelo extrator é estimada em função do Prem, por meio de

uma equação linear. Neste caso, a taxa de recuperação pelo extrator multiplicada pela QD_{solo} estima o nível crítico de produção (NCR_{prod}).

Para o caso do P, as recomendações feitas pelo SIR-AI utilizam os teores disponíveis estimados pelos extratores Mehlich-1 e Resina.

A dose de nutriente recomendada, a ser aplicado a lanço em toda a área, e incorporada na profundidade de 0-20 cm, pode ser gerada subtraindo-se o nutriente disponível do nível crítico de produção e, caso a resultante seja positiva, esta é dividida pela taxa de recuperação do extrator.

Como outra alternativa, propõe-se que a dose de nutriente recomendada seja suficiente para obter a produtividade desejada e manter a sustentabilidade do sistema de produção (SUS). A dose de nutriente recomendada para obter a produtividade desejada e manter a sustentabilidade (RnS) é calculada a partir da soma da demanda total com a demanda n MSG, seguindo o procedimento já descrito. Esta forma de recomendação permite separar solos pobres de solos férteis, recomendando doses maiores para os solos com nutriente disponível baixo e doses menores para os solos que apresentam nutriente disponível considerado alto.

As doses recomendadas, que serão aplicadas a lanço, são maiores que as doses recomendadas para aplicação localizada na linha de plantio. Para a cultura do arroz irrigado, como o espaçamento entre linhas é pequeno (em média 18 cm), estima-se que a taxa de recuperação, pela planta, do nutriente aplicado no sulco seja em torno de 3,5 vezes maior que a taxa de recuperação do nutriente aplicado a lanço em toda a área e incorporado de 0-20 cm de profundidade, de modo que a dose a ser aplicada de forma localizada na linha de plantio é 3,5 vezes menor. Futuras pesquisas devem investigar a relação entre a taxa de recuperação, pela planta, do nutriente aplicado a lanço e aplicado de forma localizada na linha de plantio.

3.2. Procedimentos comuns para potássio, cálcio, magnésio, boro, nitrogênio e silício

A Figura 2 apresenta o esquema de procedimentos para as informações de solo e de planta comuns aos nutrientes K, Ca, Mg, B, N e Si, cujas disponibilidades não são sensíveis a capacidade tampão dos solos.

3.2.1. Informações relacionadas à planta

Para K, Ca, Mg, B, N e Si, os teores na planta são transformados em Coeficiente de Utilização Biológica (CUB). O CUB da MSV e da MSG é determinado pela função inversa do teor de nutriente na matéria seca da parte aérea vegetativa e de grãos.

Determinado o CUB, informa-se ao SIR-AI a PG para estimar a MSV e MSG, de acordo com o item 3.1.1. No procedimento seguinte, calcula-se a demanda de nutrientes para a MSV e para a MSG. O cálculo da demanda de nutrientes ‘feito, dividindo-se a matéria seca da parte aérea vegetativa e de grãos por seus respectivos Coeficientes de Utilização Biológica.

Estimada a demanda de nutrientes pela cultura, o SIR-AI calcula a taxa de recuperação pela planta (TR_{pl}), em função do nutriente aplicado ao solo, por meio de equações lineares.

Determinada a taxa de recuperação pela planta, obtém-se a quantidade de nutriente a ser disponibilizada pelo solo (QD_{solo}), para a PG esperada. O cálculo da quantidade de nutriente a ser disponibilizada pelo solo é feito, dividindo-se a demanda total de nutriente pela taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo. Nesta etapa, utiliza-se a demanda total de nutriente pela planta por que ainda não se conhece a dose de nutriente a ser aplicada.

3.2.2 Informações relacionadas ao solo

Para os nutrientes K, Ca, Mg, B e Si, cujos procedimentos são apresentados na figura 2, após determinar a QD_{solo} , utiliza-se uma equação linear que estima o NCR_{prod} . Para estes nutrientes, o NCR_{prod} representa a quantidade de nutriente disponível no solo, pelo extrator ($n \text{ Disp ex}$), para atingir a produção desejada.

Embora, para os nutrientes K, Ca e Mg, as perdas por lixiviação ($n \text{ Lix}$) podem ser elevadas, serão consideradas somente as perdas de Ca e Mg devido à insuficiência de informações para modelar a lixiviação de K. Para estimar as perdas por lixiviação de Ca e Mg obteve-se uma equação linear que estima as perdas por lixiviação em função da quantidade de nutrientes que deve ser disponibilizada pelo solo. Estimado o $n \text{ Lix}$ soma-se à QD_{solo} , para se obter a variável $QD_{\text{solo}} + n \text{ Lix}$.

Para Ca e Mg, determina-se o NCR_{prod} por meio de uma equação linear, em função da variável $QD_{\text{solo}} + n \text{ Lix}$.

Tendo determinado o NCR_{prod} , diminui-se deste o teor disponível indicado pela análise do solo, que é informado ao sistema, e dividi-se a diferença pela taxa de recuperação pelo extrator, estimando-se a dose recomendada de nutriente (Rn) a ser aplicada em toda a área e incorporada à profundidade de 0-20 cm.

Determinada a recomendação de K para satisfazer as necessidades da planta e do solo, é possível contabilizar a entrada de K ao sistema via água de irrigação e o K oriundo das espécies utilizadas em rotação com a cultura do arroz.

3.2.3. Informações relacionadas ao solo para o N

A quantidade de N fornecido pelo solo (NF_{solo}) é determinada pela estimativa de mineralização da MO (N_{miner}), por incubação anaeróbia durante um período equivalente ao tempo de duração do ciclo da cultura (T , em semanas) e

pela estimativa do N inorgânico do solo (N_{inorg}) na estação de cultivo, de acordo com o teor de MO, que será somado ao N reciclado dos restos culturais (NRC)^{3/}. A recomendação de N (RN) pelo modo proposto é obtida, diminuindo-se o NF_{solo} da QD_{Solo} .

^{3/} Nesta versão do SIR-AI o N oriundo dos restos da cultura utilizada em rotação será um valor fixo estimado de acordo com o acúmulo de N na matéria seca do azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), em futuras versões, com o avanço da pesquisa, deverá ser modelado para outras espécies.

4 – DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

4.1- Determinação do coeficiente de utilização biológica de nutrientes

O sistema de interpretação dos resultados de análise de solo e de recomendação de nutrientes para a cultura do arroz irrigado (SIR-AI) utiliza os valores dos coeficientes de utilização biológica (CUB) dos nutrientes da matéria seca da parte aérea vegetativa (MSV) e da matéria seca de grãos (MSG), calculados a partir dos teores de nutrientes na MSV e na MSG. Caso o usuário não disponha dos teores de nutrientes nesses componentes da planta, o SIR-AI utiliza um valor médio (Quadros 5, 8 e 12).

A determinação do CUB_v da MSV e CUB_g da MSG é feita de acordo com as fórmulas: $CUB_v = (1/n \text{ MSV})100$ ou $CUB_g = (1/n \text{ MSG})100$, para os nutrientes N, P, K Ca, Mg, S e Si; e $CUB_v = (1/n \text{ MSV})1.000.000$ ou $CUB_g = (1/n \text{ MSG})1.000.000$, para os micronutrientes B e Zn.

Para os nutrientes P, S e Zn, cujo acúmulo na planta depende da capacidade tampão dos solos, o fósforo remanescente (Prem) será utilizado no SIR-AI como a variável que caracteriza a capacidade tampão

dos solos. Caso o usuário não disponha do valor do Prem, o sistema poderá utilizar o teor de argila do solo (%) para estimar o Prem de acordo com a equação: ${}^4/\text{Prem} = 55,349 - 1,185^{***} (\text{AR}) + 0,007^{***} (\text{AR})^2$ (significativo a 0,1% e $R^2 = 0,808$). Contudo, sempre que possível, é preferível determinar o Prem porque um mesmo valor de Prem pode ser encontrado para solos com diferentes teores de argila, em virtude dos valores desta característica dependerem não somente do teor de argila, mas também de sua mineralogia e do teor de matéria orgânica (ALVAREZ V. & RIBEIRO, 1999).

Os valores do Coeficiente de Utilização Biológica da MSV e da MSG, corrigidos pela capacidade tampão ($\text{CUB}_{\text{corrigido}}$) para os nutrientes P, S e Zn serão obtidos de acordo com as equações que estimam o nível crítico da planta (NCRpl) em função do valor do Prem (Quadro 1). O $\text{NCRpl}_{\text{médio}}$ é calculado pelo $\text{Prem} = 30\text{mg L}^{-1}$. Já o NCRpl é estimado a partir do Prem do solo a ser cultivado. Obtidas estas variáveis, calcula-se o $\text{CUB}_{\text{corrigido}}$ pela equação: $\text{CUB}_{\text{corrigido}} = \text{CUB} \times \text{NCRpl}_{\text{médio}}/\text{NCRpl}$. Neste trabalho, corrigiu-se o CUB tanto para a MSV quanto para a MSG; entretanto, futuras pesquisas deverão verificar se ocorre variação, de acordo com a variável Prem, para a MSG.

A equação para estimativa dos níveis críticos de P na planta, de acordo com o Prem, foi desenvolvida a partir de resultados obtidos por MELLO (1991) em solos inundados sob condições de casa de vegetação, cujos valores de Prem variaram entre 3 e 49 mg L^{-1} .

^{4/} Modelo estimado com dados de DELAZARI (1979); FONSECA (1987); GUSS (1988); MOURA FILHO (1990); SILVA (1990); MELLO (1991); VIEGAS (1991); BARRA (1993); CAMPELLO (1993); SANTOS (1993); VILLANI (1995); SILVA (1996); COSTA (1998); MENEZES (1998); PEREIRA (1998); ROLIM (1998); MORAIS (1999); SILVA (1999); NOVELINO (1999); UCHOA (1999).

Quadro 1 - Equações para estimativa do nível crítico na planta (NCR_{pl}) para P, S (dag kg⁻¹) e Zn (mg kg⁻¹) em função do fósforo remanescente (Prem em mg L⁻¹)

Nutriente	Equações	R ²
P	$NCR_{pl} = 0,0875 + 0,003^{***} \text{ Prem}$	0,785
S	$NCR_{pl} = 0,1387 + 0,0035 \text{ Prem}$	(1)
Zn	$NCR_{pl} = 7,6744 + 0,8721 \text{ Prem}$	(1)

*** significativo a 0,1%, pelo teste t.

(1) As equações que estimam os níveis críticos na planta dos nutrientes S e Zn não apresentam os coeficientes de determinação porque foram obtidas a partir de faixas críticas encontradas na literatura.

A demanda do nutriente pela planta é calculada pela equação: Demanda total = MSV/CUB_v + MSG/CUB_g. Para o cálculo da quantidade de MSV e da MSG, ajustaram-se equações que estimam as quantidades de MSV e de MSG, correspondentes à determinada PG, com 13% de umidade (Quadro 2).

Quadro 2 - Produção de matéria seca da parte aérea vegetativa estimada (MSV) e matéria seca de grãos estimada (MSG), em kg ha⁻¹ em função da produção de grãos (PG) em kg ha⁻¹

Equações	R ²
$^{1/}MSV = 883,25 + 0,8803^{***} (PG)$	0,906
$MSG = PG - 0,13(PG)$	(2)

*** significativo a 0,1%, pelo teste t.

Equações ajustadas com dados de: ^{1/}VIANA (1978); FIORE (1989); LOPES (1991).

(2) Não foi apresentado R², porque é uma fórmula para fazer a correção da umidade dos grãos de 13% para obter a MSG.

4.2 - Taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado

Determinada a demanda de nutrientes pela cultura, estima-se a taxa de recuperação, pela planta, do P, S e Zn aplicados ao solo (Quadro 3).

Quadro 3 - Equações para estimativa da taxa de recuperação pela planta (TRpl, em %) em função dos valores de Prem (mg L⁻¹) e da dose de S aplicado (S apl, em kg ha⁻¹)

Nutriente	Equações	R ²	Local ⁽¹⁾
P ^{1/}	TRpl = 0,0551 + 0,4492 ^{***} (Prem)	0,860	CdV
S ^{2/}	TRpl = 18,067 + 0,228 ^{***} Prem - 0,0434 ^{***} (S apl)	0,930	Cam
Zn ^{3/}	TRpl = 3,0 + 0,11 ^{***} (Prem)	0,960	CdV

*** significativo a 0,1%, pelo teste t. ⁽¹⁾ CdV – casa de vegetação; Cam - campo
 Equações ajustadas com dados de: ^{1/} MELLO (1991); ^{2/} CARVALHO (2000); ^{3/} PAULA et al. (1991).

A taxa de recuperação, pela planta, dos nutrientes P, S e Zn variam com o valor de Prem, de modo que quanto maior a capacidade tampão dos solos menores serão as taxas de recuperação pela planta.

Como a maioria das pesquisas que determinam taxas de recuperação de nutrientes pela planta são realizadas em casa de vegetação, os valores assim obtidos podem ser diferentes daqueles obtidos em condições de campo. Apesar disso, as taxas de recuperação pela planta, quando o P é aplicado em todo o volume de solo, sofrem grande influência das características relacionadas à capacidade tampão do solo, e encontram-se dentro de limites considerados baixos, isto é, entre 4,55 e 22,52% para valores do Prem variando de 10 a 50 mg L⁻¹, respectivamente.

A quantidade do nutriente a ser disponibilizada pelo solo (QD_{solo}) para a produtividade esperada, é determinada dividindo-se a demanda total de nutrientes da cultura pela taxa de recuperação, por meio da equação: QD_{solo} = Demanda total/TRpl.

4.3 - Recuperação pelo extrator do nutriente aplicado ao solo

Determinado a QD_{solo}, o SIR-AI utiliza as equações que estimam a taxa de recuperação, pelo extrator, do nutriente aplicado, em função da dose de nutriente aplicada ao solo. Essa taxa será utilizada para

determinar os níveis críticos de produção. As equações que estimam as taxas de recuperação pelos extratores foram obtidas a partir de dados de experimentos conduzidos em casa de vegetação (Quadro 4).

Para P, S e Zn, as taxas de recuperação pelos extratores apresentam-se variáveis, em função da dose do nutriente aplicado ao solo e do valor do Prem do solo.

O Prem permite estimar a taxa de recuperação de P pelo extrator Mehlich-1 (TRex M-1) e pela Resina (TRex Res) (Quadro 4). A amplitude de variação da taxa de recuperação pelo extrator Mehlich-1 é superior à da Resina; os valores variaram de 3,76 a 48,4% para o Mehlich-1 e de 5,7 a 26,9% para a Resina, para valores do Prem variando de 5 a 50 mg L⁻¹, respectivamente, indicando haver maior sensibilidade do extrator Mehlich-1 à capacidade tampão dos solos.

Quadro 4 - Equações para estimativa da taxa de recuperação do nutriente aplicado pelo extrator (TRex), em função dos valores do Prem

Nutriente	Extrator	Equações	R ²
P ^{1/}	Mehlich-1	TRex = - 4,94 + 0,87 ^{***} (Prem)	0,794
P ^{2/}	Resina	TRex = 3,37 + 0,47 ^{***} (Prem)	0,867
S ^{3/}	FM	TRex = 4,0 + 0,57 ^{***} (Prem)	0,955
Zn ^{4/}	Mehlich-1	TRex = 30,87 + 0,35 ^{***} (Prem)	0,845

*** significativo a 0,1 %, pelo teste t.

FM - Fosfato monocalcico em HOAc.

Equações ajustadas com dados de: ^{1/} MELLO (1991); SILVA (1996); ^{2/} MOURA FILHO (1990); SILVA (1996); ^{3/} ALVAREZ V. (1996); ^{4/} COUTO et al. (1985).

4.4. Recomendação de fósforo-Mehlich-1. Exemplo de cálculos

A seguir, é demonstrado um exemplo dos procedimentos de cálculos utilizados para interpretação de análise de solo e de planta e para recomendação de P. Escolheu-se o modelo para a recomendação de P,

como exemplo, por este apresentar cálculos semelhantes ao adotado para S e Zn. A recomendação de P será estimada, considerando-se os teores médios de P na planta (Quadro 5) e os extratores Mehlich-1 e Resina.

Informações necessárias:

P disponível no solo = $3,6 \text{ mg dm}^{-3}$ pelo extrator Mehlich-1 e Prem = 13 mg L^{-1} .

Produtividade esperada = 7.000 kg ha^{-1} de grãos com o teor de umidade de 13%.

Quadro 5 - Teor de nutrientes (não corrigido pela capacidade tampão do solo) da matéria seca da parte aérea vegetativa (MSV) e de grãos (MSG)

Nutriente	Teor MSV dag kg ⁻¹	Teor MSG dag kg ⁻¹
P	0,09	0,20
S	0,10	0,14
Zn	mg kg ⁻¹ 38,00	mg kg ⁻¹ 24,00

Fonte: FURLANI et al. (1977).

a) Determinação da demanda de P pela cultura

A partir de teores de P na MSV e na MSG (Quadro 5), determina-se o CUB na MSV e na MSG, de acordo com a equação:

$$\text{CUB}_v = (1/n \text{ MSV})100$$

$$\text{CUB}_v = (1/0,09)100$$

$$\text{CUB}_v = 1.111 \text{ kg kg}^{-1}$$

$$\text{CUB}_g = (1/n \text{ MSG})100$$

$$\text{CUB}_g = (1/0,20)100$$

$$\text{CUB}_g = 500 \text{ kg kg}^{-1}$$

A Determinação do NCR de P na planta (NCRpl) é feita de acordo com a equação:

$$\text{NCRpl} = 0,0875 + 0,003 \text{ Prem} \quad (\text{Quadro 1}).$$

O NCR médio de P na planta (NCRpl_{médio}) para solos com valor do Prem = 30 mg L⁻¹, obtido pela média aritmética entre 0 e 60 mg L⁻¹, é calculado:

$$\text{NCRpl}_{\text{médio}} = 0,0875 + 0,003 (30) = 0,178 \text{ dag kg}^{-1}.$$

O NCRpl_{médio} calculado com o valor do Prem = 30 mg L⁻¹ é de 0,178 dag kg⁻¹. Portanto, o CUB_{corrigido} estimado terá valor igual ao CUB, quando o nível crítico na planta for igual a 0,178 dag kg⁻¹.

A demanda total de P pela cultura, para produzir 7.000 kg ha⁻¹ de grãos, é estimada a partir dos valores de CUB_{corrigido}, para a MSV e MSG, para um solo caracterizado por uma determinada capacidade tampão. Os valores de CUB da MSV e da MSG devem ser corrigidos para valores estimados de CUB, que variam de acordo com a capacidade tampão do solo. A correção é feita de acordo com os cálculos a seguir:

Para o Prem = 13 mg L⁻¹, o NCRpl é:

$$\text{NCRpl} = 0,0875 + 0,003(13) \text{ (Quadro 1).}$$

$$\text{NCRpl} = 0,1265 \text{ dag kg}^{-1}.$$

O CUB_{corrigido} é calculado de acordo com a equação:

$$\text{CUB}_{\text{corrigido}} = (\text{CUB} \times \text{NCRpl}_{\text{médio}}) / \text{NCRpl}$$

$$\text{CUB}_{\text{corrigido}} = (\text{CUB} \times 0,178) / 0,1265$$

$$\text{CUB}_{\text{corrigido}} \text{ MSV} = (1.111 \times 0,178) / 0,1265 = 1.567,02 \text{ kg kg}^{-1}$$

$$\text{CUB}_{\text{corrigido}} \text{ MSG} = (500 \times 0,178) / 0,1265 = 703,56 \text{ kg kg}^{-1}.$$

Para calcular a quantidade total de P acumulado na planta, para a produção de 7.000 kg ha⁻¹ de grãos, é necessário estimar a MSV e a MSG.

A produção de MSV é estimada de acordo com a equação:

$$\text{MSV} = 883,25 + 0,8803(\text{PG}) \text{ (Quadro 2).}$$

$$\text{MSV} = 883,25 + 0,8803 \times 7.000 = 7.045,35 \text{ kg ha}^{-1}.$$

Demanda de P = 7.045,35/1.567,02 = 4,5 kg ha⁻¹ de P para a produção da MSV estimada.

A quantidade de matéria seca de grãos (MSG) com correção da umidade para 0%, é obtida de acordo com a equação:

$$\text{MSG} = \text{PG} - 0,13(\text{PG}) \text{ (Quadro 2).}$$

$$\text{MSG} = 7.000 - 0,13 (7.000)$$

$$\text{MSG} = 7.000 - 910$$

$$\text{MSG} = 6.090 \text{ kg ha}^{-1}$$

Demanda de P = $6.090 / 703,56 \text{ kg kg}^{-1} = 8,66 \text{ kg ha}^{-1}$ de P para a produção da MSG.

$$\text{Demanda total de P pela planta} = 4,5 + 8,66 = 13,16 \text{ kg ha}^{-1}.$$

b) Quantidade de P a ser disponibilizada pelo solo

Para obter a quantidade de P a ser disponibilizada pelo solo, é necessário estimar a taxa de recuperação, pela planta, do P a ser aplicado como fertilizante (Quadro 3). Esta taxa é calculada de acordo com a equação: $\text{TRpl} = 0,0551 + 0,4492 (\text{Prem})$

$$\text{TRpl} = 0,0551 + 0,4492 (13)$$

$$\text{TRpl} = 5,895\%$$

A taxa de recuperação, pela planta, do P aplicado apresenta sensibilidade à capacidade tampão dos solos. Assim, estimam-se valores de taxa de recuperação de apenas 0,055% para solos com $\text{Prem} = 0 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto para solos com $\text{Prem} = 60 \text{ mg L}^{-1}$, o valor seria 27%, valores estes que devem ser confirmados por futuras pesquisas, em condições de campo e com P aplicado no sulco, uma vez que esses números foram obtidos, em sua maioria, de dados gerados por pesquisas em casa de vegetação.

Estimada a taxa de recuperação de P pela planta, o SIR-AI determina a quantidade deste nutriente a ser disponibilizada pelo solo (QD_{solo}) para suprir a demanda da cultura.

Para que a planta acumule $13,16 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, a QD_{solo} será calculada de acordo com a equação: $\text{QD}_{\text{solo}} = \text{demanda de P} / (\text{TRpl}/100)$.

$\text{QD}_{\text{solo}} = 13,16 / (5,895/100) = 223,24 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, que deverá estar disponível na camada de 0-20 cm de profundidade.

c) Determinação do nível crítico de P do solo para uma dada produtividade de grãos (NCR_{prod})

Para calcular o NCR_{prod} de P no solo, utiliza-se a equação que estima a taxa de recuperação, pelo extrator, do P aplicado ao solo em função do Prem (Quadro 4):

$$TRex\ M-1 = - 4,94 + 0,87 (Prem)$$

$$TRex\ M-1 = - 4,94 + 0,87(13)$$

$$TRex\ M-1 = 6,37 \%$$

Estimada a taxa de recuperação pelo extrator Mehlich-1, esta é utilizada para determinar o NCR_{prod} , de acordo com a equação:

$$NCR_{prod} = (QD_{solo}/2) \times (TRex\ M-1/100)$$

$$NCR_{prod} = (223,24/2) \times (6,37/100) = 7,1\ mg\ dm^{-3}$$

Considerando que o P disponível seja $3,6\ mg\ dm^{-3}$ (Mehlich-1) de solo, para obter a produtividade desejada é necessário elevar o P disponível no solo para $7,1\ mg\ dm^{-3}$, que é o nível crítico de produção para esse solo.

O nível crítico de produção de $7,1\ mg\ dm^{-3}$ está muito próximo ao nível crítico de $6\ mg\ dm^{-3}$ de P, considerado como adequado pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (1994), para a produção de arroz irrigado em solos inundados, para as condições do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Entretanto, solos com menor capacidade tampão de P devem ter valores maiores para os níveis críticos de produção. ALVAREZ V. et al. (1999) consideram que os níveis críticos de P, para solos com valores do Prem entre 0 e $60\ mg\ L^{-1}$, variam de 4,4 até $30,0\ mg\ dm^{-3}$, e para valor do Prem = $13\ mg\ L^{-1}$ o nível crítico de P é $10,9\ mg\ dm^{-3}$.

Num exemplo, o NCR_{prod} estimado para o Mehlich-1 varia de 3,1 a $10,1\ mg\ dm^{-3}$ para solos com Prem = $13\ mg\ L^{-1}$, de acordo com a produtividade esperada, variando de 2.800 a $10.000\ kg\ ha^{-1}$ de grãos. Para solos com Prem = $50\ mg\ L^{-1}$ e produções de grãos variando de 2.800 a $10.000\ kg\ ha^{-1}$, o NCR_{prod} varia de 9,1 a $30,3\ mg\ dm^{-3}$. Já para solos com

Prem $\leq 13 \text{ mg L}^{-1}$, o NCR_{prod} é calculado de acordo com a equação:
 $\text{NCR}_{\text{prod}} = (\text{QD}_{\text{solo}}/2) \times (6,37/100)$, enquanto para solos com Prem $\geq 50 \text{ mg L}^{-1}$, o NCR_{prod} é calculado de acordo com a equação:
 $\text{NCR}_{\text{prod}} = (\text{QD}_{\text{solo}}/2) \times (38,56/100)$.

d) Recomendação de P (RP)

A recomendação de P para a cultura do arroz irrigado poderá ser feita segundo dois critérios diferentes, de acordo com o objetivo do usuário.

Segundo o primeiro critério, restituem-se as quantidades de nutrientes extraídas por meio da produção de grãos esperada, esgotando, teoricamente, a reserva do solo, a qual é calculada pela equação:

$$\text{RP} = 2(\text{NCR}_{\text{prod}} - \text{P}_{\text{disp}})/(\text{TREx M}-1/100)$$

$$\text{RP} = 2(7,11 - 3,6)/(6,37/100) = 110,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de P.}$$

A dose de $110,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, recomendada para ser aplicada a lanço na camada de 0 a 20 cm de profundidade, dividida por $3,5^5$ é igual a $31,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, numa forma solúvel, aplicados no sulco, para obter a produtividade de 7.000 kg ha^{-1} de grãos.

O segundo critério considera a restituição de P para atender à demanda da cultura, visando atingir a produção de grãos esperada, sendo colocada uma dose suplementar, para manter a sustentabilidade do sistema (SUS), equivalente à exportação de P pelos grãos; para o cálculo da recomendação de P sustentável (RPS), utiliza-se a equação:

$$\text{RPS} = 2(\text{NCR}_{\text{prodSUS}} - \text{P}_{\text{dis}})/(\text{TREx M}-1/100).$$

A recomendação de P de modo a manter a sustentabilidade é feita de acordo com os cálculos apresentados a seguir. Calcula-se a $\text{QD}_{\text{soloSUS}}$, de acordo com a equação:

^{5/} NOVAIS e SMYTH (1999) utilizam o divisor seis, justificando eles a necessidade de mais estudos para solucionar esse problema. Recomenda-se para tal, consultar BLACK (1993). Neste caso utilizou-se 3,5, devido ao espaçamento do arroz irrigado ser de apenas 18 cm entre-linhas, indicando que a taxa de recuperação pela planta, do P aplicado no sulco, deverá ser 3,5 vezes maior que para o P aplicado a lanço, em toda área e incorporado de 0-20 cm de profundidade.

$$QD_{\text{solo}}\text{SUS} = (\text{demanda total de P} + \text{demanda de P MSG})/(\text{TRpl}/100)$$

$$QD_{\text{solo}}\text{SUS} = (13,16 + 8,66)/(5,895/100) = 370,14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de P.}$$

Determinado o $QD_{\text{solo}}\text{SUS}$, calcula-se o $NCR_{\text{prod}}\text{SUS}$ de acordo com a equação:

$$NCR_{\text{prod}}\text{SUS} = (QD_{\text{solo}}\text{SUS})/2 \times (\text{TRex M-1}/100)$$

$$NCR_{\text{prod}} = (370,14/2) \times (6,37/100) = 11,8 \text{ mg dm}^{-3}.$$

Determinado o $NCR_{\text{prod}}\text{SUS}$, calcula-se a recomendação de P para manter a sustentabilidade, de acordo com a equação:

$$\text{RPS} = [2(NCR_{\text{prod}}\text{SUS} - P_{\text{dis}})/(\text{TRex M-1}/100)]$$

$\text{RPS} = [2(11,79 - 3,6)/(6,37/100)] = 257,14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de P}$ distribuídos a lance e incorporados de 0 a 20 cm de profundidade, ou $73,47 \text{ kg ha}^{-1}$ de P aplicado no sulco de plantio para uma produtividade de 7.000 kg ha^{-1} , com o adicional de sustentabilidade.

As equações propostas para as recomendações de P pelo SIR-AI apresentam um espaço válido de acordo com a capacidade tampão para os solos com valores do Prem variando entre 13 e 50 mg L^{-1} , ao passo que para os solos com valores do Prem ≤ 13 e $\geq 50 \text{ mg L}^{-1}$, o SIR-AI recomenda P, utilizando para a taxa de recuperação pelo Mehlich-1, valores de 6,37 e 38,56 % respectivamente. Para estes solos, assumiu-se que as recomendações serão calculadas por meio de valor constante para a TRex porque as informações disponíveis não permitiram obter equações confiáveis para estas faixas do Prem.

4.5. Recomendação de fósforo–Resina. Exemplo de cálculos

Informações necessárias para a seqüência de cálculos:

P disponível no solo = 8 mg dm^{-3} ;

Prem = 13 mg L^{-1} ;

Produtividade esperada = 7.000 kg ha^{-1} de grãos.

a) Determinação da demanda de P pela cultura

A seqüência dos procedimentos de cálculos é a mesma do exemplo apresentado no item 4.4.a:

$$\text{Demanda total de P pela planta} = 13,16 \text{ kg ha}^{-1}.$$

b) Quantidade de P a ser disponibilizada pelo solo (QD_{solo})

Para estimar da quantidade de P a ser disponibilizada pelo solo, o SIR-AI segue a mesma seqüência de cálculos, apresentada no item 4.4.b.

$QD_{\text{solo}} = 223,24 \text{ kg ha}^{-1}$ de P; homogeneizado em todo o volume de solo de 0-20 cm de profundidade.

c) Determinação do nível crítico de P do solo, para a produtividade de grãos esperada (NCR_{prod})

Para determinar o NCR_{prod} de P para o solo, pela Resina, é preciso estimar a taxa de recuperação do nutriente aplicado ao solo pelo extrator. Para o cálculo da TRex Res, utiliza-se a equação (Quadro 4):

$$\text{TRex Res} = 3,37 + 0,47 (\text{Prem})$$

$$\text{TRex Res} = 3,37 + 0,47 (13) = 9,48 \text{ \%}.$$

Estimada a TRex Res, calcula-se o NCR_{prod} de acordo com a equação: $NCR_{\text{prod}} = (QD_{\text{solo}}/2) \times (\text{TRex Res}/100)$

$$NCR_{\text{prod}} = (223,24/2) \times (9,48/100) = 10,6 \text{ mg dm}^{-3}.$$

Portanto, é preciso adicionar P ao solo para aumentar o P disponível de 8,0 para 10,6 mg dm^{-3} (NCR_{prod}).

Numa simulação para a Resina, o NCR_{prod} estimado variou de 3,5 a 11,7 mg dm^{-3} , para solos com valor do Prem = 10 mg L^{-1} , e produtividade variando de 2.800 a 10.000 kg ha^{-1} de grãos; para solos com valor do Prem = 50 mg L^{-1} e produtividade entre 2.800 e 10.000 kg ha^{-1} de grãos, obteve-se NCR_{prod} variando entre 6,2 e 20,7 mg dm^{-3} . Para solos com valores do Prem ≤ 10 e $\geq 50 \text{ mg L}^{-1}$, os níveis críticos de produção são determinados, utilizando-se as taxas de recuperação pela Resina de 8,07 e 26,87%, respectivamente. Optou-se pela utilização de um valor constante

para as taxas de recuperação pela Resina para valores de Prem ≤ 10 e $\geq 50 \text{ mg L}^{-1}$, dada a não disponibilidade de pesquisa que permita obter equações confiáveis para estas faixas do Prem.

d) Dose de P a ser recomendada (RP)

Semelhantemente ao apresentado para o Mehlich-1, a recomendação de P para a cultura do arroz irrigado, utilizando-se a Resina como extrator, poderá ser feita segundo dois critérios, anteriormente apresentados no item 4.4.d.

Segundo o primeiro critério, a recomendação de P pela Resina é de $54,44 \text{ kg ha}^{-1}$ numa forma solúvel, distribuídos a lanço e incorporados na camada de 0-20 cm de profundidade, ou $15,55 \text{ kg ha}^{-1}$ de P aplicados na linha de plantio para a produtividade esperada de 7.000 kg ha^{-1} de grãos.

No segundo critério, a recomendação de P pela Resina é de $201,36 \text{ kg ha}^{-1}$ distribuídos a lanço, ou $57,53 \text{ kg ha}^{-1}$ no sulco de plantio para a produtividade de 7.000 kg ha^{-1} de grãos.

As equações para Resina apresentam espaço válido de acordo com a capacidade tampão para os solos, com Prem variando entre 10 e 50 mg L^{-1} , enquanto para solos com Prem ≤ 10 e $\geq 50 \text{ mg L}^{-1}$ o SIR-AI recomenda P, utilizando taxas de recuperação pela Resina de 8,07 e 26,87%, respectivamente.

4.6. Enxofre

Com base nos teores de S na MSV e MSG (Quadro 5), determinam-se os valores de CUB de MSV e da MSG, utilizando-se os mesmos procedimentos já empregados no item 4.1.

Na determinação da taxa de recuperação de nutrientes, pela planta e pelo extrator à base de Fosfato Monocálcico em HOAc, utilizaram-se as equações de CARVALHO (2000) para a cultura do milho, devido à existência de poucos resultados de pesquisa sobre S para a cultura do arroz. Essas equações apresentam-se variáveis com a demanda de

nutrientes para obter a produtividade de grãos esperada e o Prem.

Os procedimentos de cálculos para determinar a recomendação de S seguem aqueles apresentados no item 4.4.

A partir dos teores de S na MSV e na MSG (Quadro 5) e dos modelos apresentados nos quadros 1,2, 3 e 4, simulou-se uma situação caracterizada por produtividades de grãos variando de 2.800 a 10.000 kg ha⁻¹, valores do Prem variando de 10 a 50 mg L⁻¹, e teor de S disponível no solo pelo extrator a base de Fosfato Monocálcico em HOAc de 4,0 mg dm⁻³. Para esta situação, obtiveram-se as taxas de recuperação, pela planta, do nutriente aplicado, em condições de casa de vegetação, variando de 20,1 a 19,6 e 29,0 a 28,1% e as taxas de recuperação pelo extrator variando de 9,7 a 32,5%. Os níveis críticos de produção variaram de 1,9 a 4,7 mg dm⁻³, para solos com Prem = 10 mg L⁻¹, e de 5,8 a 17,8 mg dm⁻³ para solos com Prem = 50 mg L⁻¹, e produtividade de grãos de 2.800 a 10.000 kg ha⁻¹.

Para as situações simuladas, as recomendações foram de 3,0 kg ha⁻¹ de S para solos com valor do Prem = 10 mg L⁻¹ e produtividade de grãos de 10.000 kg ha⁻¹, e de 8,0 a 83,0 kg ha⁻¹ de S, numa forma solúvel, a serem distribuídos a lanço e incorporados em toda a área à uma profundidade de 0-20 cm, para solos com valor do Prem = 50 mg L⁻¹ e produtividade de grãos variando de 2.800 a 10.000 kg ha⁻¹. No entanto, RIBEIRO et al. (1999), recomendam entre 20 e 30 kg ha⁻¹ de S para produtividade entre 5.000 e 6.000 kg ha⁻¹ de grãos, para solos com baixo teor de matéria orgânica, ou uso generalizado de fertilizantes concentrados.

As recomendações de doses maiores de S pelo SIR-AI podem estar ocorrendo devido à utilização de equações desenvolvidas para a cultura do milho. Deste modo, acredita-se que é necessário o desenvolvimento de pesquisas que possibilitem ajustar equações específicas para a cultura do arroz irrigado por inundação, até porque a dinâmica do S em solos alagados deve ser diferente daquela em solos bem drenados.

4.7. Zinco

A partir dos teores de Zn na MSV e na MSG (Quadro 5), foram determinados os valores de CUB da MSV e da MSG. A determinação do CUB para o Zn é obtida de acordo com a equação: $CUB_v = (1/n \text{ MSV})1.000.000$ ou $CUB_g = (1/n \text{ MSG})1.000.000$

As equações apresentadas (Quadro 1, 2, 3, e 4) foram utilizadas numa seqüência de procedimentos de cálculos semelhantes aos apresentados no item 4.4, que resultaram na recomendação de Zn para a cultura do arroz irrigado.

A equação para determinação do nível crítico de Zn na planta, em função do valor do Prem, foi ajustada a partir de valores críticos extremos encontrados na literatura, o que indica a necessidade de mais pesquisas voltadas para este objetivo.

Para uma situação simulada, a taxa de recuperação, pela planta, (Quadro 3) do Zn aplicado ao solo variou de 5,2 a 8,5% para solos com Prem entre 20 e 50 mg L⁻¹. A taxa de recuperação do Zn aplicado ao solo, pelo Mehlich-1 (Quadro 4), variou de 37,9 a 48,37%, enquanto os NCR_{prod} variaram de 0,5 a 1,56 mg dm⁻³ para solos com Prem = 20 mg L⁻¹, e de 0,8 a 2,5 mg dm⁻³ para solos com Prem = 50 mg L⁻¹, para produtividades variando de 2.800 a 10.000 kg ha⁻¹ de grãos. Para os solos com valores do Prem ≤ 20 e ≥ 50 mg L⁻¹, os níveis críticos de produção foram determinados pelos valores da TRex de 37,87 e 48,37%, respectivamente.

Os níveis críticos de produção apresentam uma faixa ampla de variação, quando comparados com 1 mg dm⁻³ que é considerado como crítico pela maioria dos critérios de interpretação. Entretanto, PAULA et al (1991) concluíram que o nível crítico de Zn no solo para a cultura do arroz em várzea, determinado pelo método de Cate & Nelson, foi de 2,1 mg dm⁻³, para o Mehlich-1.

Para a situação simulada, o SIR-AI recomendou até 10,3 kg ha⁻¹ de Zn para solos com Prem = 50 mg L⁻¹ e 10.000 kg ha⁻¹ de grãos, quantidade

considerada maior que aquela recomendada pela 5^a aproximação (RIBEIRO et al, 1999) 2 a 4 kg ha⁻¹ de Zn, para solos com teor inferior a 1 mg dm⁻³ pelo Mehlich-1 e produtividade entre 5.000 e 6.000 kg ha⁻¹ de grãos.

As equações para recomendação de Zn apresentam espaço válido de acordo com a capacidade tampão, para solos com Prem variando entre 20 e 50 mg L⁻¹, ao passo que para os solos com Prem ≤ 20 e ≥ 50 mg L⁻¹ utilizam-se valores constantes para taxas de recuperação pelo Mehlich-1.

4.8. Informações necessárias ao SIR-AI para recomendação de potássio, cálcio, magnésio, boro, silício e nitrogênio

4.8.1. Determinação do coeficiente de utilização biológica de nutrientes

A partir dos teores médios de nutrientes na matéria seca da parte aérea vegetativa e de grãos determina-se o CUB da MSV e da MSG para o N, K, Ca, Mg, B e Si (Quadro 6). Determinado o CUB, utilizam-se as equações do Quadro 2 para estimar a MSV e a MSG a partir da PG esperada.

Quadro 6 - Teor de N, K, Ca, Mg, Si e B da matéria seca da parte aérea vegetativa (MSV) e de grãos (MSG) da cultura do arroz irrigado

Nutrientes	Teor MSV dag kg ⁻¹	Teor MSG dag kg ⁻¹
N ¹	0,66	1,31
K ¹	2,38	0,19
Ca ¹	0,32	0,02
Mg ¹	0,18	0,10
Si ²	3,18	1,23
B ²	mg kg ⁻¹ 14,00	mg kg ⁻¹ 4,80

Fonte: ¹/LOPES (1991); ²/FURLANI et al. (1977).

4.8.2. Taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado

Determinada a demanda de nutrientes pela cultura, o SIR-AI estima a taxa de recuperação do nutriente no solo pela planta (Quadro 7).

Para N, K, Ca, Mg, B, e Si, cuja disponibilidade não é considerada dependente da capacidade tampão dos solos, a taxa de recuperação pela planta diminui com o aumento da dose do nutriente aplicado.

Estimada a taxa de recuperação pela planta, o SIR-AI determina a quantidade de nutriente que deverá ser disponibilizada pelo solo para se obter a produtividade esperada.

Quadro 7 – Equações para estimativa da taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado (TRpl, em %), em função da dose de nutriente aplicada ao solo em kg ha⁻¹ para N, K, B e Si, e em cmol_c dm⁻³ para Ca e Mg

Nutriente	Equações	R ²	Local
N ^{1/}	TRpl = 76,481 - 0,1696 ^{***} (N apl)	0,860	Cam e CdV
K ^{2/}	TRpl = 101,19 - 0,1728 ^{**} (K apl.)	0,985	CdV e Cam
Ca ^{3/}	TRpl = 24,69 - 2,59 ^{***} (Ca apl.)	0,994	CdV
Mg ^{4/}	TRpl = 88,33 - 22,38 ^{***} (Mg apl.)	0,655	CdV
B ^{5/}	TRpl = 8,072 - 2,15 ^{**} (B apl)	0,689	CdV
Si ^{6/}	TRpl = 15,3 - 0,003 (Si apl)	<u>7/</u>	Cam

^{**},^{***} significativo a 1 e 0,1%, pelo teste t. CdV – Casa de vegetação; Cam – campo.

Equações ajustadas com dados de: ^{1/}VAHL (1982); ^{2/}FAGERIA e BARBOSA FILHO (1982); VAHL (1982); LOPES(1991); ^{3/ 4/}BORGES JUNIOR (1997); ^{5/}FERREIRA (1998) ^{6/}KHALID e SILVA, (1978). ^{7/}A significância e o coeficiente de determinação para a equação que estima a taxa de recuperação pela planta para o Si não foram apresentados porque essa equação foi obtida com um número muito pequeno de pontos.

4.8.3. Taxa de recuperação pelo extrator do nutriente aplicado

Para a maioria dos nutrientes, o extrator não consegue recuperar todo o nutriente aplicado ao solo, influenciando a dose de nutriente a ser

aplicado. Deste modo, faz-se necessário utilizar informações a respeito do extrator utilizado (Quadro 8).

Quadro 8 - Equações para estimativa da taxa de recuperação pelo extrator do nutriente aplicado ao solo (n Disp ex, em mg dm⁻³), exceto Ca e Mg (cmol_c dm⁻³), em função da dose de nutriente aplicado ao solo em kg ha⁻¹ para K, B e Si e em cmol_c dm⁻³ para Ca e Mg

Nutriente	Extrator	Equações	R ²
K ¹	Mehlich-1	n Disp ex = - 3,9547 + 0,3861 ^{***} (K apl)	0,984
Ca ²	KCl	n Disp ex = 0,2495 + 0,7661 ^{***} (Ca apl)	0,918
Mg ³	KCl	n Disp ex = 0,2787 + 0,799 ^{***} (Mg apl)	0,906
B ⁴	Água quente	n Disp ex = 0,3256 + 0,2458 ^{***} (B apl)	0,850
Si ⁵	Ácido acético 0,5 mol L ⁻¹	n Disp ex = 0,0899 + 0,00495 ^{***} (Si apl)	0,900

^{***} significativo a 0,1 %, pelo teste t.

Equações ajustadas com dados de: ¹VAHL (1982); PREZOTTI (1985); MORAIS (1999); ²CARVALHO (2000); ⁴RIBEIRO e TUCANANGO (1984); FERREIRA (1998); ⁵KORNDÖRFER et al. (1999a).

No caso do K, a relação entre o recuperado pelo extrator e o aplicado ao solo deveria ser um, em razão de sua ligação eletrostática. Todavia, a recuperação do K adicionado ao solo não tem sido estequiométrica, como o esperado (Quadro 8). A primeira idéia, que surge como explicação para tal fato, é que parte do K seja lixiviado, ou até mesmo, imobilizado pela biomassa do solo. No entanto, mesmo para os trabalhos conduzidos em casa de vegetação em sistema fechado, a recuperação pelo extrator não chega a 100%. MELO (1998) observou que ocorre entrada de K diretamente da solução do solo nas entrecamadas do mineral, na região das pontes de hidrogênio, principalmente em caulinita de baixa cristalinidade, possivelmente o extrator não encontre este K explicando em parte as taxas de recuperação menor que um.

4.8.4. Recomendação de potássio–Mehlich-1. Exemplo de Cálculos

Como as recomendações para N, K, Ca, Mg, B e Si apresentam um esquema comum, será demonstrado um exemplo de procedimentos de cálculos para recomendação de K apenas, comuns aos demais elementos, exceto ao N que será apresentado separadamente.

Neste exemplo, será utilizado o valor de CUB determinado a partir de teores médios de K na planta (Quadro 8). O CUB da MSV e da MSG é determinado de acordo com a equação: $CUB_v = (1/n \text{ MSV})100$ ou $CUB_g = (1/n \text{ MSG})100$ para K.

Informações utilizadas no exemplo de cálculo:

$K_{\text{disp}} = 40 \text{ mg dm}^{-3}$ (Mehlich-1); e

Produtividade esperada = 7.000 kg ha^{-1} de grãos.

a) Determinação da demanda de K pela cultura

A partir de teores de K na MSV e na MSG (Quadro 6), determina-se o CUB na MSV e MSG de acordo com a equação:

$$CUB_v = (1/n \text{ MSV})100$$

$$CUB_v = (1/2,38)100$$

$$CUB_v = 42 \text{ kg kg}^{-1}$$

$$CUB_g = (1/n \text{ MSG})100$$

$$CUB_g = (1/0,19)100$$

$$CUB_g = 526 \text{ kg kg}^{-1}$$

A demanda total de K pela cultura, para produzir 7.000 kg ha^{-1} de grãos, é estimada dividindo-se a quantidade de matéria seca da parte aérea vegetativa (MSV) e de grãos (MSG) pelos respectivos valores de CUB. A produção de MSV é estimada de acordo com a equação:

$$MSV = 883,25 + 0,8803(PG)$$

$$MSV = 883,25 + 0,8803 \times 7.000 = 7.045,3 \text{ kg ha}^{-1}.$$

Determinada a MSV, calcula-se a demanda de K para a MSV, de acordo com o cálculo:

Demanda de K = $7.045,3/42 = 167,75 \text{ kg ha}^{-1}$ de K para a produção de MSV. A MSG é obtida de acordo com a equação:

$$\text{MSG} = \text{PG} - 0,13(\text{PG}) \text{ (Quadro 3)}$$

$$\text{MSG} = 7.000 - 0,13(7.000) = 6.090 \text{ kg ha}^{-1}.$$

Determinada a MSG, calcula-se a demanda de K para a MSG:

$$\text{Demanda de K} = 6.090 \text{ (kg ha}^{-1})/526 \text{ kg kg}^{-1} = 11,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K.}$$

Determinadas as demandas de K para a MSV e para a MSG, calcula-se a demanda total de K para a cultura:

$$\text{Demanda total de K} = \text{Demanda de K MSV} + \text{Demanda de K MSG}$$

$$\text{Demanda total de K} = 11,6 + 167,7 = 179,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K.}$$

b) Quantidade de K a ser disponibilizada pelo solo

Conhecida a demanda de nutriente pela cultura, é necessário estimar a taxa de recuperação, pela planta, do K aplicado ao solo (Quadro 7). Como a dose de K a ser recomendada somente é conhecida no final dos cálculos, estima-se a taxa de recuperação pela planta, de acordo com a demanda estimada da cultura.

$$\text{TRpl} = 101,19 - 0,1728 (\text{Kapl})$$

$$\text{TRpl} = 101,19 - 0,1728 (179,33) = 70 \text{ \%}.$$

Estimada a taxa de recuperação, pela planta, do K aplicado ao solo, calcula-se a quantidade de K que deverá ser disponibilizada no solo (QD_{solo}) para que a planta acumule $179,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de K:

$$\text{QD}_{\text{solo}} = \text{Demanda de K} / (\text{TRpl}/100)$$

$$\text{QD}_{\text{solo}} = 179,3 / (70/100) = 256,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K no solo.}$$

c) Determinação do nível crítico de K do solo para a produtividade esperada (NCR_{prod})

Para calcular o nível crítico de produção (NCR_{prod}), utiliza-se a equação usada para estimar o K recuperado pelo extrator, como variável

da dose aplicada (Quadro 8). O teor de K disponível pelo extrator é estimado de acordo com a equação:

$$K \text{ Disp ex} = - 3,9547 + 0,3861 (QD_{\text{solo}})$$

$$K \text{ Disp ex} = - 3,9547 + 0,3861 (256,18)$$

$$K \text{ Disp ex} = 95,0 \text{ mg dm}^{-3}.$$

O K disponível de acordo com o extrator utilizado (K Disp ex) equivale ao NCR_{prod} . Deste modo, neste exemplo:

$$K \text{ Disp ex} = NCR_{\text{prod}} = 95,0 \text{ mg dm}^{-3} \text{ de K.}$$

Portanto, é necessário adicionar K ao solo para aumentar o K disponível de 40 mg dm^{-3} até o NCR_{prod} ($95,0 \text{ mg dm}^{-3}$).

d) Dose de K a ser recomendada (RK)

A recomendação de K pelo SIR-AI poderá considerar a quantidade de K que entra no sistema com a água de irrigação (K_{agI} , em mg L^{-1}) e a quantidade de K acumulada na espécie utilizada em rotação com o arroz, e que deve retornar ao solo. Como as informações sobre o K reciclado das espécies utilizadas em rotação pela cultura do arroz são escassas, utilizou-se a equação $\hat{Y} = 65 + 0,67 (K_{\text{apl}})$ obtida por SIMONETE (1998), na qual \hat{Y} é o K absorvido pela cultura do arroz em função da dose de K aplicado na cultura de rotação.

Para contabilizar o K da água de irrigação, partiu-se do princípio que a cultura de arroz irrigado durante seu ciclo de desenvolvimento tem um consumo de $15.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água com uma concentração média de 2 mg L^{-1} de K, obtendo-se uma entrada de 30 kg ha^{-1} de K. Deste modo, a recomendação de K é determinada de acordo com a equação:

$$RK = [(NCR_{\text{prod}} - K_{\text{disp}})/(TR_{\text{ex}})] - [(15 \times K_{\text{agI}}) + (65 + 0,67(K_{\text{apl}}))]$$

$$RK = \{[(95,00 - 40)/0,3861] - [(15 \times 2) + (65 + 0,67(0))]\} =$$

$RK = 142,45 - 95 = 47,45 \text{ kg ha}^{-1}$ de K recomendados para produzir 7.000 kg ha^{-1} de grãos.

O NCR_{prod} de K, no exemplo apresentado, comparado aos da 5ª Aproximação (RIBEIRO et al., 1999), Boletim-100 (RAIJ, 1985) e a ROLAS (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 1994), apresenta valores superiores, o que pode ser atribuído ao fato do SIR-AI estar considerando a quantidade de K necessária para a produção de MSV e de MSG, enquanto as recomendações feitas pelas tabelas procuram repor, apenas, os nutrientes exportados pela colheita.

A maioria dos trabalhos não obtém respostas às aplicações de fertilizante potássico, ou estas são obtidas com doses muito pequenas. LOPES (1991), trabalhando num Planossolo, com 40 mg dm^{-3} de K pelo Mehlich-1, utilizando doses de 0 a 75 kg ha^{-1} de K, obteve produtividade acima de 8.000 kg ha^{-1} de grãos. A dose de 25 kg ha^{-1} de K gerou acúmulo de 162 kg de K na matéria seca total, enquanto a soma do adicionado com o disponível no solo não ultrapassou 100 kg ha^{-1} . Neste caso, o autor justificou que a água de irrigação pode ter contribuído com quantidade significativa de K.

Outra característica importante na estimativa da recomendação de K é a lixiviação elevada em condições de inundação. BELTRAME et al. (1992), trabalhando em condições de inundação, obtiveram perdas por lixiviação da ordem de $562 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de K. Considerando-se um período de inundação de 100 dias, as perdas por lixiviação podem chegar a $56,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de K. Mesmo sabendo que a lixiviação é elevada, não foram obtidas informações suficientes para modelar esta característica. Deste modo, para as próximas versões do sistema, a pesquisa deverá ter gerado novas informações, para solos com características variadas permitindo modelar a lixiviação de K, tendo em vista que a lixiviação é sensível às características do solo.

SIMONETE (1998), estudando o efeito residual da adubação potássica na cultura do arroz e do azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) num Planossolo Solódico, não obteve resposta à aplicação de fertilizante potássico, mas concluiu que houve contribuição significativa do K não-

trocável tanto para o azevém quanto para o arroz. A adubação potássica do solo em estudo não contribuiu para aumentar o K trocável após os cultivos. O efeito residual da adubação potássica do azevém, para a cultura do arroz, correspondem a pelo menos 67 % do K aplicado, contido na parte aérea do azevém.

Considerando a dose recomendada para produção de matéria seca total, o SIR-AI recomenda doses superior àquelas apresentadas nas tabelas.

4.8.5 – Boro

A taxa de recuperação de B pela planta apresenta-se negativamente relacionada à dose de B aplicada. Para uma situação simulada, com a produção esperada variando de 2.800 a 10.000 kg ha⁻¹ de grãos, a taxa de recuperação de B pela planta variou de 7,95 a 7,69%. Neste caso, utilizou-se a equação (Quadro 7) desenvolvida por CARVALHO (2000), que estima a taxa de recuperação pela cultura do milho.

Para os níveis críticos de produção estimados obtiveram-se valores variando de 0,5 a 0,89 mg dm⁻³, de acordo com as produtividades de grãos variando de 2.800 a 10.000 kg ha⁻¹. ALVAREZ V. et al. (1999) consideram o valor 0,6 mg dm⁻³ como nível crítico de B para os solos do estado de Minas Gerais, enquanto a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (1994) considera 0,3 mg dm⁻³, pelo extrator água quente, para os solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Entretanto, PAULA et al. (1999) e a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (1994) não apresentam recomendação de B para a cultura do arroz irrigado.

Embora sendo utilizadas informações de outras culturas e solos não específicos para a cultura do arroz irrigado, foram obtidas recomendações de até 2,4 kg ha⁻¹ para solos com B disponível pela água quente de 0,02 mg dm⁻³ e produtividade esperada 8.000 kg ha⁻¹, sendo,

entretanto, necessário que estes valores sejam confirmados em futuras pesquisas.

4.8.6 - Cálcio e Magnésio

A recomendação de calagem para a cultura do arroz irrigado tem sido feita com a finalidade de elevar os teores de Ca e Mg e, eventualmente, corrigir o excesso de alumínio trocável no período que antecede a inundação.

À medida que o solo é inundado, inicia-se o fenômeno denominado autocalagem, elevando o pH nos solos ácidos e diminuindo-o nos alcalinos. Neste trabalho, não se objetivou recomendar calagem para correção do pH. No entanto, procurou-se encontrar equações que possibilitem recomendar Ca e Mg para suprir a demanda nutricional da cultura.

Como a demanda por Ca e Mg é muito baixa, relativamente às quantidades adicionadas pela calagem, optou-se por adicionar Ca e Mg a cada três anos, repondo as quantidades de Ca e Mg exportadas pelas colheitas e pelas perdas por lixiviação.

As taxas de recuperação de Ca e Mg pela planta decrescem à medida que a produção de grãos aumenta. As equações (Quadro 7) para estimativa das taxas de recuperação destes nutrientes pela planta foram desenvolvidas de acordo com os dados do trabalho conduzido em casa de vegetação por BORGES JUNIOR (1997), que avaliou o comportamento do sistema solo-planta em função de doses crescentes de calcário dolomítico. As taxas de recuperação estimadas para produtividades de grãos variando de 2.800 a 10.000 kg ha⁻¹ foram de 24 a 24,5% para Ca e de 81 a 86% para Mg, considerando-se um período de três anos para reaplicação. Como as doses de calcário usadas com o objetivo de calagem são elevadas, as taxas de recuperação de Ca e Mg são baixas. Futuras pesquisas utilizando doses menores de Ca e Mg, em condições de campo, devem ser

conduzidas para estudar as taxas de recuperação de Ca e Mg.

Outro dado importante estimado refere-se às perdas de Ca e Mg que podem ocorrer por lixiviação. Para produções de 2.800 a 10.000 kg ha⁻¹, considerando um período para reaplicação de três anos, foram obtidas equações (Quadro 9) para a estimativa das perdas de Ca e Mg por lixiviação da ordem de 0,57 a 1,06 cmol_c dm⁻³ e 0,25 a 0,33 cmol_c dm⁻³, respectivamente.

Quadro 9 - Perdas por lixiviação (n Lix em cmol_c dm⁻³) de Ca e Mg em função da quantidade de nutriente que deverá ser disponibilizada no solo (QD_{solo}, em cmol_c dm⁻³) para suprir a demanda da planta

Equação	R ²
CaLix = 0,318 + 0,7285 ^{***} (QD _{solo})	0,989
MgLix = 0,2164 + 0,2792 ^{***} (QD _{solo})	0,980

^{***} significativo a 0,1%, pelo teste t.

Equações ajustadas com dados de: BRAUNER & GARCEZ (1982).

Nesta primeira versão do SIR-AI, as equações para estimativa das perdas por lixiviação foram desenvolvidas de acordo com dados que variam com a dose aplicada, não considerando diferenças entre solos. Futuros trabalhos deverão investigar os efeitos de outras variáveis de solo, possibilitando chegar a equações que estimam as perdas por lixiviação de Ca e Mg de acordo com características de cada solo.

O NCR_{prod}, para produções de grãos variando de 2.800 a 10.000 kg ha⁻¹, variou de 0,947 a 1,848 cmol_c dm⁻³ de solo para Ca e de 0,576 a 0,864 cmol_c dm⁻³ para Mg.

As recomendações de Ca e Mg pelo SIR-AI permitem elevar os teores de Ca + Mg para valores que variam de 1,52 a 2,71 cmol_c dm⁻³ de solo, de acordo com a produção de grãos entre 2.800 a 10.000 kg ha⁻¹. Comparando estes valores de Ca + Mg com aqueles considerados como

críticos para a cultura do arroz irrigado, de acordo com ALVAREZ V. et al. (1999) ($2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo), eles estão numa faixa intermediária de produtividade de grãos. Por outro lado, comparando-os àqueles considerados como críticos, para altas produtividades em solos dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, de acordo com a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (1994) ($5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo), o SIR-AI apresenta valores inferiores.

Trabalhos conduzidos no Rio Grande do Sul demonstram que é possível atingir altas produtividades de grãos, acima de 90 % da produção relativa, com valores de Ca + Mg inferiores àqueles considerados como críticos pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (1994). VAHL (1982), trabalhando com arroz irrigado por alagamento, não obteve aumento na produção de grãos em resposta à adubação com Ca e Mg, mesmo em solos com $0,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca e $0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg, os menores teores estudados.

4.8.7 Silício

A presença de altas concentrações de Si em plantas de arroz, em muitos casos, está ligada a boas colheitas, dada a menor incidência de doenças. DATNOFF et al. (1990, 1991), trabalhando com solos orgânicos no sul da Flórida, demonstraram que a fertilização com Si reduziu a incidência de brusone de 31 a 17% e da mancha parda de 32 a 15% em relação à testemunha.

Segundo BARBOSA FILHO et al. (2000), para obter uma recomendação consistente de Si para a cultura do arroz irrigado, em nossas condições, é necessário desenvolver métodos eficientes de análise de Si no solo, na planta e nos fertilizantes, dadas as poucas pesquisas realizadas com este elemento.

Mesmo não tendo dados de pesquisa suficientes para uma recomendação de Si, foi apresentado um conjunto de equações que

permitem chegar a isto. A equação para estimativa da taxa de recuperação pela planta foi desenvolvida a partir dos dados de KHALID & SILVA (1978), que aplicaram doses crescentes de Si ao solo e compararam a extração pela solução de ácido acético $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, com pH ajustado para 3,5, e contendo 50 mg L^{-1} de P como $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, com o Si absorvido por plantas de arroz. Por outro lado, a equação para estimar o Si recuperado pelo extrator em função do aplicado foi desenvolvida a partir dos trabalhos de KORNDÖRFER et al. (1999a, b), que estudaram vários extratores e concluíram que o ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ foi o que melhor ajustou-se para os solos cultivados com arroz em condições de sequeiro.

Com as equações desenvolvidas, obtiveram-se níveis críticos de produção variando de 9,7 a 27,1 mg dm^{-3} de Si no solo, e para produtividade variando de 2.800 a 10.000 kg ha^{-1} de grãos. KORNDÖRFER et al. (1999b) obtiveram nível crítico de produção de 9,8 mg dm^{-3} .

As recomendações de Si, para produções de grãos variando de 2.800 a 10.000 kg ha^{-1} e 6 mg dm^{-3} de Si disponível no solo, foram 318 e de 2.343 kg ha^{-1} , respectivamente. Obviamente que estas doses são de caráter preliminar e devem sofrer mudanças à medida que sejam desenvolvidos novos trabalhos de pesquisas.

4.8.8. Capacidade do solo em fornecer nitrogênio

As recomendações de N para a cultura do arroz irrigado são de difícil determinação, pois dependem do conhecimento de uma série de variáveis que determinam a capacidade do solo em suprir N. Deste modo, a quantidade de N a ser fornecida pelo solo é contabilizada por meio de equações que estimam a quantidade de N potencialmente mineralizável e o nitrogênio inorgânico do solo em função do teor de MO (Quadro 10).

Quadro 10 – Equações para estimativa do N mineralizado (N_{miner}) e N inorgânico (N_{inorg}) do solo, de acordo com o teor de MO (dag kg^{-1}) e tempo de duração do ciclo da cultura (T, em semanas)

Equações	R ²
${}^1/N_{\text{Miner}} = -12,4 + 8,32^{***}(\text{MO}) - 0,758^{***}(\text{MO})^2 + 4,27^{***}(\text{T}) - 0,171^{**}(\text{T})^2 + 0,32^{***}(\text{MO})(\text{T})$	0,750
${}^2/N_{\text{inorg}} = 12,839 + 3,8996^{***} \text{MO}$	0,910

,* significativo a 1 e 0,1%, pelo teste t. Equações ajustadas com dados de: ^{1/} POTTKER & TEDESCO (1979); ^{2/} VAHL(1982).

4.8.9. Recomendação de Nitrogênio. Exemplo de cálculos

Informações necessárias:

Tempo em que a planta absorve N: 14 semanas;

Teor de MO solo: $5,0 \text{ dag kg}^{-1}$;

Produtividade esperada: 7.000 kg ha^{-1} de grãos;

Cultura anterior: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.).

a) Determinação da demanda de N pela planta

O CUB para a MSV e MSG apresenta-se variável com o teor de N na MSV e MSG (Quadro 6). A determinação do CUB é feita de acordo com a equação:

$$\text{CUB}_v = (1/n \text{ MSV})100$$

$$\text{CUB}_v = (1/0,66)100$$

$$\text{CUB}_v = 152 \text{ kg kg}^{-1}.$$

$$\text{CUB}_g = (1/n \text{ MSG})100$$

$$\text{CUB}_g = (1/1,31)100$$

$$\text{CUB}_g = 76,34 \text{ kg kg}^{-1}.$$

Para estimar a demanda total de N imobilizado pela cultura, para produzir 7.000 kg ha⁻¹ de grãos, dividem-se MSV e MSG pelos respectivos valores de CUB. A produtividade de MSV é estimada de acordo com a equação: $MSV = 883,25 + 0,8803(PG)$

$$MSV = 883,25 + 0,8803 \times (7.000) = 7.045,35 \text{ kg ha}^{-1}.$$

Demanda de N = $7.045,35/152 = 46,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de N para a produção de MSV.

A quantidade de MSG é obtida de acordo com a equação:

$$MSG = PG - 0,13(PG)$$

$$MSG = 7.000 - 0,13 (7.000)$$

$$MSG = 6.090 \text{ kg ha}^{-1}.$$

Assim, a demanda de N = $6.090/76,34 \text{ kg kg}^{-1} = 79,8 \text{ kg ha}^{-1}$, para a produção da MSG.

$$\text{Demanda total de N pela planta} = 79,8 + 46,4 = 126,2 \text{ kg ha}^{-1}.$$

b) Quantidade de N a ser disponibilizada pelo solo (QD_{solo})

Para determinar QD_{solo} , estima-se a taxa de recuperação, pela planta, do N adicionado ao solo. Como o valor de TRpl depende da quantidade de N a ser aplicada, ajustou-se uma equação por meio da qual é estimada a recuperação pela planta em função da dose de N aplicado. Para obtenção desta equação, utilizaram-se dados de arroz de sequeiro, com irrigação por aspersão, em experimento de campo conduzido por FAGERIA et al. (1995) e dados de VAHL (1982) (Quadro 7). Como a recomendação de N ainda não é conhecida, estima-se a TRpl de acordo com a demanda de N da cultura. A TRpl é estimada de acordo com a equação: $TRpl = 76,481 - 0,1696 (N \text{ apl})$

$$TRpl = 76,418 - 0,1696(126,2) = 55\%.$$

Estimada a taxa de recuperação pela planta, determina-se a QD_{solo} , para que a cultura absorva e acumule $126,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, de acordo com a equação: $QN_{\text{solo}} = \text{Demanda de N}/(TRpl/100)$

$$QN_{\text{solo}} = 126,2/(55/100) = 229,45 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N.}$$

c) Determinação do N fornecido pelo solo ($N_{F_{solo}}$)

Para estimar o N fornecido pelo solo, por meio da mineralização da matéria orgânica (MO) do solo, utiliza-se uma equação de regressão múltipla em que o N mineralizado em condições anaeróbias é estimado de acordo com o teor de MO do solo (dag kg^{-1}) e o tempo de incubação em meio anaeróbio (T, em semanas) (Quadro 10). O N mineralizado da MO (kg ha^{-1}), durante o ciclo da cultura é estimado por meio da equação: $N_{\text{Miner}} = - 12,4 + 8,32(\text{MO}) - 0,758 (\text{MO})^2 + 4,27(\text{T}) - 0,171(\text{T})^2 + 0,32 (\text{MO})(\text{T})$

$$N_{\text{Miner}} = - 12,4 + 8,32(5) - 0,758 (5)^2 + 4,27(14) - 0,171(14)^2 + 0,32 (5)(14)$$

$$N_{\text{Miner}} = 58,91 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N.}$$

Para estimar o N inorgânico do solo (nitrato + amônio), em função do teor de MO (Quadro 10), no período anterior à implantação da cultura, utilizaram-se dados do trabalho de VHAL (1982), de acordo com a equação:

$$N_{\text{inorg}} = 12,839 + 3,8996 (\text{MO})$$

$$N_{\text{inorg}} = 12,839 + 3,8996 (5)$$

$$N_{\text{inorg}} = 32,34 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N.}$$

d) Determinação da quantidade de nitrogênio fornecido pela decomposição dos restos culturais

Num sistema intensivo de cultivo, preconiza-se a utilização da área com uma cultura de inverno. A utilização dessas áreas com culturas de inverno, gramínea ou leguminosa possibilita manter o solo coberto e obter algum retorno, com o pastoreio de animais, além de reciclar N que poderá ser utilizado pela cultura seguinte.

Como são escassos os dados de N reciclado por plantas de cobertura (NRC), para a cultura do arroz irrigado, utilizou-se o N acumulado na cultura do azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) como variável da produção de matéria seca para estimar a contribuição de N,

advinda das plantas de cobertura. Entretanto, futuras pesquisas devem verificar o quanto de N acumulado na cultura do azevém, ou de outras espécies utilizadas em rotação, é recuperado pela cultura do arroz.

Neste trabalho, estimou-se que 1/3 do N acumulado pela cultura do azevém é recuperado pelo arroz, de modo que, para um acúmulo de 9.000 kg ha⁻¹ de matéria seca (MS) pelo azevém, têm-se o NRC estimado de acordo com a equação:

$$\text{NRC} = (3,3944 + 0,0109 (\text{MS}))/3$$

$$\text{NRC} = (3,3944 + 0,0109 (9.000))/3$$

$$\text{NRC} = 101,49/3$$

$$\text{NRC} = 34,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N.}$$

Conhecendo as quantidades estimadas de N que é mineralizado por incubação anaeróbia num período equivalente ao tempo em que a cultura o absorve (T = 14 semanas), o N inorgânico do solo e o N dos restos culturais, obtém-se a quantidade de N fornecida pelo solo (NF_{solo}), de acordo com a equação:

$$\text{NF}_{\text{solo}} = \text{N}_{\text{miner}} + \text{N}_{\text{inorg}} + \text{NRC}$$

$$\text{NF}_{\text{solo}} = 58,91 + 32,34 + 34,00$$

$$\text{NF}_{\text{solo}} = 125,25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N fornecida pelo solo.}$$

Para essas condições, estimou-se anteriormente que a quantidade de N a ser disponibilizada pelo solo seria de 229,45 kg ha⁻¹. Portanto, é necessário aumentar o N disponível do solo de 125,25 para 229,45 kg ha⁻¹.

d) Recomendação de nitrogênio (RN)

Determinada a QD_{solo} e o NF_{solo}, calcula-se a recomendação de N de acordo com a equação: RN = QD_{solo} - NF_{solo}

RN = 229,45 - 125,25 = 104,2 kg ha⁻¹ de N, a ser recomendados para produzir 7.000 kg ha⁻¹ de grãos.

4.9. Equações para estimar os níveis críticos de produção e a recomendação de nutrientes

A partir das equações que compõem o sistema, desenvolveram-se equações múltiplas que estimam os níveis críticos de produção (Quadro 11) e equações múltiplas que estimam as doses de nutrientes a serem recomendadas (Quadro 12). Essas equações não apresentam coeficiente de determinação porque foram obtidas por procedimentos matemáticos na seqüência inversa do procedimento inicial de cálculo, que originou a recomendação de nutriente. Para obtenção dessas equações, partiu-se da equação que estima a taxa de recuperação pelo extrator e, na seqüência, as variáveis foram substituídas pela equação correspondente. Após ter adicionado todas as variáveis necessárias, utilizaram-se procedimentos matemáticos para obter equações com poucas variáveis.

Os níveis críticos de produção resultantes dessas equações variam com a produção de grãos esperada, para todos os elementos e com o Prem para os elementos P, S e Zn, cujas disponibilidades são consideradas dependentes da capacidade tampão dos solos (Quadro 11).

As recomendações de P, S e Zn pelo SIR-AI são obtidas por meio de equações que variam com a produtividade e a capacidade tampão dos solos. Essas equações utilizam o Prem para estimar a capacidade tampão dos solos e são válidas para intervalos de valores do Prem (Quadros 11 e 12).

O SIR-AI recomenda K variando com a produtividade de grãos, com a concentração de K na água de irrigação e o K que retorna dos restos da cultura de rotação.

Quadro 11 – Equações para estimativa do nível crítico de produção dos nutrientes no solo (mg dm^{-3}) em função da produção de grãos esperada (kg ha^{-1}), do valor do Prem (mg L^{-1})

Nutriente	Extrator	Valores de Prem	Equações
P	M-1	≤ 13	$\text{NCR}_{\text{prod}} = 0,3044395 + 0,0009805(\text{PG})$
P	M-1	$> 13 \text{ e } < 50$	$\text{NCR}_{\text{prod}} = \{[- 0,0097 + 0,00137(\text{Prem}) - 0,0000307(\text{PG}) + 0,000004346(\text{PG})(\text{Prem}) + 0,0000582 (\text{Prem})^2 + 0,00000019(\text{PG})(\text{Prem})^2] / [(0,000551 + 0,004492(\text{Prem}))]$
P	M-1	≥ 50	$\text{NCR}_{\text{prod}} = 0,907391 + 0,0029384(\text{PG})$
P	Res	≤ 10	$\text{NCR}_{\text{prod}} = 0,3603236 + 0,0011349(\text{PG})$
P	Res	$\geq 10 \text{ e } \leq 50$	$\text{NCR}_{\text{prod}} = \{[(0,0066 + 0,0000209(\text{PG}) + 0,00115(\text{Prem}) + 0,0000036(\text{PG})(\text{Prem}) + 0,0000314(\text{Prem})^2 + 0,0000001(\text{PG})(\text{Prem})^2) / [0,000551 + 0,004492(\text{Prem})]]$
P	Res	≥ 50	$\text{NCR}_{\text{prod}} = 0,6333527 + 0,0020026(\text{PG})$
K	M-1		$\text{NCR}_{\text{prod}} = [- 3,95 + \{[8,12 + 0,0087 (\text{PG})\}]/[0,9759 - 0,000039(\text{PG})]$
Ca	KCl		$\text{NCR}_{\text{prod}} = [0,4931 + [0,0282 + 0,0000294(\text{PG})]]/[0,2464 - 0,0000005(\text{PG})]$
Mg	KCl		$\text{NCR}_{\text{prod}} = \{0,5018 + [0,0193 + 0,0000298(\text{PG})]\}/[0,879 - 0,0000068(\text{PG})]$
S	FM	$\geq 0 \text{ e } \leq 60$	$\text{NCR}_{\text{prod}} = \{[0,1408 + 0,0000254(\text{PG}) + 0,002356 (\text{Prem}) + 0,0000042(\text{PG}) (\text{Prem}) + 0,0000507 (\text{Prem})^2 + 0,0000000912(\text{PG}) (\text{Prem})^2] / [0,18036 + 0,00227(\text{Prem}) - 0,0000005(\text{PG}) - 0,0000000129(\text{PG}) (\text{Prem})]\}$
B	AQ		$\text{NCR}_{\text{prod}} = \{ 0,3256 + [0,0059 + 0,000008(\text{PG})\}]/[0,08046 - 0,0000003 (\text{PG})]$
Zn	M-1	≤ 20	$\text{NCR}_{\text{prod}} = 0,083423 + 0,000102(\text{PG})$
Zn	M-1	$\geq 20 \text{ e } \leq 50$	$\text{NCR}_{\text{prod}} = [0,0000199 + 0,00000001544(\text{PG}) + 0,0001759(\text{Prem}) + 0,0000002(\text{PG})(\text{Prem}) + 0,000002(\text{Prem})^2 + 0,00000000324 (\text{Prem})^2 (\text{PG})] / [0,03 + 0,0011(\text{Prem})]$
Zn	M-1	≥ 50	$\text{NCR}_{\text{prod}} = 0,162 + 0,000213(\text{PG})$
Si	AA		$\text{NCR}_{\text{prod}} = \{0,0899 + [0,277596 + 0,0003831 (\text{PG})\}]/[0,1521588 - 0,0000011 (\text{PG})]$

M-1 – Mehlich-1; Prem – fósforo remanescente; Res – Resina; AA - Ácido Acético 0,5 mol L⁻¹; AQ – água quente; FM – Fosfato monocálcico em HOAc; NCR_{prod} – nível crítico de produção; PG – produtividade de grãos.

Quadro 12 – Equações para estimar a recomendação de nutrientes (kg ha⁻¹) em função do teor do nutriente no solo (mg dm⁻³ para P, S, K, Zn e B; cmol_c dm⁻³ para Ca e Mg), Prem (mg L⁻¹), MO (dag kg⁻¹) e produção de grãos de arroz irrigado (kg ha⁻¹)

Nutr.	Extra tor	Valor de Prem	Modelo
N		< 10 (MO)	$RNu = \{ [5,83 + 0,01721(PG)] / 0,7549 - 0,000029(PG) \} - \{ [0,439 + 12,22(MO) - 0,758 (MO)^2 + 4,27(T) - 0,171(T)^2 + 0,32 (MO)(T)] + [34,0] \}$
P	M-1	≤ 13	$RNu = (2,745 + 0,0116087(PG) - 9,0157842(n \text{ Disp}))$
P	M-1	> 13 e < 50	$RNu = (- 0,0097 + 0,00137(Prem) - 0,0000307(PG) + 0,0000044346(PG)(Prem) + 0,0000582(Prem)^2 + 0,00000019(PG)(Prem)^2 - 0,000551 (n \text{ Disp}) - 0,004492(n \text{ Disp}) (Prem)) / (-0,0000476 - 0,00038(Prem) + 0,0000682(Prem)^2)$
P	M-1	≥ 50	$RNu = 1,3489387 + 0,0043683(PG) - 1,4866123(n \text{ Disp})$
P	Res	≤ 10	$RNu = 3,3176096 + 0,0104495(PG) - 7,1147418 (n \text{ Disp})$
P	Res	> 10 e < 50	$RNu = \{ [(0,0066 + 0,0000209(PG) + 0,00115(Prem) + 0,0000036(PG)(Prem) + 0,0000314(Prem)^2 + 0,0000001(PG)(Prem)^2) - 0,00055(n \text{ Disp}) - 0,0045(Prem)(n \text{ Disp})] \} / \{ [(0,0000322 + 0,00027(Prem) + 0,0000367(Prem)^2)] \}$
P	Res	≥ 50	$RNu = 6,28 + 0,0198571(PG) - 0,9932972(n \text{ Disp})$
S	FM	0 a 60	$RNu = \{ [0,01408 + 0,0000254(PG) + 0,002366 (Prem) + 0,00000424(PG) (Prem) + 0,0000507 (Prem)^2 + 0,0000000912(PG)(Prem)^2 - 0,1803645 (n \text{ Disp}) - 0,0022723(Prem)(n \text{ Disp}) + 0,0000005(PG)(n \text{ Disp}) + 0,000000013(PG)(Prem)(n \text{ Disp})] \} / \{ [0,0036073 + 0,00055955(Prem) - 0,0000000104(PG) - 0,000000001696(PG) (Prem) + 0,0000063786(Prem)^2 - 0,00000000003624(PG) (Prem)^2] \}$
Zn	M-1	≤ 20	$RNu = 0,444341 + 0,0005376(PG) - 5,2631579(n \text{ Disp})$
Zn	M-1	≥ 20 e ≤ 50	$RNu = [0,0000199 + 0,000.000.01544(PG) + 0,0001759(Prem) + 0,0000002 (PG) (Prem) + 0,000002(Prem)^2 + 0,00000000324 (Prem)^2 (PG) - 0,03(n \text{ Disp}) - 0,0011(n \text{ Disp})(Prem)] / [0,0046 + 0,000224(Prem) + 0,000002 (Prem)^2]$
Zn	M-1	≥ 50	$RNu = 0,664 + 0,000871(PG) - 4,0865 (n \text{ Disp})$
K	M-1		$RNu = [- 10,23 + [[21,03 + 0,0225 (PG)]] / [0,9759 - 0,000039 (PG)]] - 2,59(n \text{ Disp}) - \{ [15 \times KagI] + [65 + 0,672(K \text{ apl})] \}$
Ca	KCl		$RNu = \{ 0,57 + [0,037 + 0,0000348 (PG)] \} / [0,2464 - 0,0000005 (PG)] - 1,3(n \text{ Disp})$
Mg	KCl		$RNu = \{ 0,628 + [0,024 + 0,000037(PG)] \} / [0,88 - 0,0000066 (PG)] - 1,252(n \text{ Disp})$
B	ÁQ		$RNu = [0,662 + \{ [0,012 + 0,0000162 (PG)] \} / [0,08046 - 0,0000003 (PG)]] - 2,034(n \text{ Disp})$
Si	AA		$RNu = \{ 9,081 + [28,04 + 0,0386969(PG)] \} / [0,1521588 - 0,0000011(PG)] - 101(n \text{ Disp})$

M-1 – Mehlich-1; Prem – fósforo remanescente; Res – Resina; AA - ácido Acético 0,5 mol L⁻¹; AQ – água quente; FM – fosfato monocálcico em HOAc; PG – produtividade de grãos; Rn – recomendação de nutrientes; NRC – nitrogênio oriundo dos restos culturais; n Disp – nutriente disponível; KagI – potássio na água de irrigação em mg dm⁻³; K apl – dose de potássio aplicada ao solo.

O SIR-AI recomenda N de acordo com a produtividade de grãos esperada, com o teor de MO, com o tempo médio em que a cultura permanece absorvendo N e o N que retorna das plantas de cobertura do solo (NRC). Nesta versão, o NRC é um valor fixo que fica armazenado no SIR-AI, e futuras pesquisas devem gerar informações que permitam modelar o N reciclado pelas diferentes espécies utilizadas em rotação com o arroz irrigado.

As recomendações de N pelo SIR-AI, somente, serão confiáveis para solos que apresentem teores de matéria orgânica menores que 10 dag kg⁻¹ de solo (Quadro 12).

4.10. Comparação entre as recomendações de nutrientes pelo SIR-AI, ROLAS, 5^a Aproximação e Boletim 100

Os valores recomendados pelo SIR-AI, comparados àqueles recomendados pela Rolas (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 1994), 5^a Aproximação (RIBEIRO et al, 1999) e Boletim 100 (RAIJ, 1985) (Quadro 13), mostram sua sensibilidade às variações de características do solo. As recomendações de N pelo SIR-AI diminuem à medida que o teor de MO do solo aumenta até 10 dag kg⁻¹, e aumentam de acordo com a produtividade de grãos esperada. As recomendações de N, utilizando-se o SIR-AI (Quadro 13), apresentam valores maiores do que aqueles recomendados pelas diferentes tabelas (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 1994, RIBEIRO et al, 1999 e RAIJ, 1985), o que pode ser atribuído ao fato das recomendações de N utilizando-se o SIR-AI, neste caso, serem feitas para produtividade esperada de 7.000 kg ha⁻¹, enquanto as recomendações que utilizam as tabelas não apresentam produtividade esperada ou, simplesmente, estabelecem produtividades a serem atingidas entre 5.000 e 6.000 kg ha⁻¹ de grãos.

Quadro 13 – Comparação das recomendações de nutrientes para três solos, do SIR-AI com a ROLAS, 5ª aproximação e Boletim 100, para produtividade de 7.000 kg ha⁻¹

Caract.	SIR-AI	ROLAS	5ª aprox	Boletim100	
Solo a					
-----Recomendação kg ha ⁻¹ -----					
Argila	24 (30,94)*				
pH H ₂ O 1:1	4,7				
MO %	2,6				
N		130	80	90	
P M-1 (mg dm ⁻³)	5,0	26	17,46	26,2	
P res (mg dm ⁻³)	-				
K (mg dm ⁻³)	47,0	27	30,62	34,45	53,6
S (mg dm ⁻³)	31,5	0	-	20-30	10
Zn (mg dm ⁻³)	0,9	2,10	-	2-4	3
B (mg dm ⁻³)	0,6	1	-	-	-
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,1				
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	8,8				
----- Recomendação em cmol _c dm ⁻³ -----					
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4,7	0	-	-	-
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,0	0	-	-	-
Solo b					
-----Recomendação kg ha ⁻¹ -----					
Prem	11				
pH H ₂ O 1:1	4,8				
MO dag kg ⁻¹	4,0				
N		114	80	90	
P M-1 (mg dm ⁻³)	3	57	27	39,3	
P res (mg dm ⁻³)	0,5	68			34,9
K (mg dm ⁻³)	34	61	33,2	58,08	
S (mg dm ⁻³)	0,85	44		20-30	
----- Recomendação em cmol _c dm ⁻³ -----					
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,65	0,88			
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,26	0,64			
Solo c					
-----Recomendação kg ha ⁻¹ -----					
Prem	42				
pH H ₂ O 1:1	5,0				
MO %	1,3				
N		148	90	90	
P M-1 (mg dm ⁻³)	4,0	27	17,46	39,3	
P res (mg dm ⁻³)	1,0	31			34,9
K (mg dm ⁻³)	74	0	16,6	16,6	
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,32				
----- Recomendação em cmol _c dm ⁻³ -----					
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,37	1,24	-	-	-
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,26	0,64	-	-	-

*Prem estimado a partir da equação Prem = 55,349 - 1,185 (AR) + 0,007(AR)², R² = 0,808

As recomendações de P, segundo o SIR-AI (Quadro 13), apresentam valores próximos ou intermediários àqueles recomendados pela ROLAS (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 1994) e 5ª Aproximação (RIBEIRO et al., 1999), para solos com valores do Prem médios a altos, e valores superiores para solos com valor do Prem baixo.

As recomendações de K apresentam valores que estão de acordo com àqueles das tabelas, embora quando o K disponível no solo é muito baixo as recomendações utilizando o SIR-AI são elevadas (Figura 2A).

As recomendações de B, S e Zn apresentam valores próximos àqueles recomendados nas tabelas, em que geralmente recomendam-se valores fixos para estes nutrientes. Deste modo, o SIR-AI tem a vantagem de apresentar sensibilidade à variação do teor disponível no solo, da produção de grãos esperada e da capacidade tampão dos solos para S e Zn.

Para as recomendações de Ca e Mg, o SIR-AI preconiza valores menores que aqueles considerados como críticos ($5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para a produção de arroz irrigado por inundação, de acordo com a Rolas (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 1994). Mas, aproxima-se dos $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, considerados como adequados, de acordo com a 5ª Aproximação (RIBEIRO et al., 1999). Em futuras pesquisas com Ca e Mg, devem ser geradas informações que permitam recomendar Ca e Mg de acordo com as necessidades da cultura. As recomendações de Ca e Mg apresentam-se variáveis com a produção de grãos esperada e o teor de Ca e Mg no solo.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

A busca de ferramentas mais eficientes para a recomendação de fertilizantes motivou o desenvolvimento de um sistema de interpretação de análise de solo e recomendação de nutrientes para a cultura do arroz irrigado (SIR-AI), com o auxílio de equações matemáticas.

Desenvolveu-se um fluxograma comum aos nutrientes com características semelhantes. Esse fluxograma orienta a execução de cálculos comuns aos nutrientes de cada grupo, em três etapas. Na primeira etapa, utilizam-se informações relativas à concentração dos elementos nos diferentes órgãos da planta, a produtividade de grãos e as características da capacidade tampão dos solo, estimando-se o coeficiente de utilização biológica (CUB) e a demanda de nutrientes pela cultura. Na segunda etapa, determina-se a quantidade de nutrientes a ser disponibilizada pelo solo; e, finalmente, na terceira etapa, utilizam-se informações relativas ao extrator para definir o nível crítico de produção e a dose de nutriente a ser recomendada.

No caso do P, a dose recomendada poderá ser determinada com base em dois critérios diferentes. No primeiro critério recomenda-se P para restituir a quantidade relativa à produtividade de grãos, esgotando, teoricamente, a reserva de P do solo. No segundo critério, propõe-se a

restituição de P para atender à demanda da cultura, a fim de atingir a produtividade de grãos desejada, colocando uma dose suplementar para manter a sustentabilidade, equivalente à exportação de P pelos grãos.

Os resultados apresentados e discutidos permitem estabelecer as seguintes conclusões:

Há grande discordância nas prioridades de pesquisa entre as diversas regiões do País, dificultando a montagem de um banco de dados de ampla utilização.

Há necessidade da realização de trabalhos específicos no sentido de aperfeiçoar o sistema. As lacunas que devem ser preenchidas com maior urgência abrangem: estudo de K, S, Si e micronutrientes em geral no solo e na planta; comportamento de Ca e Mg como fertilizantes; relação entre a taxa de recuperação pela planta para o nutriente aplicado a lanço e o nutriente aplicado na linha de semeadura; estabelecimento da magnitude da lixiviação de K, Ca e Mg para as diferentes classes de solo, pois deve haver correlação entre a lixiviação e capacidade tampão dos solos, e o estabelecimento das concentrações adequadas de nutrientes para as diferentes cultivares de arroz irrigado por inundação.

O SIR-AI apresenta vantagem sobre as tabelas, ao possibilitar a interpretação dos resultados de análise de solo considerando níveis críticos variáveis com a produtividade desejada, enquanto as tabelas recomendam nutrientes por faixas de disponibilidade no solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. 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: SBCS; UFV, DPS, 1996. p.615-646.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Níveis críticos de enxofre em solos de cerrado para o crescimento de mudas de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19, 1983, Curitiba. Resumos. Campinas, 1983. p.85-86.
- ALVAREZ V., V.H., RIBEIRO, A.C., Calagem. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 5^a. Aproximação. CFSEMG, Editora UFV. Viçosa-MG. 1999. p.43-60.
- ALVAREZ V., V.H., NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARAES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 5^a aproximação. Viçosa, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999. p.25-32.
- BACON, P. E. & HEENAN, D. P. Nitrogen Budgets for Intensive Rice Growing in Southern Australia. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Laguna, Philippines. Efficiency of Nitrogen Fertilizers for Rice. Manila, Philippines, 1987. p.89 – 95.

- BAO, L. potassium fertilization important for high yield rice in China. Better Crops international, Atlanta, 1:6-9, 1985.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; PRABHU, A. S.; DATNOFF, L. E. & KORNDÖRFER, G. H. Importância do silício para a cultura do arroz. Informações Agronômicas, 89:1-8, 2000.
- BARRA, M. E. P., Capacidade tampão de fósforo e crescimento de duas variedades de feijão (*Phaseolus_vulgaris* L.) em latossolos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 74p. (Tese de Mestrado)
- BATAGLIA, O. C. & RAIJ, B. van Eficiência de extratores na determinação de boro em solos. Pesq. Agropec. Bras., 14:25-31, 1990.
- BATES, T.E. Factors affecting critical nutrient concentration in plants and their evaluation: A. Review. Soil. Sci., 112:116-130, 1971.
- BELTRAME, L. F. S.; IOCHPE, B.; da ROSA, S. M & de MIRANDA, T. L. G. Lixiviação de íons em solo cultivado com arroz irrigado por inundação. R. Bras. Ci. Solo, 16 :206-208, 1992.
- BLACK, C.A. Fertilizer placement. In: Soil fertility evaluation and control., 1993. p.573-645.
- BORGES JUNIOR, M. Calagem e disponibilidade de ferro e manganês para o arroz em solos inundados. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 74p. (Tese de Mestrado)
- BRAUNER, J. L. & GARCEZ, J. R. B. Lixiviação de potássio cálcio e magnésio em solos do Rio Grande do Sul submetidos à calagem, avaliada em condições de laboratório. R. Bras. Ci. Solo, 6:89-93, 1982.
- BROWN, A.L.; QUICK, J. & EDDINGGS, J.L. A comparison of analytical methods for soil zinc. Proc. Soil Sci. Soc. Am, 35:105-107, 1970.
- CAMPELLO, M. R. Avaliação da reversibilidade de fósforo não – lábil para lábil em solos com diferentes características químicas, físicas e mineralógicas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 66p. (Tese de Mestrado)
- CARVALHO, F. T. Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do milho. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 93p. (Tese de Mestrado)

- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Recomendação de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3. Ed. Passo Fundo, SBCS – Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.
- COSTA J. P. V., Fluxo difusivo de fósforo e de potássio em latossolos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 67p. (Tese de Mestrado)
- COUTO, C.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. R. Bras. Ci. Solo, 16:79-87, 1992
- COUTO, C., NOVAIS, R.F., BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Resposta do eucalipto à aplicação de zinco em amostras de solos de cerrado. R. Árvore, Viçosa, 9:134-148, 1985.
- DA ROS, C. O., AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 20:135-140, 1996.
- DATNOFF, L. E.; RAID, R. N.; SNYDER, G. H.; JONES D. B. Evolution of calcium silicate slag and nitrogen on brown spot, neck rot, sheath blight development on rice. Biological and Cultural Tests for Control of Plant Diseases. St. Paul, 5:65. 1990.
- DATNOFF, L. E.; RAID, R. N.; SNYDER, G. H.; JONES D. B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. Plant Disease, St. Paul, 75:729-732. 1991.
- DELAZARI, P.C. Disponibilidade de fósforo em solos do Espírito Santo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1979. 44p. (Tese de Mestrado)
- DE DATTA, S. K. Advances in soil fertility research and nitrogen fertilizer management for lowland rice. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Laguna, Philippines. Efficiency of Nitrogen Fertilizers for Rice. Manila, Philippines, 1987. p.27 – 41.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N. & HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. Pesq. Agropec. Bras., 20:761-773, 1985.
- FAGERIA, N. K. Calibração de análise de fósforo para arroz em casa de vegetação. Pesq. Agropec. Bras., 25:579-586, 1990.

- FAGERIA, N. K. & BARBOSA FILHO, M. P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de nitrogênio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 17:1-9, 1982.
- FAGERIA, N. K.; SANTANA, E. P.; CASTRO, E. M. de & MORAES, O. P. Resposta diferencial de genótipos de arroz de sequeiro à fertilidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 19 :261-267, 1995.
- FERREIRA, G.B. Interferências de matéria orgânica e ferro na dosagem de boro com azometina-h e comparação de extratores para boro disponível no solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 97p. (Tese de Mestrado)
- FIORE, M. de F. Fixação biológica de nitrogênio associada com cultivares de arroz inundado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1989. 115p. (Tese de Mestrado)
- FONSECA, D.M. Níveis críticos de fósforo em amostras de solos para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1987. 146p. (Tese de Mestrado)
- FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & BORGES, A.C. Disponibilidade do enxofre em três extratores químicos em Latossolos de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 6:226-230, 1982.
- FREIRE, F.M. Disponibilidade de fósforo e de enxofre para a cultura do milho em três solos de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 114p. (Tese de Doutorado)
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; FRANÇA, G.E.; SANTOS, H.L. & SANTOS, P.R.R.S. Adubação fosfatada para a cultura da soja (*Glycine max* (L) Merrill) baseada em diferentes extratores químicos e no “fator-capacidade”. *R. Bras. Ci. Solo*, 3:105-111, 1979.
- FURLANI, P.R., BATAGLIA, O. C. & FURLANI, A. M. C. Composição química inorgânica de três cultivares de arroz. *Bragantia*, 36:109-115, 1977.
- GARGANTINI, H. & BLANCO, H. G. Absorção de nutrientes pela cultura do arroz. *Bragantia*, 24:515-528, 1965.
- GUSS, A. Exigência de fósforo para estabelecimentos de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais em solos com diferentes características físicas e químicas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 74p. (Tese de Mestrado)

- GUTTERRES, J.F. & VOLKWEISS, S.J. Levantamento dos teores de boro em solos do Rio Grande do Sul. *Agronomia Sulriograndense*, 23:217-228, 1987.
- HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20:9:1021-1030, 1985.
- KHALID, R. A. & SILVA, J. A. Residual effects of calcium silicate in tropical soils: II. Biological extraction of residual soil silicon. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, v. 42:94-97, 1978.
- KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H. & MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:101-106, 1999a.
- KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES, V. A.; CORRÊA, G. F. & SNYDER, G. H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:635-641, 1999b.
- LEÃO, R. M. A. Efeitos do fósforo e do zinco no comportamento do arroz de sequeiro em Latossolo vermelho escuro sob vegetação de cerrado. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1990. 124p. (Tese de Mestrado)
- LOPES, A.S. Solos sob “cerrado”, características, propriedades e manejo. Piracicaba, Instituto Potassa & Fosfato (EUA) e Instituto da Potassa & Fosfato, 1983. 162p.
- LOPES, G. I. S., VOLKWEISS, S. J. & TEDESCO, M. J. Acumulação de matéria seca e absorção de nutrientes pela cultura do arroz irrigado. *Lav. Arrozera*, Porto Alegre, 46:3-7, 1993.
- LOPES, G. I. S. Eficiência da adubação potássica e distribuição radicular do arroz irrigado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991. 96p. (Tese de Mestrado)
- MACHADO, M. O.; GOMES, A. da S.; SILVEIRA Jr., P. Efeito da aplicação de molibdênio na resposta do arroz irrigado a doses crescentes de nitrogênio. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 11., Pelotas, 1981. Anais. Pelotas, UEPAE. 1981. p.191-193
- MARTINS, M.A. Nível crítico de magnésio para soja, em casa de vegetação. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 81p. (Tese de Mestrado)

- MELLO, J. W. V. de; RIBEIRO, A. C.; NOVAIS, R.F. & ALVAREZ V., V.H. Concentrações críticas de fósforo em plantas de arroz cultivadas em solos inundados. R. Bras. Ci. Solo, 17:211-216, 1993.
- MELLO, J. W. V. Dinâmica de fósforo, ferro e manganês e disponibilidade de fósforo para arroz em solos inundados. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 212p. (Tese de Doutorado)
- MELO, V.F., Potássio e magnésio em minerais de solos e relação entre propriedades da caulinita com formas não-trocáveis destes nutrientes. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 205p. (Tese de Doutorado)
- MENEZES, A. A. Disponibilidade de zinco, para milho, pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DPTA. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 52p. (Tese de Mestrado)
- MORGHAN, J.T.; REGO, T.J. & BURSH, R.J. Labeled nitrogen fertilizer research with urea in the semi-arid tropics. III Field studies on alfisol. Plant Soil, 82:193-203, 1984a.
- MORGHAN, J.T.; REGO, T.J.; BURSH, R.J.; VLEK, P.L.G.; BURFORD, J.R.; SINGH, S. & SAHRAWAT, K.L. Labeled nitrogen fertilizer research with urea in the semi-arid tropics. II. Field studies on a Vertisol. Plant Soil, 80:21-23, 1984b.
- MORAIS, E.R.C. Formas de potássio em solos do Estado de Minas Gerais e sua disponibilidade para plantas de milho. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 85p. (Tese de Mestrado)
- MOURA FILHO, G. Disponibilidade de fósforo em amostras de solos de várzeas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1990. 76p. (Tese de Mestrado)
- MUNIZ, R.F.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nível Crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo no solo. R. Bras. Ci. Solo, 9:237-243, 1985.
- NACHTIGALL, G. R. & VAHL, L. C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região sul do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 15:37-42, 1991.
- NACIMENTO, J. A. L. & MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. II – Disponibilidade. R. Bras. Ci. Solo, 4:135-138, 1980.

- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e Planta em condições tropicais. Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. 1999. 399p.
- NOVELINO, J.O. Disponibilidade de fósforo ao longo do tempo em solos altamente intemperizados avaliada por extratores químicos e crescimento vegetal. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 70p. (Tese de Doutorado)
- OLSON, R.A. Fate of tagged nitrogen fertilizer applied to irrigated corn. Soil Sc. Soc. Am. J., 44:514-517, 1980.
- PAULA, M. B. de; CARVALHO, J. G. de; SOARES, A. & NOGUEIRA, F. D. Avaliação da fertilidade de um solo de várzea (Glei Húmico) para a cultura do arroz. R. Bras. Ci. Solo, 15:49-51, 1991.
- PAULA, M.B., BARBOSA FILHO, M. & CARVALHO, J.G. Sugestões de adubação para grandes culturas anuais ou perenes: Arroz. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARAES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 5ª aproximação. Viçosa, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999. p.281-284.
- PEREIRA, J.B.M. Disponibilidade de S para plantas de milho em solos do Estado de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 55p. (Tese de Mestrado)
- PREZZOTI, L.C. Nível crítico de Potássio no solo para a produção de mudas de Eucalipto. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1985. 45p. (Tese de Mestrado)
- POTTKER, D. & TEDESCO, M. J. Efeito do tipo e tempo de incubação sobre a mineralização da matéria orgânica e nitrogênio total em solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 3:20-24, 1979.
- RAIJ, B. VAN. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1985. 107p. (Boletim técnico, 100)
- RAIJ, B. VAN. Avaliação da fertilidade do solo. Instituto Internacional da Potassa & Fosfato, Piracicaba, 1981. 142p.

- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. & URQUIAGA, S.C. Fate of fertilizer nitrogen in soil plant system with emphasis on the tropics. In: International Atomic Energy Agency. Agro Chemicals fate in food and the environmental. Viena, 1982. p.277-290.
- RIBEIRO, A.C. & TUCUNANGO SARABIA, W.A. Avaliação de extratores para zinco e boro disponíveis em Latossolo do Triângulo Mineiro. R. Bras. Ci. Solo, 8:85-89, 1984.
- RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 5^a. Aproximação. CFSEMG, Ed. UFV. Viçosa. 1999. 359p.
- ROLIM, M. V. Fósforo disponível pelos extratores Mehlich-1, resina em esfera e em lamina, em amostras de solos submetidas a diferentes graus de moagem. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 73p. (Tese de Mestrado)
- SANTOS, A. R., Caracterização mineralógica e avaliação da reserva mineral de alguns nutrientes, em solos sob eucalipto, da região do vale do rio doce. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 97p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, J. R.T. Solos do Acre: Caracterização física, química e mineralógica e adsorção de fosfato. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 117p. (Tese de Doutorado)
- SILVA, J.T.A. Relações entre características do solo que refletem a capacidade-tampão de fósforo e o nível crítico para sorgo em dez Latossolos de Minas Gerais, em casa de vegetação. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1990. 85p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, D. J. Necessidade de Calagem e Diferentes relações Ca:Mg Para a Produção de Mudas de Eucalipto. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 53p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, R. J. S. Metodologia de avaliação da disponibilidade de fósforo em solos alagados. Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 1996. 57p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, F. R. & FERREYRA, H. Boro total e solúvel e suas relações com alguns atributos dos solos do estado do Ceará. R. Bras. Ci. Solo, 22:595-602, 1998.

- SIMONETE, M. A. Efeito residual da adubação potássica do azevém sobre o arroz subsequente em plantio direto. Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 1998. 49p. (Tese de Mestrado)
- SOARES, E.; LIMA, L. A. de Efeito da relação entre teores trocáveis de Ca e Mg do solo na absorção de K por plantas de Centeio. *Revista de Agricultura*, 58:315–330, 1983.
- UCHÔA, S. C. P. Dinâmica de Formas lábeis e não lábeis de enxofre no solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 55p. (Tese de Doutorado)
- URQUIAGA, S.C. Dinâmica do Nitrogênio no sistema solo-planta na cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), cultivar carioca. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1982. 118p. (Tese de Doutorado)
- VAHL, L.C. Disponibilidade de nutrientes para o arroz irrigado por alagamento em solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1982. 140p. (Tese de Mestrado)
- VALADARES, J. M. A. S. Zinco em solos do estado de São Paulo. II - Zinco solúvel em cinco extratores químicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 17., Manaus, 1979. Anais. Manaus, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1979. p.17.
- VIANA, A. C. T. Efetividade agronômica de alguns fertilizantes fosfatados para a cultura do arroz. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1978. 57p. (Tese de Mestrado)
- VIÉGAS, R. A. Dinâmica de fontes de fósforo aplicadas a solos com diferentes níveis de acidez. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 67p. (Tese de Mestrado)
- VILLANI, E. M. A. Fluxo difusivo de fósforo influenciado por fontes e por tempo de contato do fósforo com o solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 57p. (Tese de Mestrado)
- ZHU, Z. L. ¹⁵N Balance Studies of Fertilizers Nitrogen Applied to Flooded Rice Fields in China. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Laguna, Philippines. Efficiency of Nitrogen Fertilizers for Rice. Manila, Philippines, 1987. p.163 –167.

7. APENDICE

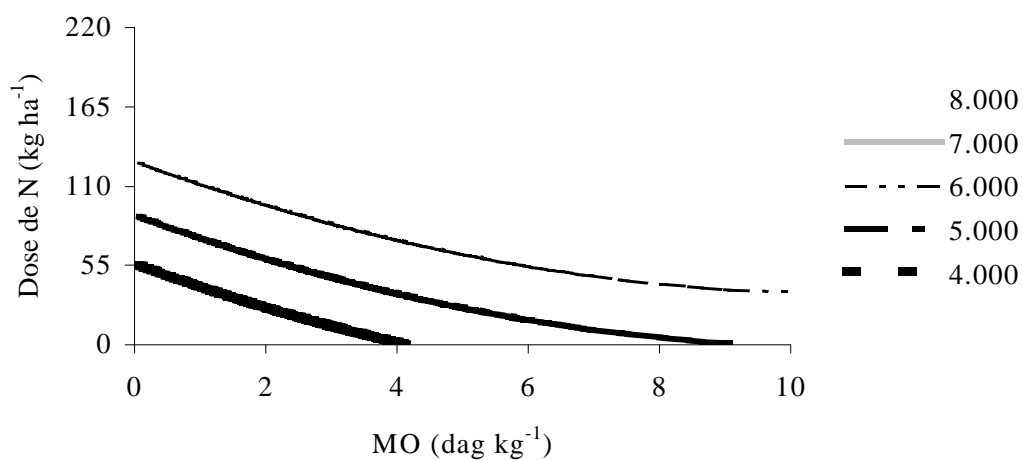


Figura 1A. Dose de N recomendada em função do teor de MO do solo variando com a produção de grãos esperada

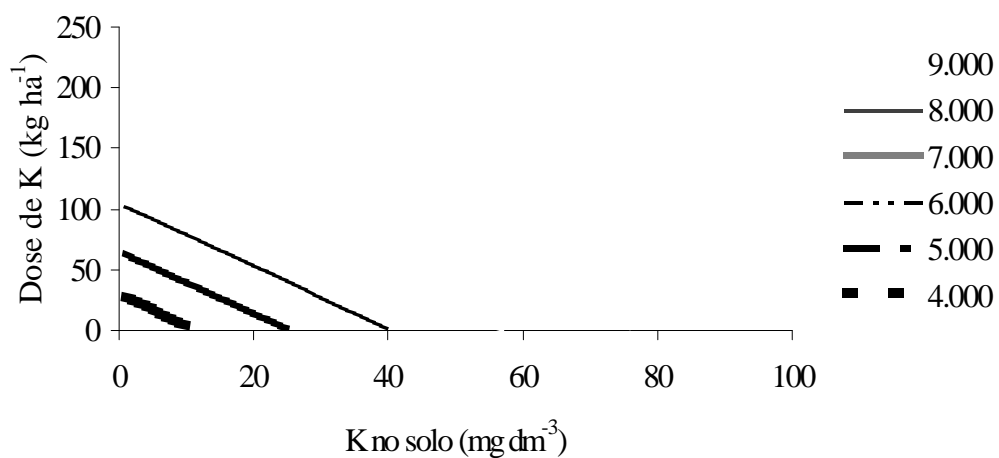


Figura 2A. Dose de K recomendada em função do teor de K disponível no solo pelo extrator Mehlich-1, variando com a produção de grãos esperada

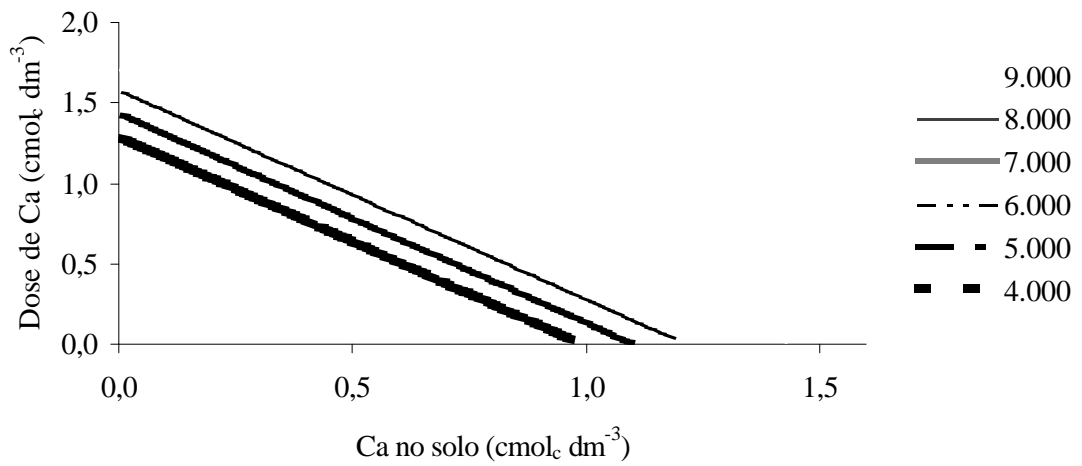


Figura 3A. Dose de Ca recomendada em função do teor de Ca trocável no solo pelo extrator KCl, variando com a produção de grãos esperada

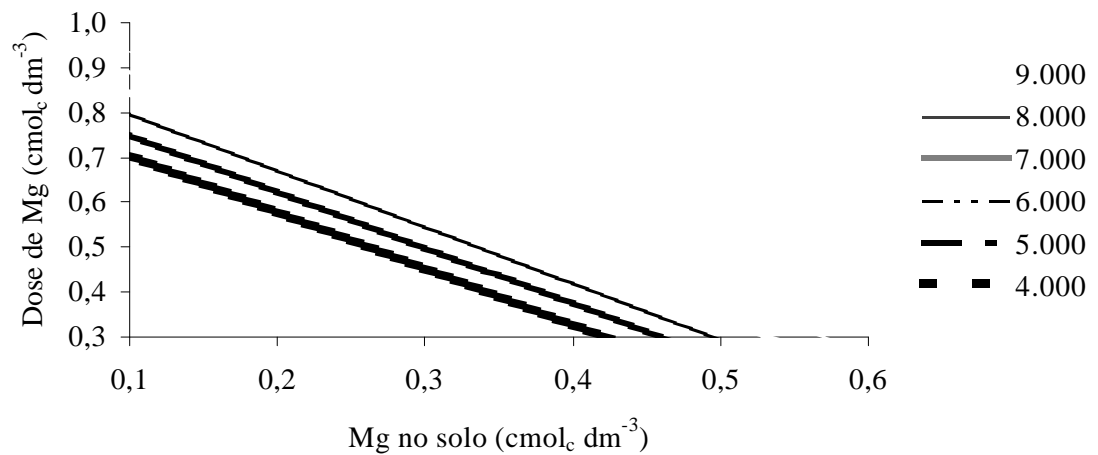


Figura 4A. Dose de Mg recomendada em função do teor de Mg trocável no solo pelo extrator KCl, variando com a produção de grãos esperada

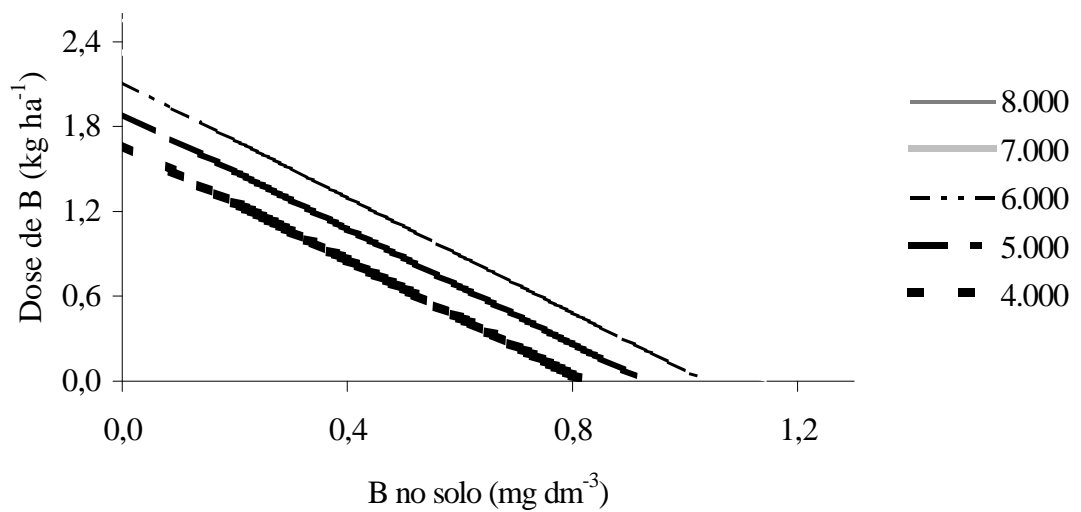


Figura 5A. Dose de B recomendada em Função do teor de B disponível no solo pelo extrator Mehlich-1, variando com a produção de grãos esperada