

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

**DRIS PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO
NUTRICIONAL DO ARROZ IRRIGADO NO RIO
GRANDE DO SUL**

RAQUEL HERMANN PÖTTER GUINDANI
(Dissertação de mestrado)

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

**DRIS PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO
NUTRICIONAL DO ARROZ IRRIGADO NO RIO
GRANDE DO SUL**

RAQUEL HERMANN PÖTTER GUINDANI
Engenheira Agrônoma (UFRGS)

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

Porto Alegre (RS), Brasil
Dezembro – 2007

Dedico:

Ao meu querido esposo Rodrigo, pelo apoio, compreensão e amor.

Aos meus pais Valter José e Nara, por terem me mostrado que o conhecimento é a maior das riquezas, e por todo o carinho.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Ibanor Anghinoni, pela orientação, ensinamentos, confiança, paciência, dedicação e pela serenidade nos momentos difíceis.

Em especial ao Pesquisador Gilmar Ribeiro Nachtigall, pela grande colaboração que teve neste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo companheirismo, amizade, e pelos conhecimentos compartilhados.

Ao Instituto Riograndense do Arroz (IRGA), pelo apoio financeiro, técnico e estrutural, e pelo importante papel que desempenha na pesquisa orizícola do Rio Grande do Sul.

À Microquímica Indústrias Químicas Ltda, pelo apoio financeiro.

Aos técnicos extensionistas do IRGA, que muito colaboraram na coleta de amostras para esse trabalho.

Aos Engenheiros Agrônomos do IRGA: Valmir Menezes, Sílvio Genro Junior e Rodrigo Schoenfeld, pelo apoio em diversas fases desse trabalho.

A todos os produtores que permitiram a coleta de material em suas lavouras, colaborando para a realização dessa pesquisa.

Ao meu pai, Valter José Pötter, por ter permitido meu afastamento do trabalho para que eu pudesse me dedicar aos estudos.

Às minhas irmãs Gabriela, Isadora e Mariana, pela amizade e carinho.

Aos funcionários da Estância Guatambu, que cumpriram tarefas extras em decorrência da minha ausência.

Ao colega Leandro Bortolon, pelas dicas, sugestões, e pelo interesse nesse trabalho.

Ao Médico Veterinário Alexandre Motta de Souza, pelo auxílio nas análises estatísticas iniciais do banco de dados.

DRIS PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO ARROZ IRRIGADO NO RIO GRANDE DO SUL^{1/}

Autor: Raquel Hermann Pötter Guindani

Orientador: Prof. Ibanor Anghinoni

RESUMO

O alto custo das adubações, a importância da nutrição mineral sobre a produtividade e o nível de tecnologia adotado nas lavouras de arroz irrigado no RS tornam relevante a utilização de técnicas de avaliação do estado nutricional, como a diagnose foliar. Dentre os métodos para diagnóstico nutricional das plantas, destaca-se o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), que utiliza o conceito do balanço de nutrientes. O objetivo deste trabalho foi estabelecer uma norma de referência DRIS e padrões nutricionais para a cultura do arroz irrigado no RS. Foram utilizados resultados de análise foliar e de produtividade de 356 amostras de lavouras da safra 2005/06 e de 103 amostras de experimentos da safra 2006/07. As amostragens foram feitas no estádio R2-R3 nas duas safras e também no estádio V6 na safra 2006/07. A população de referência utilizada foi a que atingiu produtividade $\geq 9.000 \text{ kg ha}^{-1}$, tendo sido esta determinada pela melhor correlação entre o Índice de Balanço Nutricional (IBN) e a produtividade. O cálculo das funções e dos índices DRIS baseou-se no método original de Beaufils (1973). Os resultados indicaram que: a concentração dos nutrientes apresentou correlação positiva com os respectivos índices DRIS, nos dois bancos de dados analisados; o IBN apresentou correlação negativa com a produtividade nos dois estádios de desenvolvimento avaliados; a determinação do ponto de equilíbrio DRIS permitiu o estabelecimento de um padrão nutricional para o arroz irrigado no RS; o método DRIS, utilizando normas específicas para o Rio Grande do Sul, foi eficiente no diagnóstico nutricional do arroz irrigado; e que foi possível utilizar o DRIS para diagnose foliar do arroz irrigado também em estádio precoce de desenvolvimento. Na prática, esses resultados constituem-se na possibilidade de utilização do DRIS como forma de interpretação da análise de tecido foliar do arroz irrigado nos dois estádios de desenvolvimento avaliados, viabilizando a diagnose foliar da cultura.

^{1/} Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS). (92 p.) Dezembro, 2007. Trabalho realizado com apoio financeiro do IRGA.

DRIS FOR EVALUATION OF THE NUTRITIONAL STATUS OF THE FLOODED RICE IN THE RIO GRANDE DO SUL STATE ^{1/}

Autor: Raquel Hermann Pötter Guindani

Orientador: Prof. Ibanor Anghinoni

ABSTRACT

The high cost of fertilizers, the importance of the mineral nutrition on the productivity and the level of technology used by rice producers in the Rio Grande do Sul (RS) state, Brazil, are giving relevance to the use of evaluation techniques for the nutritional status, such as foliar diagnosis. Among the methods for nutritional diagnosis of the plants, the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) is distinguished, by using the concept of the balance of nutrients. The objective of this study was to establish a DRIS reference norm and nutritional standards for the flooded rice in the RS. Results of foliar analysis and grain productivity of 356 farm locations in the 2005/06 crop year, and of 103 samples of field experiments in the 2006/07 crop year were used. The foliar samples were collected at the R2-R3 stage in the two harvests, and also at the V6 stage in the 2006/07 harvest. The reference population used was the one that reached productivity $\geq 9.000 \text{ kg ha}^{-1}$, which was determined by the best relation between the Index of Nutritional Balance (IBN) and the productivity. The calculation of the DRIS functions and indexes was based on the original method of Beaufils (1973). The results indicated that: the concentration of the nutrients presented positive correlation with respective DRIS indexes, in the two analyzed data bases; the IBN presented negative relation with the productivity for the two evaluated plant development stages; the determination of the DRIS "equilibrium point" allowed the establishment of a nutritional standard for the flooded rice in the RS; the DRIS method, using specific norms for the Rio Grande do Sul, was efficient for the nutritional diagnosis of the flooded rice; and that was possible to use the DRIS for foliar diagnosis of the flooded rice also at early development stage. In a practical way, these results show the possibility of the DRIS utilization as a way of tissue analysis interpretation in flooded rice, in both evaluated development stages, making possible the foliar diagnosis in this crop. ¹

^{1/} Master Dissertation in Soil Science, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS), Brazil. (92 p.) December, 2007. Research supported by IRGA.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 O arroz irrigado no RS.....	4
2.2 Caracterização dos solos de várzea do RS.....	4
2.3 Diagnose Foliar.....	7
2.4 Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS).....	9
2.4.1 Conceituação e caracterização.....	9
2.4.2 Normas DRIS.....	12
2.4.3 Cálculo dos índices DRIS.....	13
2.4.4 Aplicação do DRIS em culturas anuais.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1 Abrangência do trabalho.....	17
3.2 Procedimentos de coleta.....	18
3.2.1 Tecido vegetal.....	18
3.2.2 Rendimento de grãos do arroz.....	19
3.3 Análises e determinações.....	19
3.4 Formação do banco de dados.....	20
3.5 Aplicação do método DRIS.....	21
3.5.1 Escolha da ordem da razão de nutrientes.....	21
3.5.2 Norma.....	22
3.5.3 Cálculo dos índices DRIS.....	23
3.5.4 Índice de Balanço Nutricional (IBN).....	24
3.6 Avaliação do estado nutricional.....	24
3.7 Análise estatística.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1 DRIS para avaliação do estado nutricional do arroz irrigado no estádio R2-R3 a partir de lavouras comerciais.....	26
4.1.1 Banco de dados.....	26
4.1.2 Estabelecimento das normas DRIS.....	32
4.1.3 Índices DRIS.....	37
4.1.4 Estado nutricional do arroz irrigado no Rio Grande do Sul.....	43
4.2 Validação das normas DRIS com o banco de dados coletado no estádio R2-R3 dos experimentos da safra 2006/07.....	50
4.2.1 Banco de dados.....	50
4.2.2 Validação das normas.....	53
4.3 DRIS para avaliação do estado nutricional no estágio V6 do arroz irrigado a partir de áreas experimentais.....	55
4.3.1 Banco de dados.....	55
4.3.2 Estabelecimento das normas.....	61
4.3.3 Índices DRIS.....	66
4.3.4 Estado nutricional do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, estádio V6, safra 2006/07.....	71
4.4 Possibilidade de uso de uma norma única para diferentes épocas de amostragem de tecido de arroz irrigado.....	74
4.5 Relação entre absorção de nutrientes, biomassa da parte aérea e produtividade de grãos.....	75
5. CONCLUSÕES.....	78

	Página
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
7. APÊNDICES.....	90

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Estatísticas descritivas das concentrações de macro e de micronutrientes no tecido foliar de arroz irrigado em lavouras do Rio Grande do Sul, safra 2005/06, estádio R2-R3.....	29
2. Relação entre as concentrações de macro e de micronutrientes nas folhas e a produtividade de grãos de lavouras de arroz irrigado do Rio Grande do Sul, safra 2005/06.....	30
3. Número de amostras, produtividade média de grãos, concentração média de macro e de micronutrientes no tecido foliar de lavouras de arroz irrigado de diferentes regiões arroyzeiras do Rio Grande do Sul coletadas no estádio R2-R3, safra 2005/06.....	31
4. Número de amostras e concentração foliar dos nutrientes por classe de produtividade em lavouras de arroz irrigado do Rio Grande do Sul, safra 2005/06.....	33
5. Norma DRIS para a cultura do arroz irrigado (estádio R2-R3) no Rio Grande do Sul, safra 2005/06.....	35
6. Ponto de equilíbrio nutricional DRIS e faixas de suficiência nutricional, segundo diferentes fontes, e teor crítico de deficiência para macro e micronutrientes na cultura do arroz, estádio R2-R3, safra 2005/06.....	41
7. Relação entre produtividade de grãos do arroz irrigado e índices DRIS no Rio Grande do Sul, calculados pelo método de Beaufils (1973), safra 2005/06, estádio R2-R3.....	42
8. Índice de Balanço Nutricional (IBN) por classe de produtividade de grãos do arroz irrigado em lavouras do Rio Grande do Sul, safra 2005/06, estádio R2-R3.....	44
9. Distribuição de frequência das amostras de folhas bandeira de lavouras de arroz irrigado do Rio Grande do Sul (safra 2005/06) em classes nutricionais definidas pelo método DRIS (Beaufils, 1973).....	46
10. Nutrientes mais limitantes à produtividade do arroz irrigado no Rio Grande do Sul (% em relação à população), conforme o método DRIS (Beaufils, 1973), safra 2005/06.....	47
11. Estatísticas descritivas das concentrações de macro e de micronutrientes no tecido foliar de arroz irrigado em áreas experimentais do Rio Grande do Sul, safra 2006/07, estádio R2-R3.....	50

12. Número de amostras, produtividade média de grãos, concentração média de macro e de micronutrientes no tecido foliar de arroz irrigado em áreas experimentais de diferentes regiões arroyeiras do Rio Grande do Sul, coletadas no estádio R2-R3, safra 2006/07.....	52
13. Estatísticas descritivas das concentrações de macro e de micronutrientes no tecido foliar de arroz irrigado no estádio V6 em áreas experimentais do Rio Grande do Sul, safra 2006/07.....	58
14. Número de amostras, produtividade média de grãos, concentração média de macro e de micronutrientes no tecido foliar de arroz irrigado coletado no estádio V6 em áreas experimentais do Rio Grande do Sul, safra 2006/07.....	60
15. Número de amostras e concentração foliar dos nutrientes por classe de produtividade em áreas experimentais de arroz irrigado do Rio Grande do Sul, estádio V6, safra 2006/07.....	62
16. Norma DRIS para a cultura do arroz irrigado (estádio V6) no Rio Grande do Sul, safra 2006/07.....	65
17. Ponto de equilíbrio nutricional DRIS para macro e micronutrientes no estádio V6 do arroz irrigado, em áreas experimentais da safra 2006/07.	69
18. Relação entre produtividade do arroz irrigado no estádio V6 e índices DRIS em áreas experimentais do Rio Grande do Sul na safra 2006/07, calculados pelo método Beaufils (1973),.....	70
19. Índice de Balanço Nutricional (IBN) por classe de produtividade de grãos de arroz irrigado do Rio Grande do Sul no estádio V6, safra 2006/07.....	72
20. Distribuição de frequência das amostras foliares coletadas no estádio V6 em áreas experimentais de arroz irrigado do Rio Grande do Sul (safra 2006/07) em classes nutricionais definidas pelo método DRIS (Beaufils, 1973).....	73
21. Nutrientes mais limitantes à produtividade do arroz irrigado no estádio V6, no Rio Grande do Sul (% em relação à população), conforme método DRIS (Beaufils, 1973), na safra 2006/07.....	73
22. Correlações entre teor absorvido de nutrientes e matéria seca, entre concentração e absorção de nutrientes e entre produtividade e absorção de nutrientes, nos estádios de perfilhamento (V6) e florescimento (R2-R3) do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, safra 2006/07.....	77

RELAÇÃO DE FIGURAS

1. Distribuição de frequência da concentração de macronutrientes nas folhas bandeira no estádio R2-R3 de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, safra 2005/06 (356 amostras).....	27
2. Distribuição de frequência da concentração de micronutrientes nas folhas bandeira no estádio R2-R3 de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, safra 2005/06 (356 amostras).....	28
3. Relação entre o Índice de Balanço Nutricional (IBN) e a produtividade de grãos para diferentes faixas de produtividade da sub-população de referência: $\geq 7.650 \text{ kg ha}^{-1}$ (A); $\geq 8.100 \text{ kg ha}^{-1}$ (B); $\geq 8.550 \text{ kg ha}^{-1}$ (C); $\geq 9.000 \text{ kg ha}^{-1}$ (D) para a cultura do arroz irrigado em áreas de lavoura do Rio Grande do Sul, safra 2005/06, estádio R2-R3.....	34
4. Relação entre os índices DRIS e a concentração de macronutrientes nas folhas de lavouras de arroz irrigado, estádio R2-R3, safra 2005/06.	39
5. Relação entre os índices DRIS e a concentração de micronutrientes nas folhas de lavouras de arroz irrigado, estádio R2-R3, safra 2005/06.	40
6. Relação entre a produtividade de grãos de arroz irrigado e os índices DRIS (Beaufils, 1973) para enxofre (A), cobre (B), ferro (C) e manganês (D) no Rio Grande do Sul, safra 2005/06, estádio R2-R3.....	43
7. Relação entre a produtividade de grãos de arroz irrigado e o Índice de Balanço Nutricional (IBN) em experimentos da safra 2006/07, estádio R2-R3, no Rio Grande do Sul.....	54
8. Distribuição de frequência da concentração de macronutrientes nas folhas V6 de arroz irrigado do Rio Grande do Sul, safra 2006/07 (103 amostras).....	56
9. Distribuição de frequência da concentração de micronutrientes nas folhas V6 de arroz irrigado do Rio Grande do Sul, safra 2006/07 (103 amostras).....	57
10. Relação entre o Índice de Balanço Nutricional (IBN) e a produtividade de grãos da sub-população de referência: $\geq 8.100 \text{ kg ha}^{-1}$ (A), $\geq 8.450 \text{ kg ha}^{-1}$ (B), $\geq 9.000 \text{ kg ha}^{-1}$ (C) e $\geq 9.450 \text{ kg ha}^{-1}$ (D) no estádio V6 da cultura do arroz irrigado em áreas experimentais no Rio Grande do Sul, safra 2006/07.....	64
11. Relação entre os índices DRIS e a concentração de macronutrientes nas folhas de arroz irrigado no estádio V6, em áreas experimentais da safra 2006/07.....	67

12. Relação entre os índices DRIS e a concentração de micronutrientes nas folhas de arroz irrigado no estádio V6, em áreas experimentais da safra 2006/07.....	68
13. Relação entre a produtividade de grãos de arroz irrigado no estádio V6 e os índices DRIS (Beaufils, 1973) para magnésio (A), zinco (B), ferro (C) e manganês (D) em áreas experimentais do Rio Grande do Sul, safra 2006/07.....	71
14. Relação entre a produtividade de grãos de arroz irrigado no estádio V6 e o Índice de Balanço Nutricional (IBN) no Rio Grande do Sul, safra 2006/07, calculado a partir da norma das lavouras da safra 2005/06.....	75

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Localização, área cultivada, número de amostras e tipo de solo das lavouras e experimentos amostrados nas 6 regiões arrozeiras do RS.....	91
2. Localização, tipo e características de fertilidade do solo, e tratamentos em experimentos de adubação na safra 2006/07.....	92
3. Protocolo de coleta de folhas para diagnose foliar.....	93

1. INTRODUÇÃO

O arroz é uma cultura de grande importância sócio-econômica para o Rio Grande do Sul. No ano agrícola 2006/2007 foram cultivados 928.781 ha com essa cultura no Estado, com produção total de 6.337.388,95 toneladas (IRGA, 2007a), representando 55,94% da produção total do Brasil (Conab, 2007). Embora a produtividade média das lavouras do RS nessa última safra tenha sido de 6.830 kg ha⁻¹ (IRGA, 2007b), atualmente 55% da área cultivada no RS atinge produtividade acima de 7.000 kg ha⁻¹ (IRGA, 2007b), sendo que muitos produtores já obtêm rendimentos de 10.000 kg ha⁻¹. Isso se deve, em grande parte, às tecnologias preconizadas e difundidas pelos projetos de transferência de tecnologia desenvolvidos pelo IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz, que objetivam, por meio de práticas de manejo adequadas, entre elas a nutrição do arroz irrigado, que seja atingida a produtividade de 10.000 kg ha⁻¹ nas lavouras, com simultânea redução do custo por unidade de produto (Menezes et al., 2004).

Devido a esses projetos e a outros implementados por órgãos de pesquisa e de desenvolvimento rural do RS, a demanda por conhecimento na área de nutrição do arroz tem crescido muito nos últimos anos, havendo a necessidade de maior número de informações para suprir a carência dos orizicultores e técnicos no que se refere ao equilíbrio nutricional das plantas e aos indicadores desse equilíbrio.

Constata-se que houve um aumento da quantidade de fertilizantes utilizada na cultura do arroz nos últimos anos no RS. O Censo da Lavoura Orizícola (IRGA, 2006) indica a utilização média de 183 kg ha⁻¹ de nutrientes na safra 2004/05, sendo 78 kg ha⁻¹ de N, 46 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 59 kg ha⁻¹ de K₂O, valores bastante superiores aos da safra 1999/00, quando o total utilizado era de 131 kg ha⁻¹, sendo 45 kg ha⁻¹ de N, 42 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 44 kg ha⁻¹ de K₂O (Anghinoni et al., 2004). No entanto, embora se observe um aumento na produtividade média das lavouras da safra 2002/2003 para a safra 2006/2007,

não existem parâmetros que permitam uma satisfatória avaliação do equilíbrio nutricional das plantas de arroz e da necessidade de maior ou menor utilização de um ou mais nutrientes essenciais. Percebe-se, inclusive, que os orizicultores têm essa demanda por maiores dados referentes à nutrição da

cultura do arroz, pois muitas vezes é difícil isolar fatores e avaliar se a adição de nitrogênio, fósforo e potássio ao sistema está sendo satisfatória, deficiente ou excedente, e se há a necessidade de utilizar os demais macronutrientes (cálcio, magnésio e enxofre) e micronutrientes na lavoura de arroz.

Assim, o alto custo da adubação (U\$ 130,07 ha⁻¹), que representa 8,65% dos U\$ 1.503,84 ha⁻¹ que compõe o custo de produção médio ponderado do arroz irrigado (IRGA, 2007c), a importância da nutrição mineral sobre a produtividade da cultura e o nível de tecnologia adotado nas lavouras tornam altamente recomendável a utilização de técnicas de avaliação do estado nutricional, como a diagnose foliar.

A possibilidade de realizar a diagnose foliar do arroz em uma época antecipada, permitindo ajustes na nutrição da cultura na própria safra em curso (por exemplo, com amostragens ainda no período vegetativo), também representa um importante papel no manejo da adubação dessa cultura.

Normalmente, a interpretação dos resultados de análise foliar é feita pelo nível crítico ou pelas faixas de suficiência, considerando apenas a concentração do nutriente na matéria seca, e não o equilíbrio entre nutrientes. Por esses métodos citados, não é possível identificar quais são os nutrientes mais limitantes na amostra. Já o método de avaliação do estado nutricional das plantas denominado Sistema Integrado de Recomendação e Diagnose (DRIS) permite identificar quais os nutrientes mais limitantes, pois considera as relações entre eles e compara essas relações com um padrão de alta produtividade, contribuindo, dessa forma, para um diagnóstico mais preciso do estado nutricional da cultura avaliada.

Não existem trabalhos sobre diagnose foliar de arroz irrigado realizados no Brasil. As tabelas de faixas de suficiência utilizadas no RS baseiam-se em dados obtidos em outros países, não sendo, dessa forma, calibradas para a realidade do Estado. Também não foi encontrada nenhuma referência na literatura nacional e estrangeira sobre a existência de normas DRIS para a cultura do arroz irrigado.

Dessa forma, a diagnose foliar da cultura do arroz no RS e sua avaliação e interpretação pelo método DRIS apresentam aplicações práticas que vêm a atender demandas dos produtores e técnicos do setor,

proporcionando uma possibilidade de melhor entendimento da nutrição da planta e otimizando o manejo da adubação do arroz irrigado.

O objetivo desse trabalho, então, é estabelecer uma norma de referência DRIS e padrões nutricionais para a cultura do arroz irrigado nas diferentes regiões arrozeiras do Rio Grande do Sul.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O arroz irrigado no RS

O arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) é cultivado no Rio Grande do Sul há mais de 150 anos, sendo de grande importância para o Estado, visto que é responsável, segundo a CONAB (2007), por 27,4% da produção gaúcha de grãos.

O registro mais antigo de uma colheita de arroz no Estado é de 1829, em Torres, Litoral Norte do RS (OSCIP, 2006). Segundo essa fonte, o arroz de sequeiro pode ter sido introduzido no Brasil pelos portugueses, uma vez que esse cereal já era cultivado na então Província do Maranhão, no século XVIII. No Rio Grande do Sul, o início do cultivo está relacionado à imigração alemã, na região de Torres. O plantio do arroz de banhado, sistema de cultivo precursor do irrigado, começou em Cachoeira do Sul, na Depressão Central, por volta de 1870.

A orizicultura praticada hoje no RS caracteriza-se pela predominância do cultivo irrigado extensivo, dentro de um sistema empresarial, exercido principalmente por grandes e médios produtores, com elevada utilização de mão-de-obra assalariada, mecanização, terras arrendadas, uso de alta tecnologia e uma forte organização político-setorial (Azambuja et al., 2004).

Segundo o Censo da Lavoura de Arroz Irrigado do Rio Grande do Sul (IRGA, 2006), existem no RS 9.159 lavouras de arroz, distribuídas em seis regiões do Estado, segundo regionalização utilizada pelo IRGA: Fronteira Oeste, Campanha, Depressão Central, Planície Costeira Externa à Lagoa dos Patos, Planície Costeira Interna à Lagoa dos Patos e Sul. Destas, a que apresenta maior área de cultivo e produção de arroz irrigado é a Fronteira Oeste, com 26,2% da área, seguida da Campanha, com 16,8%.

2.2 Caracterização dos solos de várzea do RS

O arroz no RS é irrigado pelo sistema de inundação, sendo, portanto, cultivado em solos de várzea, que por seu relevo plano permitem a realização desse tipo de irrigação. O RS possui aproximadamente 5.400.000 ha de várzeas, sendo que diversas classes de solos ocorrem nessas áreas. Esses

solos apresentam uma característica em comum: a formação em condições variadas de deficiência de drenagem (Pinto et al., 2004).

Os solos de várzea desenvolveram-se a partir de sedimentos fluviolacustres, lagunares e marinhos das planícies costeiras e de sedimentos aluvionares oriundos de rochas sedimentares, ígneas e metamórficas das depressões, planaltos e serras do RS, portanto, de materiais de origem muito distintos (Pinto et al., 2004).

Nas áreas de cultivo de arroz os solos dominantes são Planossolos, Chernossolos, Gleissolos e Neossolos, entre outros, sendo que os Planossolos são os que ocorrem em maior extensão. Esses solos permanecem saturados com água durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (100-120 dias), passando, portanto, por ciclos de redução-oxidação, e sofrendo todas as reações decorrentes desses processos, como redução dos óxidos de ferro e de manganês com solubilização de Fe^{2+} e Mn^{2+} e liberação do fósforo, elevação do pH nos solos ácidos até próximo da neutralidade, redução e desaparecimento do nitrato, acúmulo de amônio, aumento da solubilidade de alguns nutrientes e elevação da condutividade elétrica (Sousa et al., 2006).

Os Gleissolos são solos pouco profundos, muito mal drenados, ocorrendo geralmente associados aos Planossolos (Streck et al., 2002). Apresentam capacidade de troca de cátions (CTC) média a baixa, com teores baixos a médios de fósforo e potássio e saturação por bases maior que 50%. Apresentam cores cinzentas e textura média ou argilosa. Ocorrem tipicamente em depressões mal drenadas em todo o Estado (Streck et al., 2002).

Já os Neossolos ocorrentes em áreas de várzea são solos rasos ou profundos, apresentam pedregosidade e podem estar associados a Chernossolos (Streck et al., 2002). Possuem CTC média a alta, elevada saturação por bases, fertilidade natural baixa e textura arenosa. Os Neossolos Quartzarênicos, de ocorrência nas áreas de várzea da Planície Costeira Externa do RS, apresentam horizonte A assentado sobre sedimentos muito arenosos, constituídos por grãos soltos de quartzo (Streck et al., 2002).

Os Chernossolos são solos rasos a profundos, de cor escura e com alta fertilidade química, apresentando argilas expansivas na sua constituição (Streck et al., 2002). Possuem CTC alta ($> 15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Os Planossolos ocupam 56% da área total dos solos de várzea do RS, representando cerca de 11% da área total do Estado (Pinto et al. 2004). São

solos imperfeitamente ou mal drenados, de coloração cinzenta (Streck et al. 2002) e CTC média (5 a 15 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), possuindo fertilidade química média a baixa, em geral com baixos teores de potássio. Essa classe apresenta como característica geral a presença de um tipo especial de horizonte B textural, com incremento de argila do A (ou E) para o B em uma pequena distância, caracterizando uma mudança textural abrupta (Pinto et al., 2004).

De acordo com o levantamento “Fertilidade dos Solos Cultivados com Arroz Irrigado no Rio Grande do Sul” (Anghinoni et al., 2004), há uma predominância absoluta (84,5%) de solos com $\text{pH} < 5,5$ nas regiões arrozeiras do RS, sendo que 47,5% desses solos apresentam teores baixos de cálcio trocável ($< 2,0 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$), enquanto que os teores de magnésio trocável são altos em 45,9% das áreas. Segundo o mesmo levantamento, 96,5% dos solos das regiões arrozeiras do Estado apresentam teor de argila menor que 25%, indicando uma predominância de solos mais arenosos, sendo esse baixo teor de argila acompanhado por baixo teor de matéria orgânica, predominando em 77,5% das áreas cultivadas com arroz irrigado teores menores ou iguais a 2,5% de matéria orgânica. A maioria dos solos amostrados (54,6%) nas regiões arrozeiras apresentou teores de fósforo disponível (Mehlich-I) acima do teor de suficiência ($6,0 \text{ mg dm}^{-3}$), enquanto que com relação ao potássio (Mehlich-I), aproximadamente metade dos solos amostrados (49,5%) é deficiente nesse nutriente.

Da condição de saturação pela qual passam esses solos de várzea decorre o problema de toxidez de ferro, muito comum nas lavouras de arroz irrigado no RS, principalmente nas variedades BR IRGA 409 e BR IRGA 410. Com o alagamento do solo, ocorre redução dos óxidos férricos (Fe_2O_3 , FeO) a ferro livre (Fe^{2+}), com conseqüente aumento da sua solubilidade (Sousa et al., 2006). Essa redução ocorre após o NO_3^- e os óxidos de Mn serem reduzidos. O Fe^{2+} , produto da redução de óxidos de ferro, é preferencialmente absorvido pelas raízes das plantas, podendo facilmente atingir níveis tóxicos em condições de alagamento, em função da grande quantidade de óxidos de ferro presente nos solos de regiões tropicais e subtropicais.

2.3 Diagnose foliar

A nutrição é um dos principais fatores que afetam a produtividade das culturas vegetais. Assim, a utilização de técnicas de avaliação do estado nutricional das plantas apresenta importante papel no monitoramento e na adequação da oferta de nutrientes feita via adubação do solo na maioria das culturas de interesse econômico.

O princípio de se usar o teor de nutrientes nas plantas como critério para avaliar o seu estado nutricional e o do solo foi posto em prática inicialmente por Lagatu & Maume (1934) e seguido por muitos outros desde então (Bataglia et al., 1996). A utilização da análise foliar como critério de diagnóstico baseia-se na premissa de existir relação entre o suprimento de nutrientes pelo solo e os seus níveis na planta e que aumentos ou decréscimos nas concentrações dos nutrientes se relacionam com produtividades mais altas ou mais baixas, respectivamente (Evenhuis & Waard, 1980). Na maioria das vezes, a folha é o órgão da planta onde as alterações fisiológicas devidas a distúrbios nutricionais se tornam mais evidentes. Em função disso, quase sempre o diagnóstico nutricional das plantas é feito pela técnica que, de forma ampla, é denominada de diagnose foliar (Bataglia et al., 1996).

Segundo Malavolta & Malavolta (1988), a utilização da diagnose foliar permite: a identificação de deficiências e excessos de nutrientes; a determinação de interações positivas e negativas entre elementos; o levantamento do estado nutricional da cultura em propriedades rurais e regiões; a determinação da eficiência de utilização de nutrientes por espécies e variedades; e a distinção entre desordens nutricionais e sintomas de pragas e moléstias. Além disso, segundo os mesmos autores, a diagnose foliar também pode proporcionar uma melhor avaliação da necessidade de adubação, complementando os dados da análise de solo, visto que a técnica consiste em se analisar o solo usando a planta como solução extratora.

Beaufils (1971) também destacou que a maior vantagem da diagnose foliar está no fato de se considerar a própria planta como o extrator dos nutrientes do solo, permitindo uma avaliação direta de seu estado nutricional pela avaliação das concentrações foliares e assim, de forma indireta, avaliar a fertilidade do solo.

O uso correto da diagnose foliar como método de avaliação do estado nutricional da planta depende do conhecimento das limitações da técnica. É preciso questionar a confiabilidade dos dados, a utilização de relação e balanço de nutrientes, o efeito de cultivares e de concentrações variáveis de nutrientes alterando os processos fisiológicos (Jones et al., 1991).

No Brasil, Malavolta et al. (1997) apresentaram recomendações para a amostragem de folhas para fins de diagnose das principais culturas, assim como os teores de macro e de micronutrientes adequados para as mesmas, entre elas o arroz. No entanto, para o arroz irrigado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, que difere totalmente em termos de genética, manejo e nutrição do arroz de sequeiro cultivado nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil, não foram encontradas publicações referentes à diagnose foliar e aos teores adequados de nutrientes na planta.

Dentre os critérios de interpretação mais utilizados para avaliação do estado nutricional das plantas, destacam-se o teor crítico, as faixas de suficiência ou concentração e, mais recentemente, o DRIS - Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (Beaufils, 1973). O critério das faixas de suficiência tem sido o mais utilizado no Brasil, enquanto que o DRIS vem sendo bastante difundido ultimamente.

O teor crítico é definido pela concentração na folha abaixo da qual a taxa de crescimento, a produtividade e/ou a qualidade são significativamente afetados (Bataglia & Dechen, 1986). Ulrich & Hills (1967) definem o nível crítico como sendo a concentração do nutriente na planta correspondente a 95% da produtividade máxima considerada. Já Gallo et al. (1965) estabeleceram níveis críticos para a cultura do milho com base numa produtividade relativa de 80%, o que demonstra que o termo nível crítico pode ter interpretação diversa (Bataglia et al., 1996).

O critério das faixas de suficiência baseia-se na comparação dos resultados obtidos nas amostragens com os valores padrão determinados pela pesquisa, que são obtidos pelas relações entre os teores foliares dos nutrientes e os rendimentos das culturas. As concentrações observadas na amostra em teste são enquadradas nas faixas de concentrações consideradas insuficientes, adequadas ou excessivas. Essa metodologia possibilita que se recomende níveis de adubação necessários para manter as concentrações de nutrientes um pouco acima do nível crítico, que correspondem à faixa de suficiência. Em

relação ao nível crítico, o método de interpretação baseado em faixas de concentração é relativamente menos afetado por pequenos efeitos locais de ambiente e da própria planta, uma vez que os limites são mais amplos (Bataglia et al., 1996).

O emprego dos métodos antes descritos está sujeito a algumas limitações, pois os mesmos consideram apenas a concentração do nutriente no material vegetal seco, não identificando qual nutriente é mais limitante, bem como as amostras necessitam ser coletadas em estágio fenológico padronizado (Hanson, 1981).

Já o DRIS, que utiliza o conceito de balanço de nutrientes, foi originalmente proposto como um modelo para identificação de fatores limitantes à produtividade. Entretanto, com o tempo, tem se mostrado muito mais eficiente como uma forma de interpretação de análise nutricional de plantas do que como modelo de produtividade agrícola (Bataglia, 1989), como visto a seguir.

2.4 Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)

2.4.1 Conceituação e caracterização

O DRIS – Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação utiliza o conceito do balanço de nutrientes e parece estar menos sujeito que outros métodos às interferências de particularidades locais do ambiente e das variações de amostragem com respeito à idade e à origem do tecido da planta. O DRIS considera as relações entre os nutrientes e os compara com um padrão de alta produtividade de grãos, permitindo identificar quais os elementos mais limitantes e/ou em excesso, contribuindo para um diagnóstico mais preciso do estado nutricional. O método foi proposto por Beaufils em 1973, baseado em estudos chamados de Diagnose Fisiológica, publicados desde 1957. Existem diversas variações do DRIS no que se refere ao cálculo das funções das razões dos nutrientes; entre elas, cita-se o método de Jones (1981) e o método de Beaufils (1973), modificado por Elwali & Gascho (1984), entre outros.

O DRIS é um método de diagnose nutricional de plantas que se baseia no cálculo de um índice para cada nutriente, considerando sua relação com os demais, e comparando cada relação com as relações médias de uma

população de referência (Beaufils, 1973). O DRIS não indica se determinado nutriente encontra-se em concentração de excesso ou de deficiência, mas qual nutriente é mais limitante e a ordem dessa limitação (Malavolta et al., 1997).

O DRIS utiliza as relações binárias entre os nutrientes e transforma os valores das concentrações em índices, que variam de negativo a positivo. Quanto menor for o índice, se negativo, mais limitante estará o nutriente, e quanto maior for o índice, se positivo, mais excessivo estará o nutriente. O índice de valor zero indica que o nutriente está nas melhores condições de balanço nutricional (Walworth & Sumner, 1987).

Em função do uso de relações entre nutrientes e não dos valores absolutos, problemas de diagnose decorrentes de variação na idade fisiológica e parte amostrada são minimizados; tais vantagens superam os tradicionais métodos de interpretação como níveis críticos e faixas de concentração (Bataglia et al., 1996).

Ao sugerir o DRIS, Beaufils (1973) levou em consideração que se as concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) decrescem com a idade da planta (relação na matéria seca), então as relações N/P, N/K e P/K devem manter-se constantes, independentemente da idade do tecido. Similarmente, as concentrações de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), que usualmente aumentam com a idade, também proporcionarão valores constantes na relação entre esses dois elementos. Além disso, relações entre dois nutrientes, um cuja relação na matéria seca decresça e outro que aumente com a idade da planta, também se manterão constantes ao longo do ciclo de vida da cultura (Walworth & Sumner, 1987).

Nos métodos tradicionais de diagnose foliar, como o nível crítico e as faixas de suficiência, as épocas de amostragem para os quais esses métodos foram padronizados sempre ocorrem em um estágio fenológico das plantas anuais em que não é mais possível realizar aplicações de fertilizantes de forma efetiva para corrigir as deficiências nutricionais daquela cultura (Walworth & Sumner, 1987). Essa situação leva à afirmação de Aldrich (1973) de que para as culturas anuais a análise de tecido foliar usualmente ocorre "*postmortem*". O DRIS é, então, uma alternativa a essa situação estática, visto que se baseia em um sistema de cálculos que permite a amostragem em diferentes fases de desenvolvimento das culturas anuais. Esse fato abre a possibilidade de que se possa criar para o arroz irrigado um sistema de avaliação do estado nutricional

baseado no DRIS que permita realizar o diagnóstico e a correção nutricional durante o ciclo da cultura, na mesma safra agrícola, o que desempenharia papel muito positivo dentro de programas de manejo para alta produtividade do arroz irrigado.

A posição das folhas a serem amostradas também causa um impacto muito limitado nos resultados do diagnóstico quando o DRIS é utilizado, pois este minimiza os efeitos da amostragem (Walworth & Sumner, 1987). Segundo Yoshida et al. (1981), o colmo inteiro, as lâminas foliares ou a folha-bandeira são normalmente usados para análise de tecido em arroz. No entanto, com a utilização do DRIS muito pouca mudança é detectada nas relações de nutrientes em função da posição da folha amostrada, o que já foi comprovado em milho e soja (Walworth & Sumner, 1987).

Segundo Malavolta & Malavolta (1988), no que se refere à idade da planta ou da folha a ser amostrada, a concentração dos elementos na folha apresenta um tipo de variação dependente da velocidade de crescimento da planta. No caso de células em crescimento, o aumento no suprimento de um elemento deficiente no meio provoca, dentro de limites, e simultaneamente, um aumento correspondente na quantidade absorvida e na produção de matéria seca. O efeito na concentração foliar poderá ser negativo, nulo ou positivo se a velocidade de crescimento for, respectivamente, maior, igual ou menor que as velocidades de absorção e transporte. É por isso que, na prática da diagnose foliar, comumente se empregam folhas recém maduras, cujo crescimento terminou, mas que ainda não entraram em senescência.

Em suma, o DRIS foi criado para gerar um diagnóstico independente da idade da planta, local, cultivar, solo, clima e período de amostragem. Vários autores dizem que, uma vez estabelecida a norma de referência, a partir de uma grande população aleatoriamente distribuída, essa poderá ser utilizada universalmente, pois para uma determinada cultura algumas relações específicas transcendem as condições locais de solo, clima e cultivar para a máxima performance da cultura (Meldal-Johnsen & Sumner, 1980; Bailey et al., 1997; Reis Junior, 2002).

No entanto, essa universalidade das normas DRIS tem sido questionada, pois diferenças na avaliação do estado nutricional têm sido encontradas na utilização de diferentes normas para a mesma cultura. Estudos realizados para testar o conceito do DRIS têm demonstrado que esse não é

totalmente independente das condições locais e do estágio de amostragem (Bataglia & Santos, 1990).

2.4.2 Normas DRIS

Os valores de referência ou normas DRIS correspondem aos valores médios das relações entre os nutrientes de uma população não anormal ou população de referência, bem como os seus respectivos desvios padrões e coeficientes de variação (Beaufils, 1973).

O método exige que a população em estudo seja separada em duas categorias: a) população de referência, constituída por plantas que apresentem produtividade superior a um nível estabelecido; e b) população não referência, formada por plantas que foram afetadas por condições adversas, produzindo menos que o nível estabelecido. Os valores das concentrações, das relações entre concentrações dos nutrientes ou do produto de concentrações de nutrientes para o grupo mais produtivo permanecem normalmente distribuídos para a população de alta produtividade, que será usada como referência no estabelecimento dos padrões DRIS (Walworth & Sumner, 1987).

O tamanho da base de dados para cálculo da norma é bastante variável entre os trabalhos publicados, bem como os critérios para subdivisão das populações de alta e baixa produtividade. O banco de dados poderá ser oriundo tanto de experimentos de adubação como de áreas comerciais (Schutz & Villiers, 1987; Leandro, 1998). As amostras de tecido foliar devem ser coletadas sob as mais variadas condições ambientais possíveis, de maneira que toda a variabilidade de fatores que agem sobre a população de referência esteja nela representada (Sumner, 1979; Beaufils, 1973; Letzsch & Sumner, 1984).

Segundo Beaufils (1973), não existe um critério bem definido para selecionar a população de referência. Walworth & Sumner (1987) também sugerem uma definição arbitrária do nível de produtividade considerado para o estabelecimento do ponto de corte entre as duas subpopulações. Letzsch & Sumner (1984) citam que a população de referência deve conter, pelo menos, 10% das observações do banco de dados geral. De acordo com Malavolta et al. (1997), o nível utilizado para separação das populações de alta e baixa produtividade deve corresponder a 80% da produtividade máxima. Já

Hoogerheide (2005) utilizou critério para separação entre as populações de alta e baixa produtividade, semelhantemente ao adotado por Creste (1996), escolhendo a população na qual a norma oriunda de determinado nível de produtividade apresente a melhor relação entre o Índice de Balanço Nutricional (IBN) e a produtividade.

Uma vez definida a população de referência, são obtidas as normas que são constituídas das relações entre todos os pares de nutrientes e seus respectivos desvios padrão e coeficientes de variação. A relação entre um par de nutrientes pode ser tanto direta como inversa, por exemplo, N/P e P/N, respectivamente (Nachtigall, 2004).

Nos cálculos do método DRIS, apenas um tipo de expressão é utilizado para relacionar cada par de nutrientes. Vários critérios para selecionar a expressão mais adequada (direta ou inversa) têm sido propostos, sendo o mais utilizado o critério da maior relação de variâncias entre as populações de baixa e alta produtividade (Letzsch, 1985; Walworth & Sumner, 1987), chamado de “valor F”.

Após a definição das normas e das relações para cada par de nutrientes, é possível calcular os índices DRIS para as concentrações de nutrientes de uma amostra. Assim, o cálculo do índice DRIS depende, inicialmente, do estabelecimento dos valores padrões ou normas, obtidos para todos os nutrientes dois a dois, onde se utiliza uma população de alta produtividade como população de referência (Bataglia & Santos, 1990).

2.4.3 Cálculo dos índices DRIS

O índice DRIS de um nutriente é definido como a média aritmética das funções de todas as relações selecionadas contendo esse nutriente. Ou seja, através dos índices DRIS mede-se o desvio do valor de qualquer parâmetro que uma amostra sob análise possa apresentar em relação aos de uma população de referência, do ponto de vista nutricional. Assim, se estabelece uma ordem de limitação nutricional diretamente relacionada à produtividade (Walworth & Sumner, 1987).

As funções das razões dos nutrientes podem ser calculadas por diversos métodos, como já foi citado anteriormente.

O método proposto originalmente por Beaufile (1973) estabelece as funções a partir das relações entre os pares dos nutrientes e impõe restrições quando a relação na amostra é maior ou menor que a relação média da população de referência. As diversas funções são ponderadas pela recíproca dos coeficientes de variação das respectivas relações da população de referência. Nesse método, o valor da função é igual a zero quando a relação na amostra apresenta o mesmo valor da população de referência, independentemente de sua variabilidade. Essa metodologia destaca as deficiências nutricionais por meio dos índices DRIS.

A partir da metodologia original de Beaufile (1973), várias modificações na forma de cálculo dos índices DRIS foram propostas. O método de Jones (1981) é uma simplificação do método de Beaufile (1973), em que não considera se a relação na amostra é maior ou menor que a relação na população de referência e utiliza a recíproca do desvio padrão para ponderar a variabilidade das relações. Esse método baseia-se na formalidade estatística, semelhante à utilizada no controle estatístico de qualidade em indústrias.

Já a modificação proposta por Elwali & Gascho (1984), de maneira geral, reduz o valor absoluto do índice DRIS, pois não inclui nos cálculos pequenos desvios da razão dos teores de nutrientes na amostra em relação à razão média das concentrações dos nutrientes na população de referência, levando a uma maior sensibilidade na interpretação do estado nutricional. Considera os nutrientes balanceados se a razão de concentrações numa amostra qualquer estiver dentro da faixa oriunda da norma, mais ou menos o seu desvio padrão. Os procedimentos para os cálculos são os mesmos propostos por Beaufile (1973).

Trabalhos comparando os três métodos de cálculo dos índices DRIS têm sido feitos por alguns autores. Bataglia & Santos (1990) testaram os três métodos na cultura da seringueira e concluíram que os métodos Beaufile (1973) e Elwali & Gascho (1984) apresentaram resultados semelhantes e o método Jones (1981) mostrou depender da ordem da relação de cada par de nutrientes estudados. Nick (1998) encontrou maior precisão no método Jones (1981) quando comparou os três métodos na avaliação do estado nutricional do café. Já Leandro (1998), na cultura da soja, encontrou maior precisão nos resultados quando utilizou a metodologia de Beaufile (1973). Hoogerheide (2005), também para a cultura da soja, concluiu que as três metodologias de

cálculo das funções DRIS apresentaram resultados semelhantes no diagnóstico nutricional da soja em regiões do Cerrado brasileiro.

Os índices DRIS podem assumir valores negativos quando ocorre deficiência do elemento em relação aos demais. Valores positivos indicam excesso e quanto mais próximos de zero estiverem esses índices, mais próxima estará a planta do equilíbrio nutricional para o nutriente em estudo, permitindo desse modo a classificação dos nutrientes em ordem de importância de limitação na produtividade e fornecendo, ao mesmo tempo, uma indicação da intensidade da exigência de determinado nutriente pela planta (Beaufils, 1973).

Adicionalmente aos índices DRIS, é possível calcular o Índice de Balanço Nutricional (IBN), que resulta do somatório, em módulo, dos valores dos índices DRIS de cada nutriente, indicando o estado nutricional da planta. Quanto menor for o valor da soma, menor será o desequilíbrio entre nutrientes e, portanto, maior será a produtividade da cultura (Walworth & Sumner, 1987). Vários trabalhos mostram que o IBN apresenta correlação negativa alta com a produtividade (Creste & Nakagawa, 1997; Veloso et al., 2000; Mourão Filho et al., 2002; Silva et al., 2003; Hoogerheide, 2005).

2.4.4 Aplicação do DRIS em culturas anuais

O método DRIS, embora tenha sua maior utilização nas culturas perenes, tem sido aplicado também na avaliação nutricional de culturas anuais de grãos, como soja (Sumner, 1977a; Hanson, 1981; Beverly et al., 1986; Hallmark et al., 1989; Vigier et al., 1989; Oliveira, 1993; Leandro, 1998; Maeda, 2002; Lantmann et al., 2002; Kurihara, 2004; Hoogerheide, 2005), trigo (Sumner, 1977b), milho (Sumner, 1977c; Cornforth & Steele, 1981; Escano et al., 1981; Elwali et al., 1985), aveia (Chojnacki, 1984), sorgo (Sumner et al., 1983) e feijão (Wortmann et al., 1992), obtendo-se boas correlações entre índices DRIS e produtividade nessas culturas.

No Brasil, especialmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, o método DRIS é utilizado para interpretação do estado nutricional de culturas de grande importância econômica como a soja e o algodão. No entanto, para o arroz irrigado, não foi encontrado nenhum trabalho que utilize os princípios e a metodologia preconizados por Beaufils (1973).

Contudo, segundo Walworth & Sumner (1987), há uma considerável capacidade de expansão do DRIS como método de avaliação nutricional de culturas de grãos, pois suas vantagens com relação à época e local de amostragem, bem como as normas DRIS que já foram publicadas para um significativo número de culturas comerciais, colaboram para validar a possibilidade de sua utilização em outras culturas, como o arroz irrigado, ainda não testadas com esse método.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Abrangência do trabalho

O trabalho foi realizado utilizando-se resultados de análise foliar e de produtividade de grãos de arroz irrigado provenientes das seis regiões arrozeiras do RS: Campanha, Depressão Central, Fronteira Oeste, Planície Costeira Externa, Planície Costeira Interna e Sul. As amostras foliares foram coletadas nas safras 2005/2006 e 2006/2007. Foram feitas coletas em duas safras para possibilitar a obtenção de dados de populações cultivadas em diferentes anos e, portanto, submetidas a condições ambientais diferenciadas.

Na safra 2005/2006, foram coletadas amostras em 389 lavouras comerciais representativas da variabilidade do RS, ou seja, com potencial de baixa, média e alta produtividade; dessas, algumas tiveram de ser eliminadas por falta de dados de produtividade, restando 356 amostras. Esse foi o banco de dados utilizado para o estabelecimento das normas DRIS do arroz irrigado. Já na safra 2006/2007, foram coletadas amostras em 105 parcelas experimentais de adubação do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), que fazem parte de uma rede de pesquisa para avaliação da eficiência das recomendações de adubação para diferentes expectativas de produtividade do arroz irrigado, sendo utilizadas 103 amostras nesse trabalho. Essas amostras coletadas nos experimentos foram utilizadas para validação da norma estabelecida a partir dos dados da safra anterior e também para testar a possibilidade de estabelecimento de uma norma DRIS específica para um período de amostragem mais precoce.

As amostras de ambas as safras foram provenientes de todas as regiões arrozeiras do RS. As lavouras foram escolhidas e amostradas com apoio dos técnicos locais (Núcleo de Assistência Técnica e Extensão Rural – NATES) do Instituto Rio Grandense do Arroz – IRGA e as áreas experimentais foram conduzidas e amostradas pela Equipe de Agronomia da Estação Experimental do Arroz – IRGA.

No Apêndice 1 são apresentados detalhes de localização, área cultivada com arroz, número de amostras coletadas e tipo de solo de cada município do RS onde foram feitas amostragens nas duas safras. No Apêndice 2 constam os resultados das análises de solo e os tratamentos aplicados nas áreas

experimentais da safra 2006/07. Essas áreas, amostradas na safra 2006/07, fazem parte de uma rede de experimentos do IRGA de validação das novas recomendações de adubação para o arroz irrigado por incremento de produtividade. Assim, essas áreas possuíam parcelas sem adubação (testemunha) e com diferentes níveis de adubação, para incrementos de 2.000, 3.000, 4.000 ou 6.000 kg ha⁻¹ na produtividade de grãos.

As variedades de arroz cultivadas nas lavouras amostradas na safra 2005/2006 foram: BR IRGA 409, BR IRGA 410, IRGA 414, IRGA 416, IRGA 417, IRGA 418, IRGA 420, IRGA 421, IRGA 422 CL, Taim, Chuí, Qualimax 1, Qualimax 13, Arrank, Sabore, Avaxi, Tuno CL, El Passo 144, Olimar, Cuaró, EPAGRI 108, EPAGRI 109, EPAGRI 112, EPAGRI 113 e LB 48. Dessas, a variedade de maior ocorrência nas áreas amostradas foi a IRGA 422 CL, que foi cultivada em 42,4% das lavouras, e a segunda variedade mais cultivada foi a IRGA 417, em 11,6% das lavouras.

Já nas áreas experimentais amostradas na safra 2006/2007, as variedades usadas foram: BR IRGA 410, IRGA 417, IRGA 422 CL e IRGA 424, sendo que a de maior ocorrência também foi a IRGA 422 CL, que foi cultivada em 54,5% das áreas experimentais, e a segunda mais cultivada foi a IRGA 417, em 27,3% das áreas.

3.2 Procedimentos de coleta

3.2.1 Tecido vegetal

Na safra 2005/2006, a amostragem consistiu na coleta de 50 folhas bandeira (última folha expandida antes da emissão da panícula) de cada talhão de lavoura no início do estágio reprodutivo da cultura (R2-R3, segundo a escala de Counce et al. (2000)). Nesse estágio, a lavoura se encontrava com menos de 50% de floração. As folhas foram coletadas de plantas que ainda não apresentavam panícula visível, embora parte da lavoura já tivesse emitido a panícula.

Na safra 2006/2007, as amostragens foram feitas nas áreas experimentais de adubação do IRGA. Realizaram-se coletas de folhas em duas épocas do ciclo de desenvolvimento do arroz, classificadas de acordo com a escala de Counce et al. (2000): no perfilhamento (V6) e no florescimento (R2–

R3), à semelhança da coleta da safra anterior. Em ambas as épocas foram coletadas 70 folhas de cada talhão.

Foram coletadas também, na safra 2006/07, amostras de plantas inteiras dos talhões experimentais nesses dois estádios, a fim de se proceder avaliações de matéria seca dessas áreas e relacioná-las com os resultados da análise foliar. Para tanto, coletou-se em cada parcela experimental a parte aérea das plantas em quatro linhas de 50 cm de comprimento, com espaçamento entre linhas de 17 cm, totalizando a área de 0,34 m² por amostra. Cada uma das parcelas experimentais tinha área de 10 m x 20 m.

3.2.2 Rendimento de grãos do arroz

A colheita de grãos de arroz nos talhões das lavouras foi efetuada na mesma área correspondente à amostragem do tecido foliar, por máquina colheitadeira automotriz e, manualmente, nas parcelas experimentais, após a maturação fisiológica, com a umidade entre 18 e 23 %, dependendo da cultivar e dos sistemas de colheita e de secagem (SOSBAI, 2005).

O registro dos resultados de rendimento das áreas de lavoura foi feito pelos produtores, com supervisão dos técnicos locais do IRGA.

3.3 Análises e determinações

As amostras de folhas foram enviadas ao Laboratório de Análises de Solo do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS para a análise química para quantificação dos teores de macro e de micronutrientes. A secagem e a moagem das mesmas foram feitas no Laboratório de Análises de Solo da Estação Experimental do Arroz – EEA/IRGA. As análises seguiram a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995):

- as amostras foram secas a 65-70°C, em estufa com circulação de ar forçado, sem lavagem prévia do material, sendo posteriormente moídas;

- para análise do N, foi feita a abertura das amostras com H₂O₂ e H₂SO₄ com mistura de digestão, em bloco digestor, à temperatura de 310-330°C. Após decantação (6-12 horas), foi retirada uma alíquota (10-20 mL) do extrato para a determinação do NH₄⁺. Esta alíquota foi destilada em micro-destilador pelo método de destilação de amônia por arraste de vapor, descrito por Bremner &

Edwards (1965) e modificado por Tedesco & Gianello (1979), após adição de NaOH, recebendo-se o destilado em indicador ácido bórico. As quantidades de NH_4^+ foram obtidas por titulometria com H_2SO_4 diluído;

- para análise dos demais macronutrientes (P, K, Ca, Mg, S) e dos micronutrientes (Zn, Cu, Mn e Fe, Mo) foi feita a abertura das amostras com $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$. O extrato foi deixado em repouso para decantação da sílica. A determinação dos nutrientes foi feita pela técnica de espectrometria de emissão ótica por plasma indutivamente acoplado (ICP-OES - Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry).

- a abertura das amostras para análise do micronutriente B foi feita por queima em forno “mufla” (550-650°C). A determinação foi feita por espectrometria de absorção molecular (colorimetria), com utilização de azometina-H como solução redutora.

3.4 Formação do banco de dados

Os resultados das análises químicas do tecido vegetal para nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês, boro e molibdênio, juntamente com os respectivos resultados de produtividade, foram plotados em planilha eletrônica Microsoft Excel™ e organizados por região de origem, safra e época de amostragem.

Primeiramente, os dados foram analisados visualmente a fim de identificar possíveis erros de digitação, contaminações, inconsistências e também para que fossem eliminadas as amostras com falta de dados de produtividade ou com teores de nutrientes incoerentes. Foram excluídas também as amostras com produtividade menor que 3.600 kg ha^{-1} , pois considera-se que esses valores são muito baixos e distantes da realidade da lavoura de arroz do Rio Grande do Sul.

O banco de dados de cada época de amostragem foi dividido em uma população de alta e outra de baixa produtividade, para estabelecimento das normas DRIS. O critério para seleção da população de alta produtividade será discutido no item posterior. O banco de dados foi dividido em 19 classes de produtividade, com amplitude do intervalo de classe de 450 kg ha^{-1} , a fim de

correlacionar os índices DRIS com a produtividade. Essa divisão em classes foi feita da seguinte forma:

$$N^{\circ} \text{ de classes} = (n^{\circ} \text{ amostras})^{1/2}$$

3.5 Aplicação do método DRIS

Os cálculos das normas e dos Índices DRIS, Índice de Balanço Nutricional (IBN) e IBNm foram feitos utilizando-se a planilha DRIS do software Microsoft Excel™, desenvolvida pelo pesquisador Gilmar Ribeiro Nachtigall, da Embrapa Uva e Vinho.

3.5.1 Escolha da ordem da razão dos nutrientes

A decisão por usar no cálculo da norma a relação direta ou inversa da razão de nutrientes foi feita pelo método da razão das variâncias, descrito por Letsch (1985) e por Walworth et al. (1986), denominado de “valor F”. Esse critério consiste no cálculo da razão de variância das relações entre nutrientes da sub-população de referência (r) e de baixa produtividade (b), tanto na relação direta como na inversa. Foi escolhida a ordem da relação que apresentou a maior razão de variância entre a população de alta e a de baixa produtividade:

$$\text{se: } [s^2 (Y/X)_b / s^2 (Y/X)_r] > [s^2 (X/Y)_b / s^2 (X/Y)_r] \quad (1)$$

então: relação na norma = Y/X

$$\text{se: } [s^2 (Y/X)_b / s^2 (Y/X)_r] < [s^2 (X/Y)_b / s^2 (X/Y)_r] \quad (2)$$

então: relação na norma = X/Y

onde:

$s^2 (Y/X)_r$ = Variância da razão entre as concentrações dos nutrientes Y e X da população de referência;

$s^2 (Y/X)_b$ = Variância da razão entre as concentrações dos nutrientes Y e X da população de baixa produtividade;

$s^2 (X/Y)_r$ = Variância da razão entre as concentrações dos nutrientes X e Y da população de referência;

$s^2 (X/Y)_b$ = Variância da razão entre as concentrações dos nutrientes X e Y da população de baixa produtividade.

3.5.2 Norma

A norma foi estabelecida para cada época de amostragem, utilizando-se as concentrações dos nutrientes da população de alta produtividade. O critério adotado para divisão das duas sub-populações (alta e baixa produtividades) foi semelhante ao adotado por Creste (1996) e por Hoogerheide (2005), sendo escolhida a população na qual a norma oriunda de determinado nível de produtividade apresentasse a melhor relação entre o IBN e a produtividade.

O critério usado para determinar a produtividade mínima para separação entre as populações de alta e de baixa produtividade foi baseado no nível de produtividade considerado alto, de acordo com a média alcançada pelos produtores de arroz irrigado no RS. Assim, adotou-se a produtividade mínima de 7.650 kg ha⁻¹ como limite entre as duas sub-populações.

A partir dessa produtividade, foram estabelecidas as classes de população de alta produtividade. As classes estabelecidas para as áreas de lavoura da safra 2005/2006 foram: ≥ 7.650 kg ha⁻¹; ≥ 8.100 kg ha⁻¹; ≥ 8.550 kg ha⁻¹; e ≥ 9.000 kg ha⁻¹. Já para as áreas experimentais da safra 2006/2007, as classes estabelecidas foram: ≥ 8.100 kg ha⁻¹; ≥ 8.550 kg ha⁻¹; ≥ 9.000 kg ha⁻¹ e ≥ 9.450 kg ha⁻¹. A definição dessas classes foi arbitrária, levando-se em conta o limite mínimo de produtividade considerada alto em cada uma das populações avaliadas, e testando-se a partir daí limites maiores, seguindo a classificação por classes descrita no item 3.4, ou seja, elevando-se esse limite a cada 450 kg ha⁻¹.

Dentro da população de cada classe de produtividade estabeleceu-se a população nutricionalmente equilibrada (Beaufils, 1956, citado por Beaufils, 1971). É considerada uma população nutricionalmente equilibrada somente aquela cujas concentrações de nutrientes estiverem dentro do limite da média mais ou menos duas vezes o desvio padrão. Assim, as concentrações de cada

uma das populações de referência que se encontravam fora desse limite, foram eliminadas, a fim de se buscar o equilíbrio nutricional nas amostras.

Para as quatro populações consideradas de alta produtividade foram calculadas todas as relações possíveis: média, desvio padrão, variância e coeficiente de variação, bem como os índices DRIS e o IBN para estudo da relação com a produtividade. Foi selecionada, então, a norma que apresentou a melhor relação entre IBN e produtividade entre as populações de referência testadas.

3.5.3 Cálculo dos índices DRIS

As funções das relações dos nutrientes foram calculadas utilizando-se a metodologia original proposta por Beaufils (1973):

$$f(Y/X) = \begin{cases} [1 - Y/X(r) / Y/X(a)] \cdot [100.k / CV\%] \longrightarrow \text{se } Y/X(a) < Y/X(r) & (3) \\ 0 \longrightarrow \text{se } Y/X(a) = Y/X(r) \\ [Y/X(r) / Y/X(a)] \cdot [100.k / CV\% - 1] \longrightarrow \text{se } Y/X(a) > Y/X(r) & (4) \end{cases}$$

onde:

$Y/X(a)$ = relação entre a concentração dos nutrientes Y e X na amostra;

$Y/X(r)$ = relação entre a concentração dos nutrientes Y e X na população de referência;

CV% = coeficiente de variação;

k = constante de sensibilidade.

Calculadas as funções, os índices DRIS I_Y para o nutriente Y foram determinados pela fórmula geral:

$$I_Y = \left[\sum_{i=1}^m f(Y/X_i) - \sum_{j=1}^n f(X_j/Y) \right] / m + n \quad (5)$$

onde:

I_Y = índice DRIS para o nutriente Y;

Y = nutriente para cálculo do índice;

X = outro nutriente;

m = número de funções cujo nutriente Y encontra-se no denominador da função;

n = número de funções cujo nutriente Y encontra-se no numerador da função.

3.5.4 Índice de Balanço Nutricional (IBN)

O IBN representa o somatório dos valores absolutos dos índices gerados para a amostra, obtidos para cada nutriente, conforme a equação:

$$\text{IBN} = |\text{Índice A}| + |\text{Índice B}| + \dots + |\text{Índice N}| \quad (6)$$

Foi também calculado o Índice de Balanço Nutricional médio, que é obtido pelo somatório de todos os valores gerados para a amostra, dividido pelo número de nutrientes que participam do cálculo (Wadt, 1996):

$$\text{IBNm} = (|\text{Índice A}| + |\text{Índice B}| + \dots + |\text{Índice N}|) / N \quad (7)$$

onde:

N = número de nutrientes

3.6 Avaliação do estado nutricional

Para cada um dos nutrientes analisados, foram estabelecidas três classes nutricionais considerando o índice DRIS do nutriente e o IBNm: limitante, adequado e excessivo, seguindo a metodologia proposta por Wadt (1996).

O nutriente foi considerado limitante quando apresentou índice DRIS negativo e, em módulo, apresentou valor maior que o IBNm; foi considerado adequado quando apresentou índice DRIS negativo ou positivo, porém em módulo menor que o IBNm; e excessivo na situação em que o índice DRIS foi positivo, e em módulo o valor foi maior que o IBNm.

3.7 Análise estatística

As concentrações dos nutrientes e a produtividade foram submetidas à distribuição de frequência, com distribuição em 21 classes. Foram utilizados alguns parâmetros da estatística descritiva para melhor descrição dos resultados (média aritmética, mediana, moda, maior, menor, desvio padrão, variância da amostra, coeficiente de variação, curtose e assimetria).

A distribuição de frequência das concentrações de nutrientes foi efetuada pelo programa Genes (Cruz, 2001). A estatística descritiva foi calculada em planilha eletrônica Microsoft Excel™, assim como as análises de correlação e regressão. A significância das correlações foi avaliada pelo teste t.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DRIS para avaliação do estado nutricional do arroz irrigado no estágio R2-R3 a partir de lavouras comerciais

4.1.1 Banco de dados

A distribuição de frequência das concentrações de macro e de micronutrientes nas folhas bandeiras coletadas no início da floração (estádio R2-R3) das lavouras comerciais (356 amostras) provenientes de todas as regiões arrozeiras do Estado, a exemplo do observado por Hoogerheide (2005), seguiu uma distribuição próxima à normalidade (Figuras 1 e 2).

As estatísticas descritivas de todos os nutrientes são apresentadas na Tabela 1, onde é possível observar melhor a variabilidade dos resultados. Os maiores valores de desvio padrão, variância e coeficiente de variação foram apresentados pelos micronutrientes ferro e manganês, sendo que ambos tiveram sua distribuição afetada (Figura 2) e refletida nos valores de curtose e assimetria (Tabela 1). Essa maior variabilidade dos valores de ferro e de manganês decorre da grande disponibilização desses nutrientes na forma solúvel, que acontece devido ao processo de alagamento do solo, especialmente no caso de solos ricos em óxidos de ferro e de manganês (Sousa et al., 2004). Segundo Ponnampertuma (1972), a mais importante alteração química que ocorre quando um solo é alagado é a redução do ferro e o concomitante aumento de sua solubilidade; esse aumento na concentração solúvel acontece também com o manganês, cujo processo de redução ocorre antes do ferro. Como a planta de arroz apresenta tolerância a altas concentrações desses nutrientes, a absorção e a concentração no tecido foliar são elevadas nos casos em que os teores de Fe^{2+} e Mn^{2+} na solução do solo forem também altos. Por outro lado, algumas plantas apresentam baixa concentração de ferro na folha devido à baixa disponibilidade do mesmo na solução. No entanto, as concentrações de ferro e de manganês necessárias para a planta atingir boa produtividade são bem menores do que as alcançadas nos casos de cultivo em solos ricos em óxidos de Fe e Mn, o que faz com que o banco de dados apresente grande variabilidade na concentração desses micronutrientes no tecido foliar das plantas de arroz, mesmo nas populações de alta produtividade.

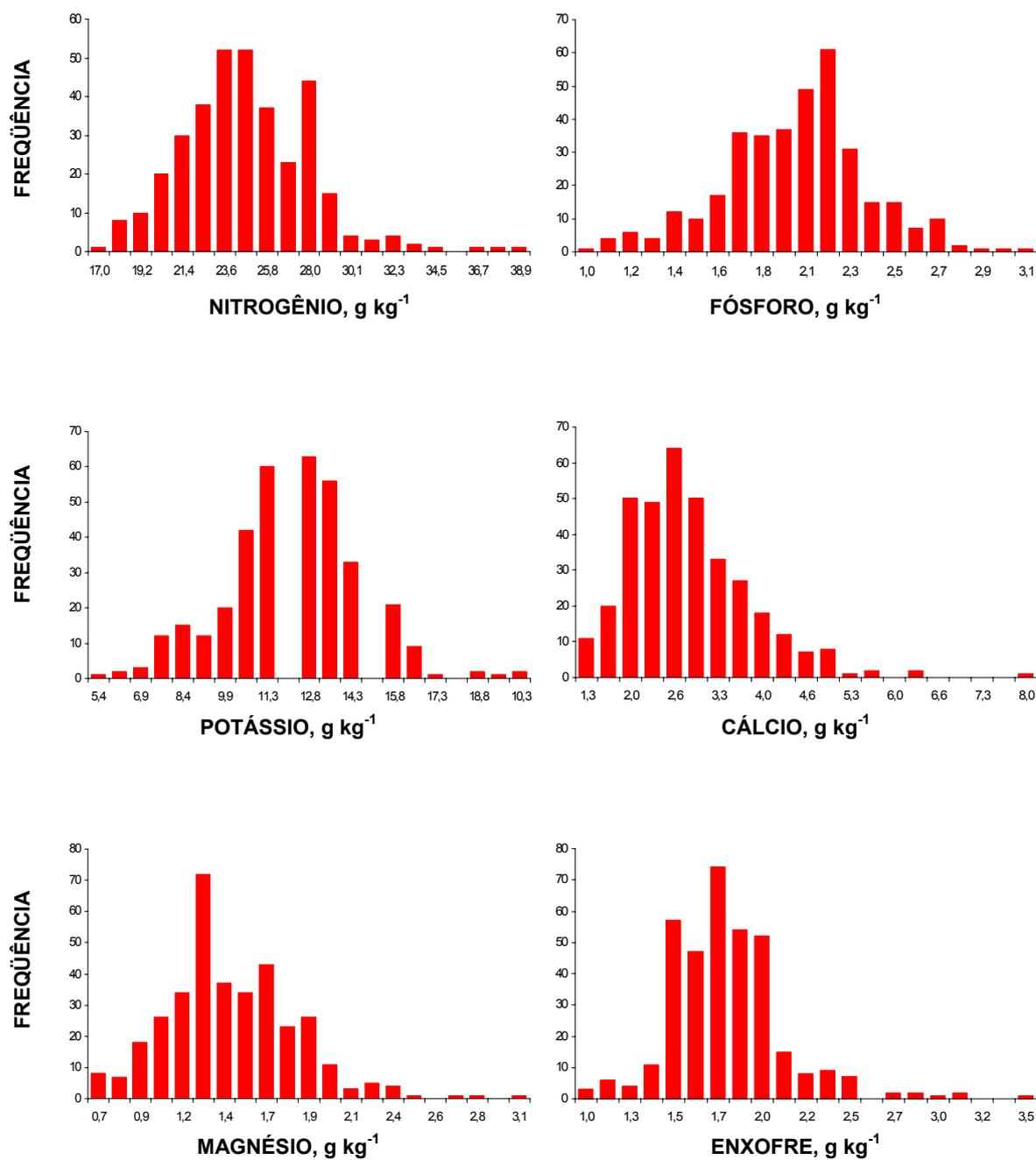


Figura 1. Distribuição de freqüência da concentração de macronutrientes nas folhas bandeira no estádio R2-R3 em lavouras de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, safra 2005/06 (356 amostras).

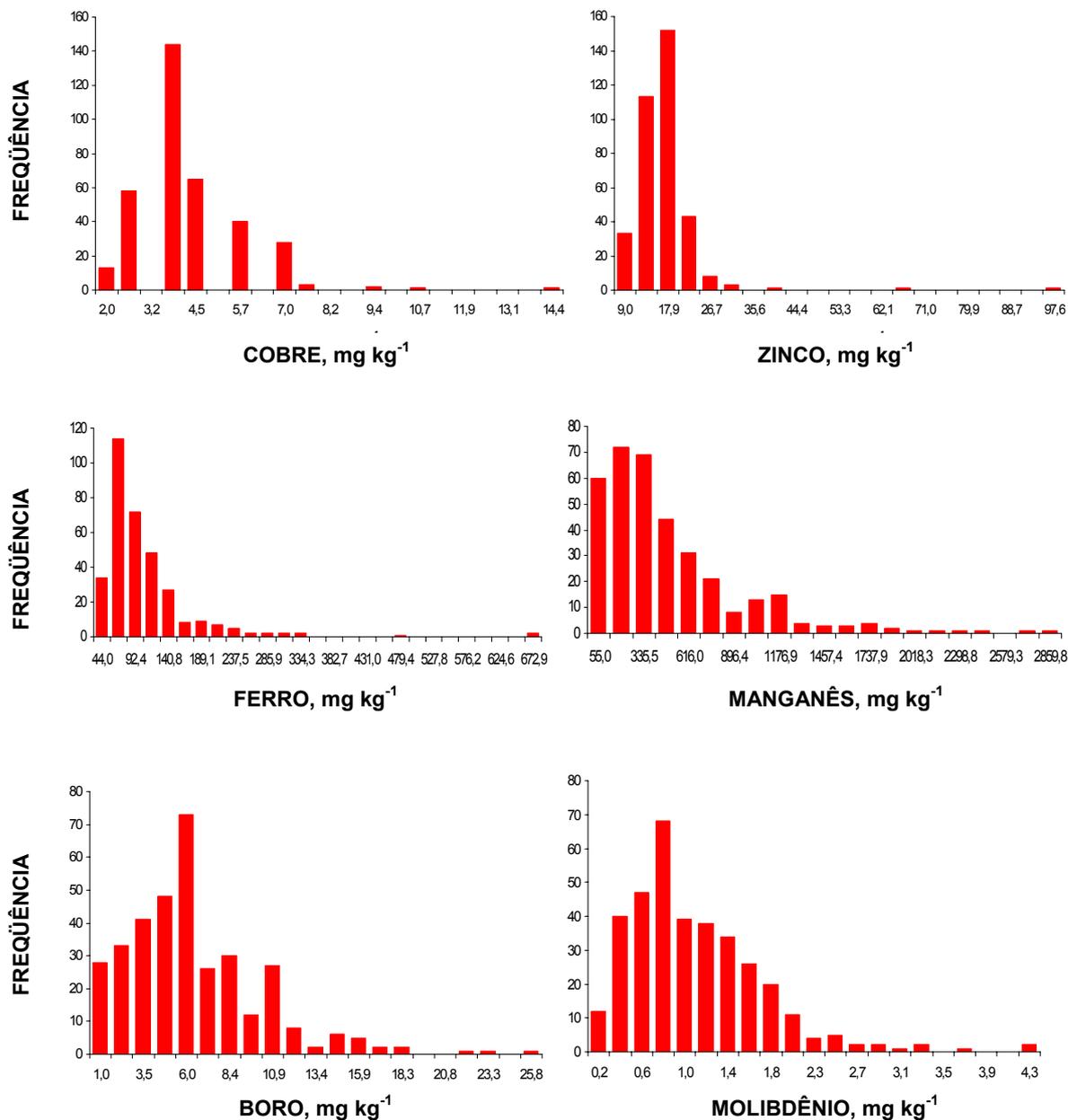


Figura 2. Distribuição de freqüência da concentração de micronutrientes nas folhas bandeira no estádio R2-R3 em lavouras de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, safra 2005/06 (356 amostras).

Observa-se também, no caso do ferro, que os valores de mediana e moda são inferiores aos da média, indicando que o número de resultados com concentrações mais baixas desse nutriente é maioria. Isso pode ser verificado igualmente no caso do boro, cujos valores de mediana e moda também são inferiores aos da média. O boro e o molibdênio também apresentaram valores elevados de coeficiente de variação, acima dos demais nutrientes. Da mesma forma que o boro, o zinco também apresentou valores elevados de curtose e

assimetria, o que pode ser visualizado na distribuição de frequência desse nutriente (Figura 2), com muitas amostras com concentração entre 9 e 20 mg kg⁻¹, e poucas amostras apresentando concentração mais alta, chegando a atingir 97,6 mg kg⁻¹.

Tabela 1. Estatísticas descritivas das concentrações de macro e de micronutrientes no tecido foliar de arroz irrigado em lavouras do Rio Grande do Sul, safra 2005/06, estágio R2-R3

Nutriente	Média	Mediana	Moda	Mín.	Máx.	Desvio Padrão	Variância	CV (%)	Curtose ¹	Assimetria ²
N (g kg ⁻¹)	25,1	25	24	17	40	3,3	10,9	13,1	1,7	0,8
P (g kg ⁻¹)	2,1	2,1	2,2	1	3,2	0,3	0,1	16,1	0,6	-0,1
K (g kg ⁻¹)	12,6	13	13	5,4	21	2,4	5,9	19,3	0,5	0,1
Ca (g kg ⁻¹)	3,0	2,9	2,7	1,3	8,3	0,9	0,9	30,8	3,1	1,2
Mg (g kg ⁻¹)	1,5	1,5	1,7	0,7	3,2	0,4	0,1	24,7	1,4	0,7
S (g kg ⁻¹)	1,9	1,8	1,8	1,0	3,6	0,30	0,1	17,5	4,4	1,3
Cu (mg kg ⁻¹)	4,5	4	4	2	15	1,5	2,2	32,8	7,7	1,7
Zn (mg kg ⁻¹)	19	19	19	9	102	6,6	43,8	34,8	77,4	6,9
Fe (mg kg ⁻¹)	116	100	83	44	691	68,2	4649,1	58,8	29,6	4,5
Mn (mg kg ⁻¹)	558	429	1100	55	3000	460,3	211832,3	82,4	5,3	2
B (mg kg ⁻¹)	6,9	6	5	1	27	4	15,7	57,6	3,2	1,4
Mo (mg kg ⁻¹)	1,2	1,1	1	0,2	4,5	0,6	0,4	50,5	4,4	1,5

¹ A curtose indica até que ponto a curva de frequências de uma distribuição se apresenta mais afilada ou mais achatada do que uma curva normal (Toledo & Ovalle, 1995);

² A assimetria é o grau de deformação de uma curva de frequências, que pode ser: simétrica; assimétrica positiva ou desviada à direita; e assimétrica negativa ou desviada à esquerda (Toledo & Ovalle, 1995).

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes de determinação para as relações entre a concentração de nutrientes e a produtividade de grãos, onde se pode verificar que a correlação entre essas variáveis foi baixa, evidenciando uma maior importância do balanço de nutrientes na determinação da produtividade do arroz irrigado do que a própria concentração de cada nutriente.

Observa-se também, na Tabela 3, que não há relação direta aparente entre produtividade de grãos e concentração de nutrientes no tecido foliar coletado no estágio R2-R3 do arroz, ou seja, não necessariamente regiões com maior produtividade média, como Depressão Central, Fronteira Oeste e

Campanha, também possuem plantas com maior concentração foliar de nutrientes, e vice-versa.

De acordo com Malavolta et al. (1997), apenas os teores médios de enxofre dessas amostras (Tabela 3) seriam considerados adequados e todos os outros seriam deficientes, com exceção dos teores de manganês, que seriam considerados excessivos. No entanto, há que se considerar que a tabela de interpretação de resultados apresentada por esses autores não especifica a origem dos dados e nem se as concentrações de nutrientes apresentadas são de arroz irrigado ou de sequeiro.

Tabela 2. Relação entre as concentrações de macro e de micronutrientes nas folhas e a produtividade de grãos de lavouras de arroz irrigado do Rio Grande do Sul, safra 2005/06

Nutriente	Coefficiente de determinação (R²) Produtividade x Concentração
N	< 0,01 ^{ns}
P	0,01 ^{ns}
K	0,01 ^{ns}
Ca	< 0,01 ^{ns}
Mg	< 0,01 ^{ns}
S	0,01 ^{ns}
Cu	< 0,01 ^{ns}
Zn	< 0,01 ^{ns}
Fe	< 0,01 ^{ns}
Mn	0,06*
B	0,05*
Mo	0,01 ^{ns}

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo.

Tabela 3. Número de amostras, produtividade média de grãos, concentração média de macro e de micronutrientes no tecido foliar de lavouras de arroz irrigado de diferentes regiões arrozeiras do Rio Grande do Sul coletadas no estágio R2-R3, safra 2005/06

Região arrozeira	n ¹	Produti- vidade ²	Macronutrientes						Micronutrientes					
			N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B	Mo
		kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
Depressão Central	57	7.663	27,2	2,1	13,0	3,1	1,5	1,8	4,4	19	118	598	7,0	1,5
Fronteira Oeste	58	7.630	25,0	1,8	10,8	3,5	1,5	1,8	5,9	16	111	1244	9,2	1,2
Campanha	84	7.578	25,0	2,2	12,6	2,9	1,4	1,8	4,2	19	95	448	6,6	1,4
Sul	64	6.997	23,4	1,9	12,7	3,1	1,6	1,9	4,3	20	192	386	7,0	1,2
Planície Costeira Interna	43	6.398	25,8	2,2	14,3	2,6	1,6	1,9	4,4	21	115	366	3,7	1,1
Planície Costeira Externa	50	6.360	24,7	2,1	12,6	3,0	1,5	1,9	4,1	18	130	287	7,1	0,9
Estado	356	7.171	25,1	2,1	12,6	3,0	1,5	1,9	4,5	19	126	558	6,9	1,2

¹Número de amostras;

² Produtividade média de grãos.

4.1.2 Estabelecimento das normas DRIS

Os dados do banco foram agrupados em 19 classes de produtividade de grãos (Tabela 4), conforme descrito no item 3.4 (Material e Métodos), para facilitar a visualização dos resultados. Não é possível verificar nessa tabela uma relação clara e direta entre produtividade e concentração de nutrientes, o que indica a necessidade de se trabalhar a avaliação do estado nutricional do arroz irrigado do ponto de vista do balanço de nutrientes e não da concentração absoluta individual de cada um dos nutrientes. No entanto, observa-se que na classe de menor produtividade (3.600 – 4.050 kg ha⁻¹), os valores de concentração de P, K e Zn foram numericamente menores que nas demais classes. As concentrações de Fe e Mn foram as que apresentaram maior variação entre classes, confirmando a grande variabilidade de concentração foliar desses nutrientes.

Para selecionar a norma DRIS, definiu-se a população de referência como a população de alta produtividade que apresentou melhor relação entre IBN e produtividade, conforme indicado por Creste (1996). Assim, submeteram-se as normas obtidas para cada uma das quatro faixas de produtividade (≥ 7.650 kg ha⁻¹; ≥ 8.100 kg ha⁻¹; ≥ 8.550 kg ha⁻¹; ≥ 9.000 kg ha⁻¹) ao cálculo das funções DRIS (Beaufils, 1973).

Tabela 4. Número de amostras e concentração foliar dos nutrientes por classe de produtividade em lavouras de arroz irrigado do Rio Grande do Sul, safra 2005/06

Classes de produtividade	n ¹	Macronutrientes						Micronutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B	Mo
kg ha ⁻¹		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
3.600 – 4.050	2	24,0	1,4	8,8	3,3	1,1	1,9	5,5	16	176	233	7,5	1,5
4.051 – 4.500	5	24,8	2,1	13,2	2,6	1,4	1,8	4,4	18	103	506	5,0	1,0
4.501 – 4.950	3	24,0	2,1	11,3	2,4	1,1	2,0	4,3	20	124	507	4,0	1,4
4.951 – 5.400	12	26,4	2,2	13,4	2,7	1,5	1,9	4,9	20	113	480	5,3	1,3
5.401 – 5.850	37	25,3	2,1	13,3	3,2	1,5	1,9	4,4	19	111	489	6,0	1,3
5.851 – 6.300	42	25,2	2,1	13,1	3,0	1,4	1,9	4,6	19	110	530	6,6	1,1
6.301 – 6.750	44	24,1	2,1	12,4	3,1	1,5	1,8	4,3	18	138	443	6,3	1,1
6.751 – 7.200	46	25,1	2,0	12,5	3,1	1,6	1,8	4,4	18	106	673	6,6	1,0
7.201 – 7.650	41	25,6	2,1	13,0	3,1	1,6	1,9	4,7	23	118	564	6,9	1,4
7.651 – 8.100	38	24,8	2,0	12,4	3,0	1,5	1,8	4,4	19	117	509	7,2	1,3
8.101 – 8.550	33	25,3	2,0	12,2	3,0	1,5	1,8	4,4	19	96	606	7,3	1,4
8.551 – 9.000	24	24,2	1,9	11,8	3,4	1,5	1,7	4,7	17	118	837	9,8	1,2
9.001 – 9.450	13	25,9	2,0	11,3	2,7	1,5	2,0	5,8	19	107	637	8,3	1,2
9.451 – 9.900	5	27,0	2,0	12,2	2,6	1,3	1,8	4,4	20	108	519	7,2	1,8
9.901 – 10.350	4	24,0	2,1	13,0	2,7	1,5	1,7	4,0	18	99	378	6,5	1,8
10.351 – 10.800	5	26,6	2,0	13,2	2,3	1,4	1,7	3,6	19	88	475	6,8	1,6
11.701 – 12.150	3	24,3	2,1	12,7	2,5	1,3	1,7	4,0	19	88	430	7,0	1,0

¹ Número de amostras.

Observ.: Não houve lavouras com dados de produtividade na faixa de 10.801 a 11.700 kg ha⁻¹.

Observa-se na Figura 3 que houve relação significativa ($p < 0,01$) entre a produtividade de grãos e o IBN para todas as faixas de produtividade e que a norma obtida com a população de referência de produtividade $\geq 9.000 \text{ kg ha}^{-1}$ foi a que apresentou melhor relação entre essas variáveis sendo, então, adotada para os cálculos da norma DRIS para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul (Tabela 5), com base nos dados das lavouras.

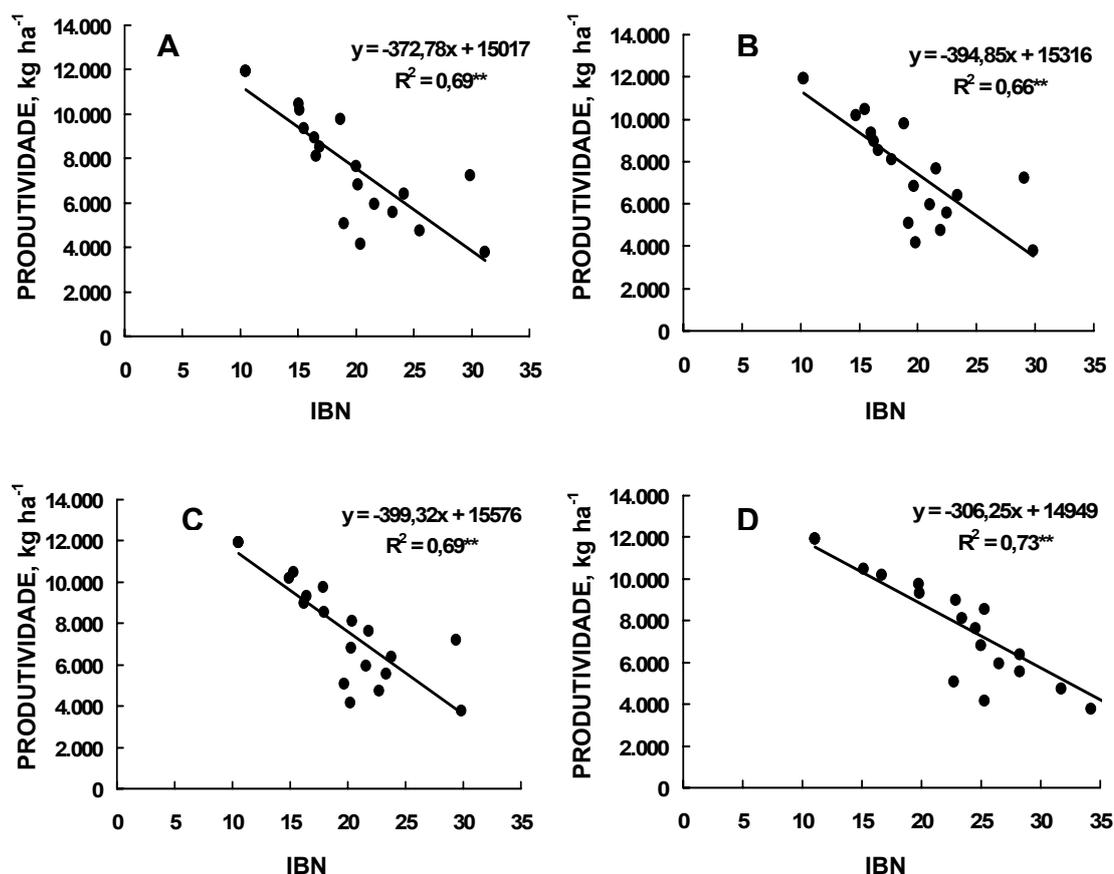


Figura 3. Relação entre o Índice de Balanço Nutricional (IBN) e a produtividade de grãos para diferentes faixas de produtividade da sub-população de referência: $\geq 7.650 \text{ kg ha}^{-1}$ (A); $\geq 8.100 \text{ kg ha}^{-1}$ (B); $\geq 8.550 \text{ kg ha}^{-1}$ (C); $\geq 9.000 \text{ kg ha}^{-1}$ (D) para a cultura do arroz irrigado em áreas de lavoura do Rio Grande do Sul, safra 2005/06, estágio R2-R3.

Tabela 5. Norma DRIS para a cultura do arroz irrigado (estádio R2-R3) no Rio Grande do Sul, safra 2005/06

N° de ordem	Relação	Média	CV ¹	s ²	N° de ordem	Relação	Média	CV ¹	s ²
1	N/P	12,52	9,73	1,22	34	Ca/Cu	0,66	23,90	0,16
2	N/K	2,13	16,22	0,35	35	Fe/Ca	40,17	43,17	17,34
3	Ca/N	0,10	21,97	0,02	36	Mn/Ca	191,19	43,13	82,47
4	Mg/N	0,05	21,07	0,01	37	Ca/Mo	2,32	53,49	1,24
5	S/N	0,07	12,65	0,01	38	Ca/Zn	0,15	30,71	0,05
6	B/N	0,28	53,09	0,15	39	Mg/S	0,79	21,01	0,17
7	N/Cu	6,41	25,14	1,61	40	Mg/B	0,28	78,09	0,22
8	Fe/N	3,88	29,21	1,13	41	Mg/Cu	0,34	26,19	0,09
9	Mn/N	19,76	42,74	8,45	42	Fe/Mg	72,91	34,89	25,43
10	N/Mo	22,53	46,01	10,36	43	Mn/Mg	359,11	41,02	147,32
11	Zn/N	0,72	20,85	0,15	44	Mg/Mo	1,21	51,72	0,63
12	K/P	6,02	14,45	0,87	45	Zn/Mg	13,79	21,77	3,00
13	Ca/P	1,29	21,04	0,27	46	B/S	4,15	54,86	2,28
14	Mg/P	0,68	19,59	0,13	47	S/Cu	0,44	21,39	0,09
15	S/P	0,86	12,35	0,11	48	Fe/S	56,43	34,85	19,66
16	B/P	3,46	54,91	1,90	49	Mn/S	283,10	44,65	126,40
17	P/Cu	0,52	23,14	0,12	50	S/Mo	1,55	49,49	0,77
18	Fe/P	50,73	37,91	19,23	51	Zn/S	10,49	18,42	1,93
19	Mn/P	245,88	43,14	106,08	52	B/Cu	1,72	53,04	0,91
20	P/Mo	1,77	41,04	0,73	53	Fe/B	20,56	78,05	16,05
21	Zn/P	9,03	19,12	1,73	54	B/Mn	0,02	109,86	0,02
22	Ca/K	0,22	29,23	0,06	55	B/Mo	6,47	71,22	4,61
23	Mg/K	0,11	19,89	0,02	56	B/Zn	0,40	57,96	0,23
24	S/K	0,14	16,54	0,02	57	Fe/Cu	24,34	37,21	9,06
25	B/K	0,57	52,76	0,30	58	Mn/Cu	118,63	39,13	46,42
26	Cu/K	0,35	27,94	0,10	59	Cu/Mo	3,93	76,02	2,99
27	Fe/K	8,60	40,17	3,45	60	Zn/Cu	4,57	28,01	1,28
28	Mn/K	42,72	50,35	21,51	61	Fe/Mn	0,26	90,54	0,23
29	K/Mo	10,77	45,49	4,90	62	Fe/Mo	85,12	46,61	39,68
30	Zn/K	1,50	16,16	0,24	63	Fe/Zn	5,67	40,82	2,32
31	Ca/Mg	1,97	22,71	0,45	64	Mn/Mo	448,75	71,66	321,56
32	Ca/S	1,52	21,91	0,33	65	Mn/Zn	29,07	57,05	16,58
33	B/Ca	2,69	51,94	1,40	66	Zn/Mo	16,04	44,44	7,13

¹CV = Coeficiente de variação (%); ²s = Desvio padrão;

Observ.: unidade de medida da média da concentração dos macronutrientes em "g kg⁻¹" e dos micronutrientes em "mg kg⁻¹".

O coeficiente de determinação obtido para a relação entre o IBN e a produtividade na população de referência escolhida ($R^2= 0,73$) representa um valor satisfatório para o arroz irrigado, visto que essa é uma cultura cujo estado nutricional é de difícil correlação com os dados de produtividade e os componentes de rendimento, devido a sua peculiar condição de irrigação por alagamento, que altera totalmente as características químicas, físicas e biológicas do solo. Para a cultura da soja, Hoogerheide (2005) obteve coeficientes de determinação de 0,91 (Maranhão e Piauí) e de 0,86 (Mato Grosso); já para limoeiro, Creste (1997) obteve coeficiente de determinação de somente 0,58.

A produtividade $\geq 9.000 \text{ kg ha}^{-1}$ estabelecida para determinar a população de referência é elevada em relação à média de produtividade do arroz irrigado no Rio Grande do Sul que, na safra 2006/07, foi de 6.830 kg ha^{-1} (IRGA, 2007b); no entanto, trabalhos recentes de cálculo de DRIS em outras culturas, como a soja, mostram essa mesma tendência de se utilizar produtividades elevadas para a população de referência: Maeda (2002) utilizou produtividade de soja $> 3.500 \text{ kg ha}^{-1}$ para o sul do Mato Grosso do Sul; Kurihara (2004) adotou produtividade dessa cultura $> 3.900 \text{ kg ha}^{-1}$ para o Mato Grosso e o Mato Grosso do Sul; enquanto Hoogerheide (2005) utilizou produtividade $> 3.600 \text{ kg ha}^{-1}$ para o sul do Maranhão e sudoeste do Piauí e $> 4.800 \text{ kg ha}^{-1}$ para o Mato Grosso. Esse alto nível de produtividade, que reflete um elevado grau de equilíbrio nutricional, pode ser considerado como o padrão ideal a ser alcançado pelos agricultores em suas lavouras, sendo, portanto, o estabelecimento de normas DRIS baseadas em populações de referência de alta produtividade uma forma de estimular um aumento de produtividade da cultura em consequência de um melhor estado nutricional, entre outros fatores. Segundo Bataglia (1999), o refinamento do DRIS passa por uma mudança de definição de uma situação “normal” como população de referência para um estado “ótimo”, que significa o melhor de todos ou o mais favorável.

No Rio Grande do Sul, segundo o Censo da Lavoura de Arroz Irrigado, na safra 2004/05 apenas 1,8% da área cultivada com arroz irrigado atingiu produtividade $> 9.000 \text{ kg ha}^{-1}$ (IRGA, 2006). No entanto, deve-se considerar que de lá para cá a produtividade média do Estado aumentou 13%, o que implica em maior número de lavouras atingindo produtividades elevadas. Além

disso, a expectativa de futuro do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA, 2007d) é de que a lavoura de arroz irrigado do Rio Grande do Sul alcance no ano de 2010 uma produtividade média de 8.000 kg ha^{-1} , sendo que, para tanto, será necessário que o número de lavouras mais produtivas atinjam produtividades maiores do que as obtidas atualmente.

Do total das 356 amostras analisadas, 31 fizeram parte da norma DRIS, sendo que destas, 13 são da região da Campanha, 10 da Depressão Central e 8 da Fronteira Oeste. O fato da maior parte da população de alta produtividade (norma DRIS) desse trabalho ser composta por amostras dessas três regiões não afeta a credibilidade das normas, visto que o objetivo é elevar o padrão nutricional das lavouras de arroz, independentemente de sua localização, de forma a proporcionar a obtenção de altas produtividades. Essas 31 amostras integrantes da norma representam 9% do banco de dados total, o que é aceitável, pois Letsch & Sumner (1984) citam que a população de referência deve conter em torno de 10% das observações do banco de dados.

4.1.3 Índices DRIS

Definidas as normas (Tabela 5), foram estabelecidos os índices DRIS de acordo com a metodologia de Beaufils (1973) para a totalidade das amostras do banco de dados. Verificaram-se relações positivas e significativas ($p < 0,01$) entre as concentrações de todos os nutrientes e seus respectivos índices DRIS (Figuras 4 e 5). No caso dos nutrientes Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, B e Mo, os coeficientes de determinação foram mais elevados ($R^2 > 0,50$), indicando que o índice DRIS foi dependente da concentração do próprio nutriente na folha. Já para os nutrientes N, P, K e S houve uma baixa relação entre a concentração e os índices DRIS (Figura 4), o que indica menor dependência dos índices DRIS desses nutrientes da sua concentração foliar, demonstrando maior dependência das concentrações dos demais nutrientes que compõem o índice DRIS. Ou seja, para esses quatro nutrientes a influência do balanço nutricional na formação do índice DRIS é maior, em relação aos demais nutrientes.

Baixa relação entre o índice DRIS e a concentração de nitrogênio foi constatada para várias culturas perenes, como macieira (Nachtigall, 2004), citros (Salvo, 2001) e cafeeiro (Reis Júnior et al., 2002). Para a cultura da soja,

Hoogerheide (2005) constatou que, entre todos os nutrientes, nitrogênio e zinco foram os que apresentaram menor relação entre índice DRIS e concentração.

É importante atentar para as curvas dos micronutrientes manganês, boro e molibdênio que, diferentemente dos demais nutrientes, apresentaram elevado ajuste logarítmico da regressão. O fato do ajuste não ser linear demonstra que o método DRIS está superestimando as deficiências dos nutrientes em questão e que tais nutrientes podem aparecer como deficientes em certas amostras sem que de fato o sejam. Assim, esses resultados devem ser analisados com cautela, visto que existe forte indicação de se considerar a sensibilidade do método para esses micronutrientes em termos de equilíbrio nutricional.

Segundo Maia (1999), a fórmula original de Beaufils (1973), utilizada neste trabalho, superestima a deficiência nutricional quando a relação binária entre nutrientes é menor que a relação da população de referência. Para corrigir essas distorções, Maia (1999) sugere alteração do valor da constante de sensibilidade k das equações 3 e 4 (página 23) pois, quanto maior o valor de k , maior será o valor atribuído ao desvio nutricional pela função DRIS. Já Wadt et al. (2007) propõem uma modelagem das funções DRIS e da variável k , separando os nutrientes em grupos de resposta freqüente e resposta rara e alterando as funções DRIS a fim de subestimar ou superestimar os valores de desvios nutricionais para situações de deficiência e de excesso de nutrientes, de acordo com a resposta que se deseja obter da cultura estudada. No caso dos nutrientes Mn, B, e Mo, cuja deficiência parece ter sido superestimada nesse trabalho (Figura 5), Wadt et al. (2007) inferem que se trata de nutrientes com pequena amplitude para valores considerados ótimos. Assim, se fosse aplicada uma forma de correção ao cálculo das funções DRIS desses micronutrientes, poderiam ser definidos valores mais amplos dessas funções à medida que o valor da relação entre dois nutrientes se afastasse do valor ótimo para a relação (Wadt et al., 2007).

Levando-se em conta que a planta está equilibrada nutricionalmente quando os valores dos índices DRIS estiverem mais próximos de zero (Walworth & Summer, 1987), estabeleceu-se graficamente a concentração do nutriente na folha equivalente a esse ponto de equilíbrio nutricional. Na Tabela 6 é apresentada essa concentração foliar definida pelo método DRIS, que pode

passar a ser considerada como limite para a faixa de suficiência na cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul.

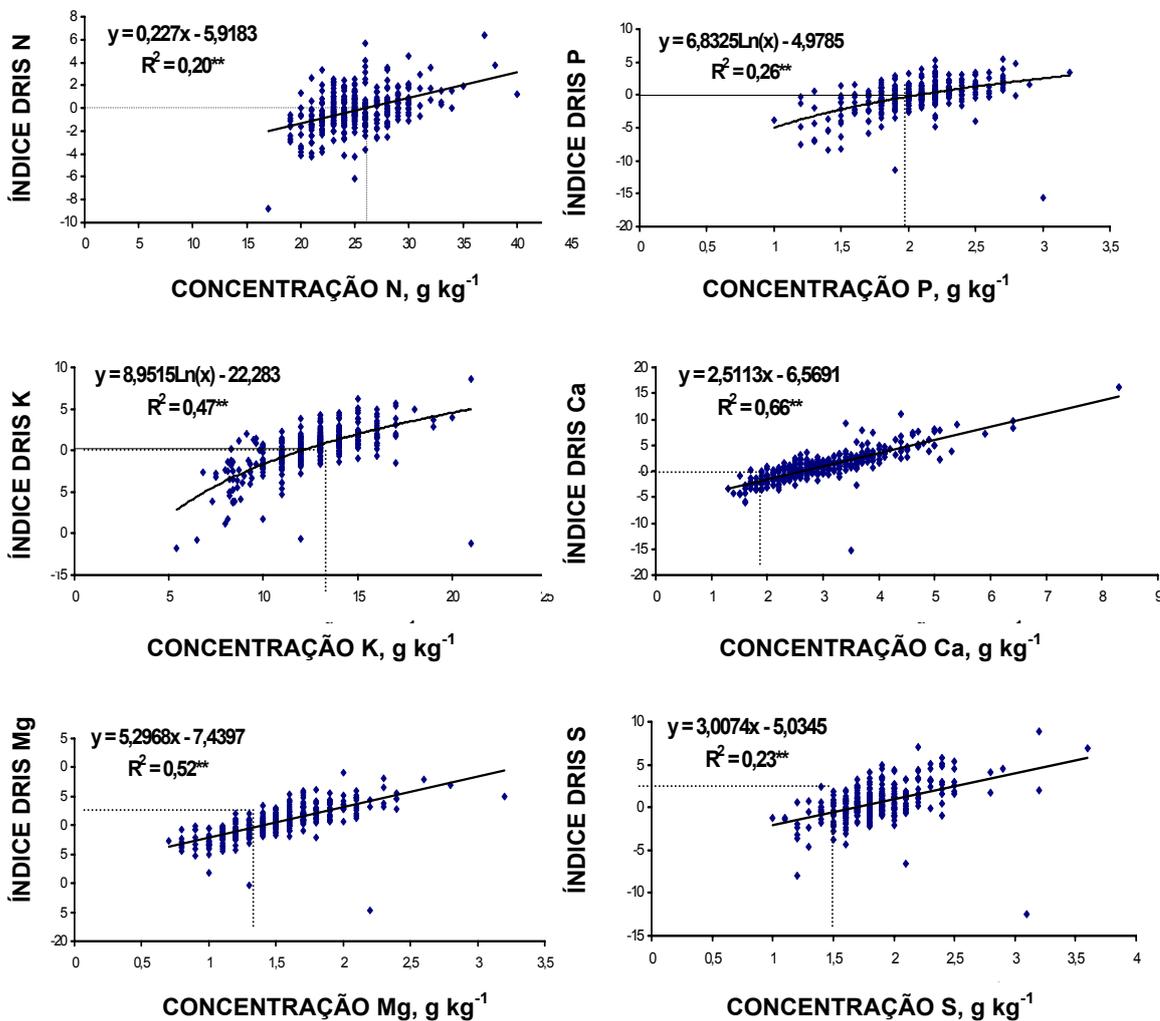


Figura 4. Relação entre os índices DRIS e a concentração de macronutrientes nas folhas de lavouras de arroz irrigado, estágio R2-R3, safra 2005/06.

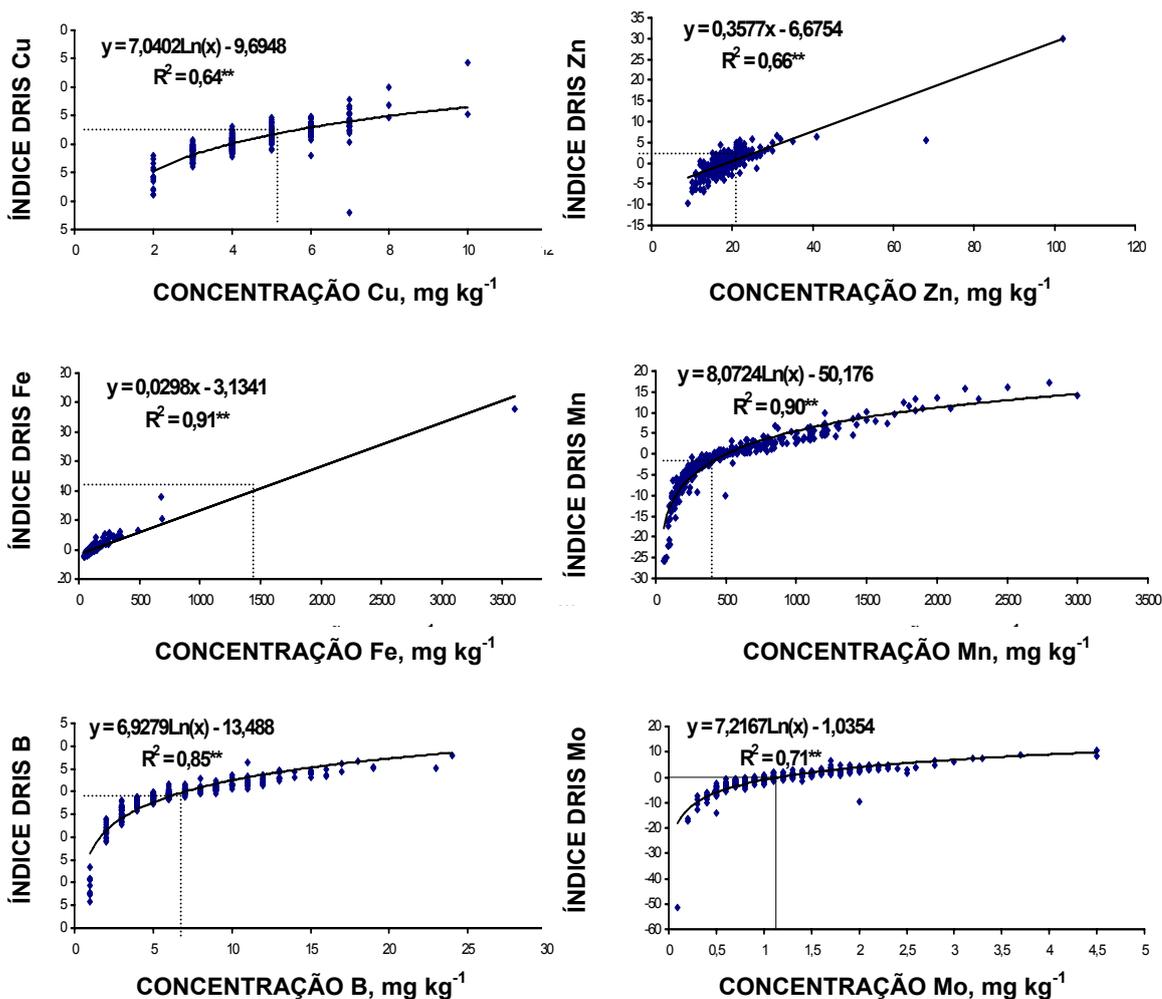


Figura 5. Relação entre os índices DRIS e a concentração de micronutrientes nas folhas de lavouras de arroz irrigado, estágio R2-R3, safra 2005/06.

Observa-se, na Tabela 6, que o ponto de equilíbrio nutricional, definido pelo método DRIS, apresenta coincidência com a concentração considerada como de suficiência pelo Manual de Adubação e Calagem (CQFS RS/SC, 2004) apenas para os nutrientes N, Ca, Mg, Fe, Mn e Mo. Já segundo Malavolta et al. (1997), somente a concentração suficiente de S seria coincidente com o método DRIS, enquanto a concentração foliar de Mn considerada equilibrada pelo método DRIS, se enquadraria na faixa excessiva. No entanto, o ponto de equilíbrio DRIS se situa em faixa ligeiramente superior ao teor crítico de deficiência considerado por Tanaka & Yoshida (1970) para os nutrientes N, P, K e Fe, mostrando boa coerência com esses dados, que foram obtidos com arroz irrigado cultivado em estufa no Japão. Assim, analisando-se

do ponto de vista do equilíbrio nutricional da planta de arroz irrigado, as concentrações de nutrientes foliares seriam consideradas adequadas com valores, em geral, menores do que os atualmente constantes nas tabelas de diagnóstico foliar, o que pode ser justificado pelo fato delas não se basearem em dados coletados localmente, além de considerarem apenas o valor absoluto de cada nutriente e não sua relação com os demais.

Tabela 6. Ponto de equilíbrio nutricional DRIS e faixas de suficiência nutricional, segundo diferentes fontes, e teor crítico de deficiência para macro e micronutrientes na cultura do arroz, estágio R2-R3, safra 2005/06

Nutriente	Ponto de equilíbrio nutricional DRIS	Faixa suficiência CQFS RS/SC (2004) ¹	Faixa suficiência Malavolta et al. (1997)	Teor crítico Tanaka & Yoshida (1970)
		.....g kg ⁻¹		
N	26	26 - 42	40 - 48	25
P	2,0	2,5 - 4,8	2,5 - 4,0	1,0
K	12,5	15 - 40	25 - 35	10
Ca	2,9	2,5 - 4,0	7,5 - 10	
Mg	1,5	1,5 - 3,0	5,0 - 7,0	
S	1,8	2,0 - 3,0	1,5 - 2,0	
		.....mg kg ⁻¹		
Cu	4,0	5,0 - 20	10 - 20	
Zn	18	20 - 100	25 - 35	
Fe	100	70 - 300	200 - 300	70
Mn	500	30 - 600	100 - 150	
B	7,0	20 - 100	40 - 70	
Mo	1,2	0,5 - 2,0		

¹ Conforme Barbosa Filho (1987).

A relação entre produtividade de grãos e índices DRIS de cada nutriente isolado possui R² sempre menor que 0,50 e não apresenta significância (p>0,05) para a maioria dos nutrientes analisados, como pode ser visto na Tabela 7. Apenas os micronutrientes cobre, ferro e manganês e o macronutriente enxofre apresentam essa significância (p<0,05). De fato, a correlação entre o índice DRIS de cada nutriente de forma isolada e a produtividade não poderia ser muito alta, visto que a produtividade do arroz não depende exclusivamente da concentração de um nutriente, mas sim do conjunto de macro e micronutrientes essenciais à cultura, como apresentado

anteriormente (Tabelas 2 a 4), além da variedade utilizada, das condições meteorológicas e das práticas de manejo aplicadas.

Tabela 7. Relação entre produtividade de grãos do arroz irrigado e índices DRIS no Rio Grande do Sul, calculados pelo método de Beaufils (1973), safra 2005/06, estágio R2-R3

Variável	Equação	R ²
I _N	$y = 47,351x + 8101,4$	0,01 ^{ns}
I _P	$y = -21,789x + 7866,7$	0,01 ^{ns}
I _K	$y = -47,96x + 8116,2$	0,06 ^{ns}
I _{Ca}	$y = -33,971x + 8531,4$	0,09 ^{ns}
I _{Mg}	$y = -643,3x + 7982,8$	0,04 ^{ns}
I _S	$y = -1046,9x + 8639,8$	0,28*
I _{Cu}	$y = -2124,7x + 9314,3$	0,45*
I _{Zn}	$y = -420,86x + 8036,5$	0,01 ^{ns}
I _{Fe}	$y = -1077,2x + 8326,9$	0,36*
I _{Mn}	$y = 356,05x + 8621,3$	0,21*
I _B	$y = 594,15x + 8546,9$	0,16 ^{ns}
I _{Mo}	$y = 188,27x + 7911,3$	0,01 ^{ns}

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo.

Assim, as melhores relações entre a produtividade de grãos e os índices DRIS, observadas para enxofre, cobre, ferro e manganês são apresentadas na Figura 6. Para enxofre, cobre e ferro observa-se correlação negativa, ou seja, quanto mais positivos e distantes de zero os índices DRIS, menores as produtividades, indicando que na população avaliada, a produtividade foi negativamente afetada por altas concentrações desses nutrientes. Já para o manganês, a relação observada foi linear positiva, na qual as menores produtividades estiveram associadas a índices DRIS negativos e distantes de zero. Pela interpretação dessa informação sob a ótica do DRIS, poderia se dizer que parte dessa população encontra-se em situação de deficiência de manganês. No entanto, sabe-se que na cultura do arroz irrigado, devido à condição de alagamento, o que ocorre é uma condição de altos teores desse nutriente, devido a sua solubilização na solução do solo e conseqüente maior absorção pelo sistema radicular das plantas. Dessa forma, pode-se dizer que

as amostras das plantas analisadas apresentam, na realidade, uma condição de alta tolerância a Mn e não uma condição de deficiência – constata-se neste trabalho que mesmo plantas com altíssima concentração desse nutriente (até 1.600 mg kg⁻¹) atingem altas produtividades (acima de 9.000 kg ha⁻¹) - o que poderia estar mascarando a interpretação dos índices DRIS com relação a esse nutriente.

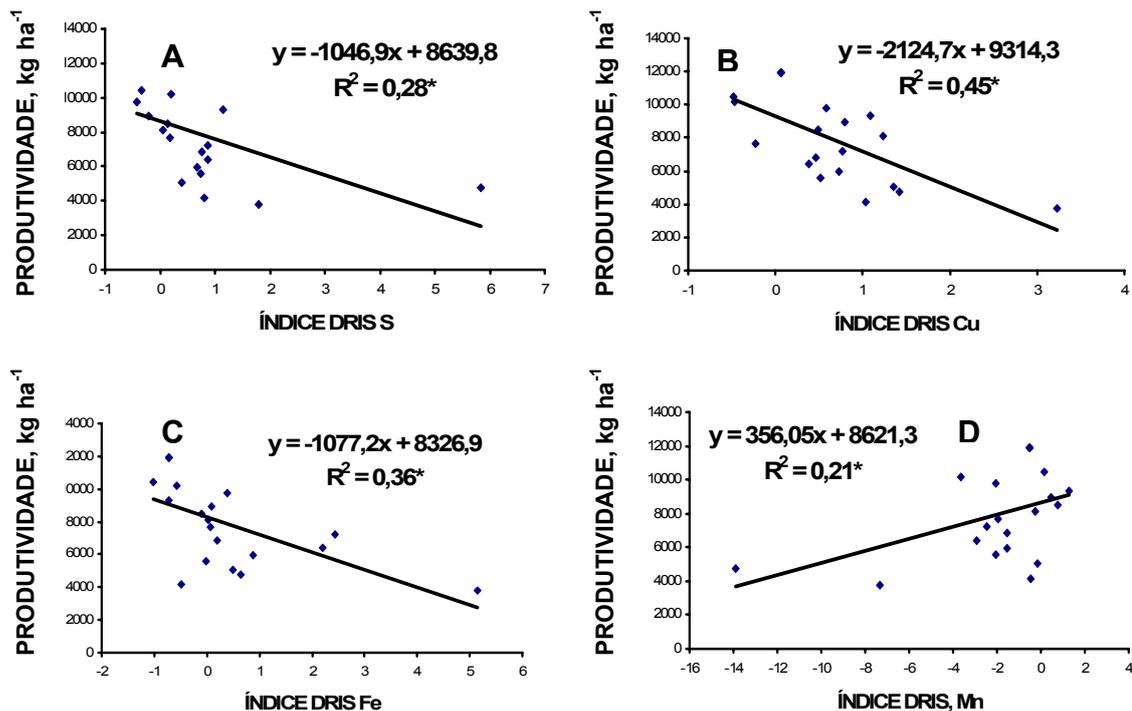


Figura 6. Relação entre a produtividade de grãos do arroz irrigado e os índices DRIS (Beaufils, 1973) para enxofre (A), cobre (B), ferro (C) e manganês (D) no Rio Grande do Sul, safra 2005/06, estágio R2-R3. Cada ponto refere-se a uma classe de produtividade de 450 kg ha⁻¹.

4.1.4 Estado nutricional do arroz irrigado no Rio Grande do Sul

A avaliação do estado nutricional do arroz irrigado no Rio Grande do Sul foi feita pelo cálculo dos índices DRIS e dos valores de IBN para todas as amostras do banco de dados. Na Tabela 8, são apresentados os valores de IBN para as classes de produtividade de grãos estabelecidas anteriormente.

Tabela 8. Índice de Balanço Nutricional (IBN) por classe de produtividade de grãos do arroz irrigado em lavouras do Rio Grande do Sul, safra 2005/06, estágio R2-R3

Classes de produtividade	IBN
.....kg ha ⁻¹	
3.600 – 4.050	34,21
4.051 – 4.500	25,27
4.501 – 4.950	33,98
4.951 – 5.400	21,02
5.401 – 5.850	27,56
5.851 – 6.300	27,74
6.301 – 6.750	26,98
6.751 – 7.200	26,98
7.201 – 7.650	31,25
7.651 – 8.100	24,97
8.101 – 8.550	22,53
8.551 – 9.000	27,41
9.001 – 9.450	16,95
9.451 – 9.900	24,54
9.901 – 10.350	17,10
10.351 – 10.800	15,10
11.701 – 12.150	11,09

Observ.: Não houve lavouras com dados de produtividade na faixa de 10.801 a 11.700 kg ha⁻¹.

Os valores de IBN, de maneira geral, foram mais elevados nas menores produtividades e diminuíram nas produtividades mais altas, o que indica que o método DRIS é eficiente na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, mas que também existem outros fatores, que não nutricionais, influenciando a produtividade, visto que nem mesmo nas classes de produtividades mais elevadas o IBN foi igual a zero.

Teoricamente, em plantas com perfeito equilíbrio nutricional, todos os índices de diagnose seriam iguais a zero, resultando em um IBN também igual a zero, e as produtividades seriam próximas a 15.000 kg ha⁻¹ (Figura 3 D). No entanto, segundo Beaufils (1973), isso pode não ocorrer, porque um fator não nutricional pode estar limitando a produtividade.

Segundo Wadt (1999), quando lavouras de baixa produtividade apresentam baixo IBN, como no caso da classe de produtividade de 4.951 a 5.400 kg ha⁻¹, é uma indicação de limitação de ordem não nutricional. Ou seja, a produtividade dessas amostras não foi maior devido a algum outro fator de produção, como falta de água, ataque de pragas e de doenças, semeadura em

época não recomendada, entre outros. Cabe salientar, aqui, que o DRIS é uma ferramenta que permite detectar a ocorrência de desordens nutricionais, mas que todos os fatores que influenciam a produtividade do arroz irrigado estão interligados. Pelos dados desse trabalho, é possível inferir que mesmo o ajuste nutricional perfeito não permitiria sozinho a obtenção de altas produtividades, pois as mesmas são também dependentes dos outros fatores de produção, técnicas de manejo e condições climáticas.

Já em algumas classes de produtividade mais elevadas que apresentaram IBN alto demais para a produtividade em questão, uma análise detalhada do banco de dados mostra que, por exemplo na classe de 8.551 a 9.000 kg ha⁻¹, o desequilíbrio está ocorrendo em decorrência de concentrações elevadas de manganês em algumas amostras do banco de dados. Essas amostras, mesmo nessa situação, atingiram altas produtividades, demonstrando a grande tolerância da planta de arroz irrigado a altas concentrações desse nutriente.

Com a finalidade de melhor avaliar o estado nutricional do arroz irrigado no RS na safra 2005/06, os índices DRIS obtidos para as 356 amostras foram subdivididos em três classes: deficiente, adequado e excessivo, seguindo classificação conforme o critério de Wadt (1996), citado no item 3.6 (Material e Métodos), que considera o Índice de Balanço Nutricional médio (IBNm), indicando a frequência com que o nutriente se enquadra nessas classes (Tabela 9).

Tabela 9. Distribuição de freqüência das amostras de folhas bandeira de lavouras de arroz irrigado do Rio Grande do Sul (safra 2005/06) em classes nutricionais definidas pelo método DRIS (Beaufils, 1973)

Nutriente	Classes nutricionais					
	Deficiente		Adequado		Excessivo	
	n ¹	%	n ¹	%	n ¹	%
N	52	15	274	79	20	6
P	46	13	274	77	35	10
K	48	14	222	63	85	24
Ca	39	11	202	57	113	32
Mg	54	15	199	56	100	28
S	21	6	289	82	43	12
Cu	39	11	227	64	87	25
Zn	85	24	202	57	67	19
Fe	73	21	228	64	54	15
Mn	142	40	118	33	94	27
B	116	34	170	49	58	17
Mo	73	21	193	55	86	24

¹Número de amostras.

Como pode ser observado na Tabela 9, a grande maioria dos nutrientes situou-se em maior percentual na classe adequada de diagnose. As exceções foram o manganês e o boro. O manganês apresentou deficiência em 40% dos casos, o que evidencia mais uma vez um mascaramento dos índices DRIS desse nutriente em relação aos outros, devido à alta tolerância da planta de arroz às concentrações elevadas de Mn na folha, que ocorre em decorrência do alagamento, como já discutido anteriormente, e também por causa da superestimação da deficiência desse nutriente pelo DRIS, mostrada pela falta de linearidade do ajuste (Figura 5 – Mn). Assim, é importante destacar a necessidade de se abstrair o efeito desse nutriente sobre os outros na interpretação dos índices DRIS, de forma a não considerá-lo como deficiente, visto que de fato não o é.

Já com relação ao boro, os dados mostram que em 34% dos casos foi diagnosticada deficiência desse nutriente, evidenciando sua possível limitação à produtividade. Visto que o manganês será desconsiderado como elemento deficiente na interpretação dos índices DRIS desse trabalho, o boro passa a ser o nutriente que mostrou maior ordem de limitação nutricional nas amostras analisadas, o que também pode ser verificado na Tabela 10. No entanto, é importante lembrar que a Figura 5 mostra que está havendo uma

superestimação pelo método DRIS das deficiências desse nutriente, como também de manganês e de molibdênio, e que há indicação dessas deficiências não serem tão significativas, devendo ser estudado um ajuste no fator de sensibilidade k das equações 3 e 4 (página 23).

Tabela 10. Nutrientes mais limitantes por deficiência à produtividade de grãos do arroz irrigado no Rio Grande do Sul (% em relação à população), conforme o método DRIS (Beaufils, 1973), safra 2005/06

Nutriente	Número de casos	%
Mn	103	29
B	67	19
Mo	32	9
Zn	28	8

É importante salientar também que os nutrientes cálcio e magnésio apresentaram maiores percentuais de diagnóstico excessivo que os demais, evidenciando uma possível limitação de produtividade de parte das amostras devido ao excesso de concentração desses nutrientes, principalmente na região da Fronteira Oeste. Esse excesso pode estar sendo ocasionado pelo elevado teor desses nutrientes nos solos dessa região e pela maior solubilização e disponibilização desses cátions para as plantas devido à condição de saturação do solo com água, já que se trata de uma cultura irrigada por alagamento. Segundo Sousa et al. (2006), cátions como potássio, cálcio e magnésio, embora não participem diretamente de reações de oxirredução, têm a solubilidade aumentada em solos alagados, pois são deslocados para a solução do solo pelo manganês e, principalmente, pelo ferro, que ocupa proporção considerável dos sítios de troca (CTC) em função de sua alta concentração. Por outro lado, as concentrações dos micronutrientes boro, zinco e cobre tendem a diminuir com o alagamento, pois esses nutrientes têm facilidade de formar compostos de baixa solubilidade com o aumento de pH. No entanto, o percentual de cobre em condição de deficiência foi relativamente baixo nos dados analisados nesse trabalho; já para o zinco, 24% das amostras apresentaram deficiência.

Com o cálculo dos índices DRIS, é possível ordenar todos os nutrientes analisados, em cada uma das amostras, do mais limitante ao menos limitante

(ou excessivo). Assim, a Tabela 10 mostra os quatro nutrientes que apareceram mais vezes como os mais limitantes nas 356 amostras analisadas, de acordo com os índices DRIS calculados para as mesmas. Nessa tabela se observa o manganês aparecendo novamente como o mais limitante, o que pode ser desconsiderado mais uma vez, devido aos fatores anteriormente detalhados. Assim, os nutrientes que apareceram mais vezes como “limitante” no banco de dados estudado foram, em ordem decrescente, o boro, o molibdênio e o zinco.

A disponibilidade de boro para o arroz irrigado pode estar sendo diminuída devido ao aumento de pH decorrente do alagamento, pois esse nutriente forma complexos de esfera-interna com os óxidos do solo em condições de elevação de pH (Bissani et al., 2006). Bartz (1974) obteve considerável aumento na adsorção de B à medida que elevou o pH de suspensões de solos do Rio Grande do Sul de 4,0 para 8,0, principalmente a partir de pH 6,0, sendo os aumentos proporcionais às capacidades de adsorção de cada solo. O aumento da adsorção de B devido ao aumento de pH diminui a sua concentração na solução do solo e, conseqüentemente, reduz sua disponibilidade para as plantas, que é função da capacidade da fração sólida em repor as quantidades extraídas da solução. Com as altas produtividades alcançadas pela cultura do arroz irrigado atualmente, pode também estar ocorrendo maior necessidade de boro pelas plantas e menor capacidade da fase sólida do solo de repor essa maior concentração exigida pelas plantas à solução do solo, ocasionando deficiência nutricional de boro.

Com relação ao zinco, pode estar ocorrendo situação semelhante. Segundo Yoshida (1981), a disponibilidade de zinco é muito maior em solos de “áreas altas” do que em solos de várzea submetidos à submersão, pois a sua solubilidade também decresce com o aumento do pH decorrente do alagamento. No entanto, segundo Dechen & Nachtigall (2006), a redução do solo pode aumentar as disponibilidades de Cu, Mo e Zn para as plantas. Mesmo assim, o molibdênio aparece como nutriente limitante em 9% das amostras analisadas, o que pode estar indicando que os teores de Mo disponíveis para as plantas, nesses solos, sejam baixos pois, segundo Raji et al. (1987), a maior parte do Mo do solo encontra-se oclusa (não disponível) em minerais.

Embora os resultados deste trabalho mostrem um diagnóstico de deficiência de alguns micronutrientes como boro, molibdênio e zinco em parte das amostras de lavouras de arroz irrigado do Rio Grande do Sul, esse fato não pode ser generalizado, pois não significa que esteja ocorrendo deficiência de micronutrientes de forma geral nas lavouras de arroz do Estado, e também o método DRIS pode estar superestimando essas deficiências, como já foi explicado anteriormente. Assim, não se pode afirmar a partir desses resultados que adubações com micronutrientes sejam recomendadas para a cultura do arroz, pois esse é um tema que merece e necessita de mais estudo por parte das instituições de pesquisa.

Segundo Scivittaro & Machado (2004), há evidência de que os solos da região Sul do país sejam, em geral, bem providos de micronutrientes, pois os experimentos realizados não mostraram resposta positiva a sua aplicação na cultura do arroz irrigado. Lopes et al. (1985), ao analisarem o efeito da aplicação de boro, cobre e zinco em arroz irrigado concluíram que a aplicação desses micronutrientes, além de não aumentar a produtividade do arroz, reduziram, em alguns tratamentos, o rendimento de grãos. Outros estudos sobre adubação foliar com micronutrientes em cultivos de arroz irrigado, realizados em áreas sistematizadas do Rio Grande do Sul (Rezer et al., 1997; Marchezan et al., 1999), também não indicaram efeito da aplicação de boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco sobre o rendimento do arroz irrigado. Experimentos realizados pelo IRGA (2007e) mostram que a resposta do arroz irrigado à adição de micronutrientes (B, Cu, Mo e Zn), tanto no solo como por via foliar, não é consistente. No geral, não ocorrem respostas ($p > 0,05$). Em alguns casos, a produtividade de grãos tende a ser maior ($\pm 500 \text{ kg ha}^{-1}$) e em outros ela tende a ser menor.

Assim, a avaliação do estado nutricional do arroz irrigado no Rio Grande do Sul pelo método DRIS feita nesse trabalho constitui-se em uma forma de diagnóstico pontual e não em uma recomendação. Fica registrada aqui a necessidade de realização de estudos posteriores a esse trabalho para que se possa testar e comprovar (ou não) esse diagnóstico.

Com o estabelecimento das normas DRIS a partir do banco de dados estudado, torna-se viável a utilização da diagnose foliar como método de avaliação do estado nutricional de lavouras de arroz no Rio Grande do Sul,

proporcionando que cada lavoura analisada tenha seu diagnóstico, podendo este ser de suficiência, de deficiência ou de excesso de alguns nutrientes.

4.2. Validação das normas DRIS com o banco de dados coletado no estádio R2-R3 dos experimentos da safra 2006/07

Com o objetivo de verificar a adequação das normas estabelecidas a partir dos dados de lavoura da safra 2005/06, procedeu-se os cálculos dos índices DRIS das amostras dos experimentos de adubação do IRGA da safra 2006/07. A norma de referência utilizada para os cálculos foi a determinada no item anterior (Tabela 5).

4.2.1 Banco de dados

O banco de dados formado pelas amostras dos experimentos coletadas no florescimento na safra 2006/07 mostrou-se diferente do banco de dados da população anterior (Tabela 1), em razão de se tratarem de áreas com diferentes níveis de adubação submetidas a efeitos de clima e manejo diferenciados.

Tabela 11. Estatísticas descritivas das concentrações de macro e de micronutrientes no tecido foliar de arroz irrigado em áreas experimentais do Rio Grande do Sul, safra 2006/07, estádio R2-R3

Nutriente	Média	Mediana	Moda	Mín.	Máx.	Desvio Padrão	Variância	CV (%)	Curtose	Assimetria
N (g kg ⁻¹)	16,4	16	21	7,3	26	5	25,5	30,9	-1,1	0,1
P (g kg ⁻¹)	1,5	1,5	2,2	0,6	2,6	0,6	0,3	37,3	-1,5	0,1
K (g kg ⁻¹)	11,2	11	11	6,3	21	3,2	10,2	28,5	1,0	0,9
Ca (g kg ⁻¹)	5,6	5,5	4,5	1,8	9,2	1,8	3,2	31,7	-0,9	0,0
Mg (g kg ⁻¹)	2,1	1,8	1,7	0,8	5,1	1,0	0,9	46,1	1,8	1,5
S (g kg ⁻¹)	1,8	1,6	1,4	1	7,3	0,9	0,7	47,7	18,0	3,6
Cu (mg kg ⁻¹)	4,2	4	4	2	12	1,6	2,5	38,1	4,4	1,3
Zn (mg kg ⁻¹)	16	16	13	11	36	4,2	17,6	25,8	3,5	1,3
Fe (mg kg ⁻¹)	149	102	80	59	814	121,2	14698,8	81,4	11,5	3,0
Mn (mg kg ⁻¹)	732	348	1400	90	2800	669	447564,8	91,4	1,4	1,5
B (mg kg ⁻¹)	6,7	6	6	2	14	2	4,2	30,6	0,5	0,5
Mo (mg kg ⁻¹)	1,9	1,3	0,9	0,1	7,4	1,5	2,2	76,9	1,9	1,5

Mais uma vez, observa-se (Tabela 11) que os maiores valores de desvio padrão, variância e coeficiente de variação foram apresentados pelo ferro e pelo manganês, devido à sua maior solubilização em solos alagados. Para ferro, os valores de mediana e de moda foram inferiores aos da média, indicando que o número de resultados com concentrações mais baixas que a média desse nutriente é superior. O molibdênio também apresentou um valor alto de coeficiente de variação, indicando maior variabilidade da concentração desse nutriente em relação aos demais. Na verdade, por se tratarem de experimentos de adubação, já era esperado que os dados apresentassem maior variabilidade, quando em comparação com os dados de lavoura.

As baixas concentrações médias de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cobre e zinco podem ser justificadas, em parte, pelo fato das áreas fazerem parte de uma rede experimental que possui parcelas com diferentes níveis de adubação e áreas testemunhas sem nenhuma adubação (Apêndice 2). Além disso, o teor de nitrogênio, em geral, é bastante baixo, indicando que pode estar ocorrendo também um efeito de safra, além da ausência e/ou baixa aplicação de adubo nitrogenado em parte das parcelas dos experimentos. Verifica-se também que a moda para nitrogênio possui valor maior que o da média, o que indica que a maioria das amostras possui concentração mais elevada desse nutriente.

Já o molibdênio apresentou concentração maior nessas amostras dos experimentos da safra 2006/07 do que na safra 2005/06, o que pode ter ocorrido porque em algumas parcelas das áreas experimentais foi realizada adubação com esse nutriente. No entanto, a análise do banco de dados mostra que, mesmo nessas parcelas em que houve aplicação de micronutrientes, a concentração do molibdênio na folha foi muito variável, oscilando entre os extremos $0,4 \text{ mg kg}^{-1}$ e $7,4 \text{ mg kg}^{-1}$, o que determina o elevado valor de coeficiente de variação encontrado para esse nutriente.

Na Tabela 12 são apresentadas a produtividade de grãos e a concentração média de nutrientes por região arrozeira. Da mesma forma que na safra anterior, observa-se que não é possível visualizar uma relação direta entre produtividade e concentração de nutrientes, o que reforça a necessidade de se avaliar o estado nutricional do arroz irrigado no Rio Grande do Sul pelo balanço de nutrientes

Tabela 12. Número de amostras, produtividade média de grãos, concentração média de macro e de micronutrientes no tecido foliar de arroz irrigado em áreas experimentais de diferentes regiões arrozeiras do Rio Grande do Sul, coletadas no estágio R2-R3, safra 2006/07

Região arrozeira	n ¹	Produtividade ² kg ha ⁻¹	Macronutrientes						Micronutrientes					
			N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B	Mo
			g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
Sul	43	9.203	14,8	1,2	9,2	5,0	1,6	1,5	3,5	15	87	672	5,7	1,3
Depressão Central	9	8.412	19,7	1,6	9,9	7,6	1,7	1,3	5,4	16	269	1195	7,3	4,4
Campanha	9	8.161	20,7	2,2	12,3	6,9	2,1	2,3	6,2	17	154	296	9,3	3,9
Fronteira Oeste	10	7.894	11,2	1,2	11,3	8,3	4,4	2,1	6,1	22	377	2300	5,4	2,2
Planície Costeira Externa	28	6.468	18,4	1,9	14,3	4,6	2,2	2,2	3,5	17	123	254	7,6	1,3
Estado	99	8.131	16,4	1,5	11,2	5,6	2,1	1,8	4,2	16	149	732	6,7	1,9

¹Número de amostras;

² Produtividade média de grãos.

Com base na tabela de teores adequados de nutrientes de Malavolta et al. (1997), apenas os teores médios de enxofre e de ferro dessas amostras seriam considerados suficientes e todos os outros seriam deficientes, com exceção dos teores de manganês, que seriam considerados excessivos.

O elevado valor de concentração média de manganês nas áreas experimentais da Fronteira Oeste relaciona-se com o fato dos solos dessa região terem como principal material de origem o basalto, que possui elevado teor de óxidos de manganês como constituintes dos minerais piroxênio e olivina (Sousa et al., 2004). Essa alta concentração de manganês detectada no tecido foliar demonstra que o arroz irrigado é uma cultura muito tolerante a esse nutriente, pois mesmo perante tal condição ainda atinge altas produtividades.

Com relação à produtividade por região arrozeira, verifica-se que nessa safra as regiões Sul, Depressão Central e Campanha foram as mais produtivas (Tabela 12). O enquadramento da região Sul entre as de maior produtividade é um reflexo da realidade recente daquela região, cujos produtores vêm elevando os patamares de produtividade a cada safra, tendo atingido valor recorde histórico na safra 2006/07 (IRGA, 2007b).

4.2.2 Validação das normas

Para um melhor ajuste dos dados, foram eliminadas sete amostras que apresentaram valores baixos de produtividade, não correspondentes aos níveis de adubação aplicados e à condição nutricional das plantas, além de quatro amostras eliminadas por falta de dados de produtividade. Foram excluídos também os valores de concentração de ferro acima de 800 mg kg^{-1} e os de manganês acima de 1.000 mg kg^{-1} , devido aos mesmos não serem representativos do banco de dados como um todo. Há necessidade de se utilizar esse procedimento, pois sua influência no cálculo dos índices DRIS é magnificada, visto que se trata de um banco de dados pequeno (92 amostras).

Desse modo, essas 92 amostras da safra 2006/07 foram submetidas aos cálculos dos índices DRIS utilizando como norma de referência aquela estabelecida com os dados de lavouras da safra 2005/06, apresentada na Tabela 5.

Na Figura 7 é apresentada a relação entre IBN e produtividade de grãos resultante do cálculo DRIS dessas amostras, que apresentou coeficiente de determinação de 0,59, sendo significativa ($p < 0,01$) pelo teste t.

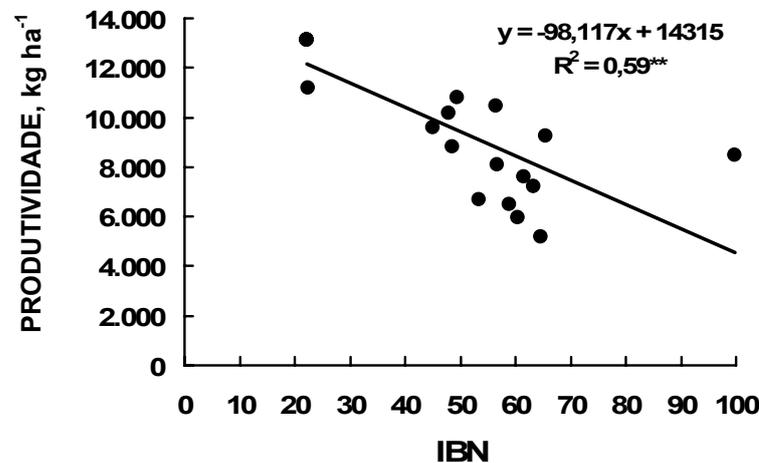


Figura 7. Relação entre a produtividade de grãos de arroz irrigado e o Índice de Balanço Nutricional (IBN) em experimentos da safra 2006/07, estádio R2-R3, no Rio Grande do Sul. Cada ponto refere-se a uma classe de produtividade de 450 kg ha⁻¹.

Observa-se que essa correlação poderia ter sido melhor, se o ponto correspondente ao valor de IBN próximo de 100 se ajustasse melhor à reta. Esse valor corresponde à faixa de produtividade de 8.100 a 8.550 kg ha⁻¹ e indica uma situação de desbalanço nutricional extremo, não correspondente à produtividade obtida. Analisando-se detalhadamente o banco de dados, nota-se que existem cinco amostras que fazem parte dessa faixa de produtividade que apresentam valores muito baixos de nitrogênio (9,8 a 12 g kg⁻¹) e de fósforo (1,0 a 1,4 g kg⁻¹) e valores muito elevados de cálcio (7,3 a 9,2 g kg⁻¹) e magnésio (4,2 a 4,7 g kg⁻¹). Essas amostras são todas da região da Fronteira Oeste e presume-se que, mesmo se tratando de solos com altos teores de cálcio e magnésio trocáveis, pode ter havido um problema de amostragem ou analítico, visto que se tratam de valores de concentrações distantes da realidade, diferentes inclusive das médias obtidas nesse banco de dados.

Assim, a norma estabelecida na safra 2005/06 pode ser utilizada para outros bancos de dados, pois se mostrou coerente com a avaliação nutricional da safra 2006/07, mas deve ter sua sensibilidade melhorada para os

micronutrientes ferro e manganês, pela peculiar condição de alta disponibilidade desses nutrientes nas lavouras de arroz irrigado e também para o boro e o molibdênio, que tiveram suas deficiências superestimadas.

4.3 DRIS para avaliação do estado nutricional no estágio V6 do arroz irrigado a partir de áreas experimentais

Com o objetivo de estabelecer um padrão nutricional para o arroz irrigado em um estágio de desenvolvimento precoce, que permita efetuar a correção nutricional no decorrer da mesma safra em que o tecido foliar foi coletado, procedeu-se o cálculo do DRIS para amostras coletadas no estágio V6 nas áreas experimentais do IRGA na safra 2006/07, conforme descrito em 3.2.1 (Material e Métodos). Para tanto, estabeleceu-se uma norma a partir do próprio banco de dados coletado nesse estágio e testou-se também a utilização da mesma norma estabelecida para os dados da safra 2005/06 (coleta no estágio R2-R3) para avaliar o estado nutricional do arroz em estágio V6. Isto, para verificar se é possível utilizar uma norma única para qualquer período de amostragem ou se para cada estágio da cultura é necessário estabelecer uma norma DRIS específica.

4.3.1 Banco de dados

A distribuição dos valores de concentração foliar dos macronutrientes apresentou, no geral, tendência à normalidade (Figura 8). Isto já não ocorreu com os micronutrientes (Figura 9), pois a grande maioria deles (exceção do zinco) teve maior frequência de amostras ocorrendo nas concentrações mais baixas, o que é demonstrado pela maior assimetria da curva desses nutrientes, que pode ser verificada na Tabela 13, juntamente com os demais parâmetros de variabilidade do banco de dados.

Repetindo o padrão do banco de dados anterior, o ferro e o manganês foram os nutrientes que apresentaram os maiores valores de desvio padrão e variância, sendo que o manganês apresentou também o maior coeficiente de variação (Tabela 13). Os micronutrientes boro e molibdênio também apresentaram valores elevados de coeficiente de variação, o que pode ter ocorrido em decorrência da época de amostragem, pois o boro é pouco móvel

na planta (Malavolta et al., 1997), e o molibdênio é considerado como moderadamente móvel (Dechen & Nachtigall, 2006). Então, podem ter sido coletadas folhas que apresentavam concentração elevada e também folhas com baixa concentração desses micronutrientes. Segundo Dechen & Nachtigall (2006), pode existir deficiência de boro numa folha enquanto em outra do mesmo ramo ou planta o teor é adequado. Como foram coletadas as folhas V6 expandidas de cada planta no período de perfilhamento, pode ter ocorrido essa variabilidade de concentração entre as folhas.

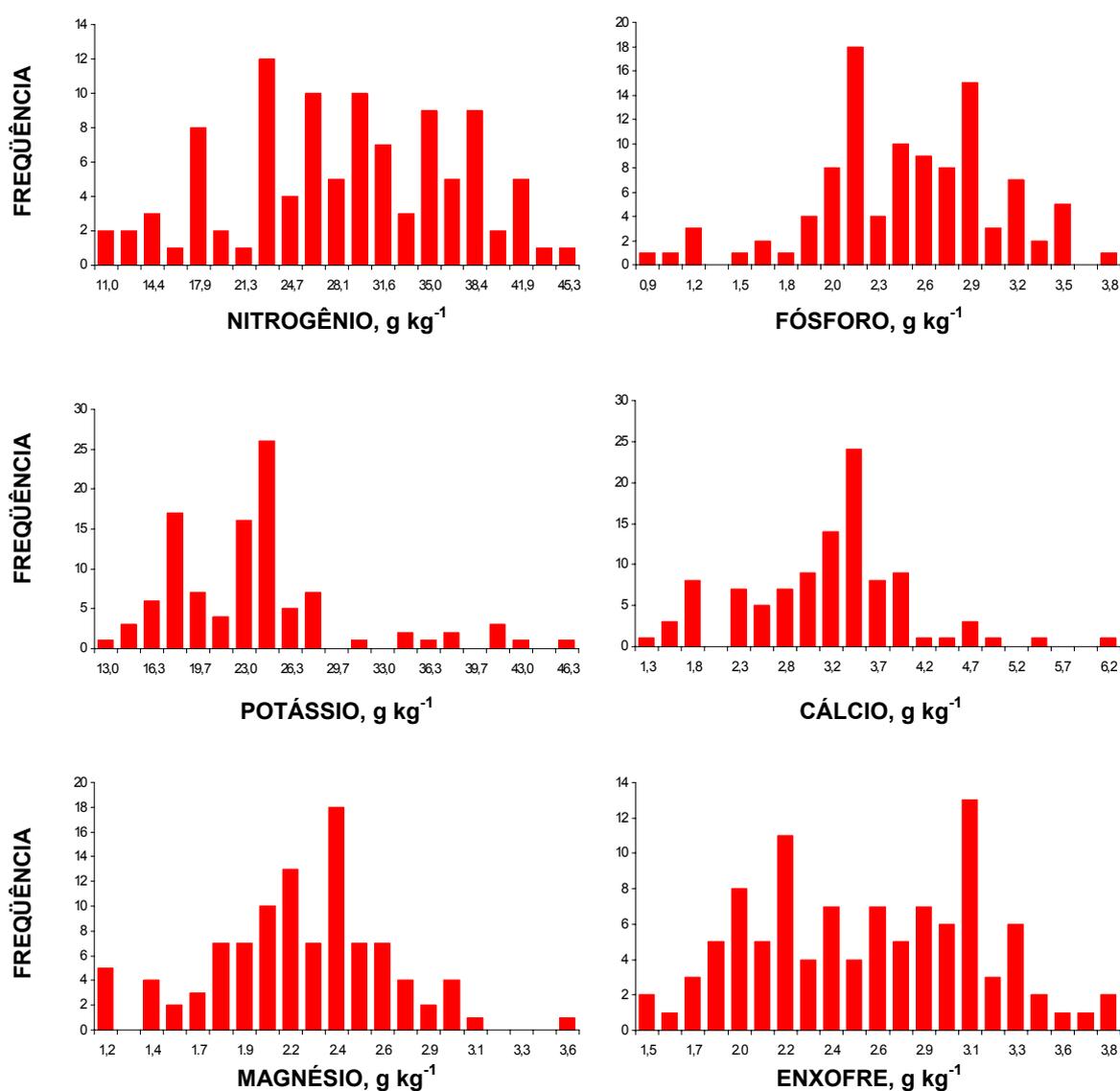


Figura 8. Distribuição de freqüência da concentração de macronutrientes nas folhas V6 de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, safra 2006/07 (103 amostras).

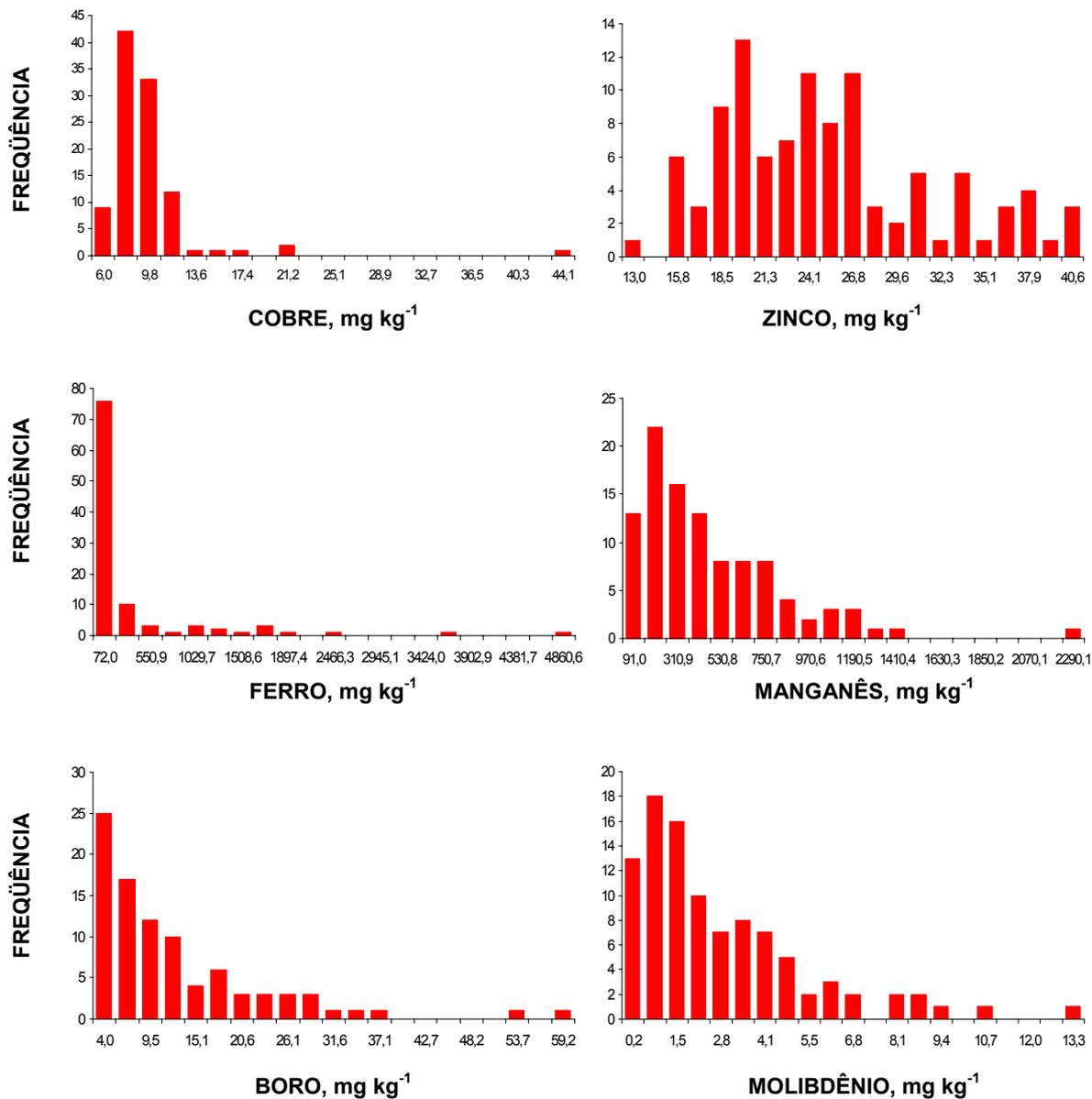


Figura 9. Distribuição de frequência da concentração de micronutrientes nas folhas V6 de arroz irrigado do Rio Grande do Sul, safra 2006/07 (103 amostras).

Tabela 13. Estatísticas descritivas das concentrações de macro e de micronutrientes no tecido foliar de arroz irrigado no estádio V6 em áreas experimentais do Rio Grande do Sul, safra 2006/07

Nutriente	Média	Mediana	Moda	Mín.	Máx.	Desvio Padrão	Variância	CV (%)	Curtose	Assimetria
N (g kg ⁻¹)	29,5	30	23	11	47	8,3	68,7	28,1	-0,7	-0,1
P (g kg ⁻¹)	2,6	2,6	2,9	0,9	3,9	0,6	0,3	22,3	0,4	-0,4
K (g kg ⁻¹)	24,5	24	26	13	48	6,5	42,3	26,6	2,5	1,4
Ca (g kg ⁻¹)	3,3	3,4	3,6	1,3	6,4	0,9	0,7	26	1,3	0,1
Mg (g kg ⁻¹)	2,3	2,3	2,2	1,2	3,7	0,5	0,2	20,3	0,4	0,0
S (g kg ⁻¹)	2,7	2,7	2	1,5	3,9	0,6	0,3	21	-0,8	0,1
Cu (mg kg ⁻¹)	10,4	9,5	9	6	46	4,4	19,7	42,8	42,1	5,7
Zn (mg kg ⁻¹)	26	25	25	13	42	6,6	44,2	25,8	-0,3	0,6
Fe (mg kg ⁻¹)	438	166	106	72	5100	753,9	56341	172,1	17,4	3,8
Mn (mg kg ⁻¹)	524	429	1100	91	2400	367	134676,2	70	5,9	1,9
B (mg kg ⁻¹)	13,7	10	6	4	62	10,6	112	77	6,2	2,2
Mo (mg kg ⁻¹)	3,1	2,2	1,4	0,2	14	2,6	6,6	82,3	3,3	1,7

Os valores de mediana e de moda do ferro foram inferiores aos da média (Tabela 13), o que indica que o número de resultados com concentrações mais baixas que a da média desse nutriente é superior. Isso pode ser verificado também no caso do boro e do molibdênio. Já o manganês apresentou moda maior que a média, indicando que o valor mais freqüente de concentração desse nutriente é o dobro do valor da média de sua concentração.

Todos os nutrientes, com exceção do cálcio e do manganês, apresentaram concentrações foliares mais elevadas no perfilhamento (Tabela 13) do que as das amostras das safras 2005/06 (Tabela 1) e 2006/07 (Tabela 11) coletadas no estádio de florescimento. Isto já era esperado, visto que a tendência é que a concentração dos nutrientes decresça com a idade da planta, com exceção de alguns, como cálcio e magnésio, cuja concentração tende a aumentar, como verificado por Rominger et al. (1975) na cultura da alfafa. Segundo Yoshida (1981), as concentrações de nitrogênio, fósforo e enxofre nas folhas de arroz irrigado são geralmente maiores no período vegetativo e decrescem com a maturidade das plantas. Malavolta e Fornasieri Filho (1983) constataram que, com o aumento da idade da planta de arroz, as

absorções de cálcio e de magnésio seguiram paralelas às acumulações de matéria seca, atingindo o máximo na floração.

Nas amostras coletadas em fase mais precoce de desenvolvimento do arroz também foi difícil estabelecer uma relação entre produtividade de grãos e concentrações de nutrientes, conforme pode ser visto na Tabela 14. Pode-se destacar a questão do nitrogênio, que apresentou concentração mais elevada na região Sul, que foi justamente a que atingiu maior produtividade. Já com relação ao ferro e ao manganês, observa-se uma concentração muito elevada, especialmente de ferro na região da Campanha, muito provavelmente devido ao seu alto teor no solo e à conseqüente redução dos óxidos desses elementos em decorrência do alagamento, que atinge sua concentração máxima aproximadamente 15 dias após o início da irrigação (IRGA, 2004), coincidindo justamente com o período de perfilhamento, e estabilizando-se a partir daí. Talvez seja por isso que no florescimento os teores, especialmente de ferro, sejam bem mais baixos (Tabelas 1 e 11). Com relação ao manganês, mais uma vez a maior concentração foi obtida na Fronteira Oeste, devido à constituição do material de origem dos solos dessa região.

Tabela 14. Número de amostras, produtividade média de grãos, concentração média de macro e de micronutrientes no tecido foliar de arroz irrigado coletado no estádio V6 em áreas experimentais do Rio Grande do Sul, safra 2006/07

Região arrozeira	n ¹	Produti- Vidade ²	Macronutrientes						Micronutrientes					
			N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B	Mo
		kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
Sul	44	9.208	34,7	2,2	22,0	3,3	2,4	2,7	10,3	22	118	450	8,4	2,3
Campanha	9	8.161	26,6	2,6	22,3	3,7	2,2	3,0	11,3	34	2257	882	25,7	1,2
Depressão Central	10	8.071	18,3	3,2	38,3	2,8	1,5	1,9	8,9	34	853	801	22,0	4,4
Fronteira Oeste	10	7.894	26,0	2,5	17,4	3,6	2,3	2,1	9,1	24	214	1025	5,9	4,1
Planície Costeira Externa	30	6.521	27,7	2,9	26,3	3,3	2,4	2,9	11,0	27	236	218	18,2	3,9
Estado	103	8.096	29,5	2,6	24,5	3,3	2,3	2,7	10,4	26	438	524	13,7	3,1

¹Número de amostras;

² Produtividade média de grãos.

Verifica-se, na Tabela 14, também a alta variabilidade da concentração de boro entre as regiões, variando de 5,9 mg kg⁻¹ na Fronteira Oeste a 25,7 mg kg⁻¹ na Campanha, o que pode ser consequência dos materiais de origem dos solos dessas regiões, uma vez que não é possível encontrar relação entre a adubação com micronutrientes e a concentração foliar de boro e dos demais micronutrientes nas amostras analisadas. Ou seja, essa alta concentração de boro não se deve propriamente à aplicação de micronutrientes, mas provavelmente às maiores disponibilização e absorção desse nutriente no período de perfilhamento da cultura.

Não foram encontrados na literatura padrões nutricionais – faixas de suficiência ou nível crítico – para folhas de plantas de arroz amostradas nessa fase de perfilhamento. Desse modo, não é possível estabelecer um comparativo para as concentrações médias do banco de dados do presente trabalho.

4.3.2 Estabelecimento das normas

Os dados foram agrupados em classes de produtividade de grãos (Tabela 15), como foi feito com o banco de dados obtido no florescimento da cultura (Tabela 4). Aqui também não é possível estabelecer uma relação direta entre concentração de nutrientes e produtividade. Apenas observa-se que cálcio, zinco e molibdênio têm suas maiores concentrações nas duas classes de menor produtividade, o que pode ser uma evidência de uma condição de desbalanço desses nutrientes.

Tabela 15 - Número de amostras e concentração foliar dos nutrientes por classe de produtividade de grãos em áreas experimentais de arroz irrigado do Rio Grande do Sul, estágio V6, safra 2006/07

Classes de produtividade kg ha ⁻¹	n ¹	Macronutrientes						Micronutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B	Mo
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
3.600 - 4.050	1	nd	2,7	23,0	6,4	2,0	2,0	22,0	41,0	323	361	nd	14,0
4.051 - 4.500	1	16,0	3,0	23,0	4,6	2,0	1,9	12,0	21,0	328	295	nd	11,0
4.501 - 4.950	1	23,0	2,9	23,0	3,2	2,2	3,3	7,0	17,0	330	110	10,0	1,6
4.951 - 5.400	3	21,0	2,8	27,0	3,1	2,0	2,6	21,0	29,0	625	495	42,0	3,2
5.401 - 5.850	1	30,0	1,6	21,0	2,6	2,1	2,6	9,0	21,0	118	207	13,0	2,2
5.851 - 6.300	5	21,6	3,0	26,8	4,0	2,5	2,4	9,2	24,4	202	230	14,0	5,9
6.301 - 6.750	13	25,8	2,5	26,2	3,5	2,2	2,7	10,1	26,4	336	322	14,6	3,8
6.751 - 7.200	5	33,2	2,5	21,6	2,6	2,3	3,0	8,8	28,6	200	360	13,2	2,5
7.201 - 7.650	12	31,0	2,6	24,6	3,1	2,2	2,9	9,8	28,3	606	471	14,2	2,6
7.651 - 8.100	11	29,5	2,9	27,1	2,9	2,2	2,7	9,1	29,1	625	606	16,1	2,7
8.101 - 8.550	10	30,7	2,7	23,6	3,7	2,4	2,5	9,1	26,1	387	844	10,4	3,6
8.551 - 9.000	6	26,3	2,8	27,2	3,4	2,2	2,3	8,5	26,3	1099	949	18,8	3,3
9.001 - 9.450	11	30,5	2,4	22,2	3,1	2,2	2,6	10,6	23,5	232	515	12,8	2,2
9.451 - 9.900	11	34,4	2,1	21,6	3,3	2,5	2,7	12,0	22,0	108	480	7,2	1,9
9.901 - 10.350	5	32,0	2,4	23,0	3,3	2,2	2,6	10,2	19,4	107	379	8,4	1,8
10.351 - 10.800	3	33,7	2,1	18,3	3,1	2,3	2,6	9,7	21,7	104	453	8,7	3,3
10.801 - 11.250	2	30,5	2,8	26,5	3,8	2,5	3,3	15,0	32,5	134	405	31,5	1,6
13.051 - 13.500	2	35,0	2,3	24,5	3,6	2,7	2,8	9,5	19,5	132	522	12,0	3,0

¹ Número de amostras;

nd = não determinado;

Observ.: não houve parcelas com dados de produtividade na faixa de 11.251 a 13.050 kg ha⁻¹.

Para o estabelecimento da norma DRIS no período de perfilhamento da safra 2006/07 foram testados quatro níveis de produtividade para a definição da população de referência: $\geq 8.100 \text{ kg ha}^{-1}$, $\geq 8.450 \text{ kg ha}^{-1}$, $\geq 9.000 \text{ kg ha}^{-1}$ e $\geq 9.450 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 10). Partiu-se de um nível superior de produtividade em relação ao banco de dados da safra 2005/06, que se começou a testar a partir de uma produtividade de $\geq 7.650 \text{ kg ha}^{-1}$, devido às áreas experimentais terem atingido produtividade média mais alta que a das áreas de lavoura (Tabelas 3 e 14). As relações entre IBN e produtividade (Figura 10) que resultaram em maiores coeficientes de determinação, foram obtidas quando se utilizou a população de referência $\geq 8.100 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 10 A) e $\geq 9.000 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 10 C) mas, para todas as faixas de produtividade testadas, se obtiveram relações negativas e significativas ($p < 0,01$). Assim, optou-se por adotar como população de referência para o cálculo da norma DRIS no período de perfilhamento do arroz irrigado aquela de produtividade $\geq 9.000 \text{ kg ha}^{-1}$, embora o coeficiente de determinação tenha sido o mesmo para as duas populações ($R^2 = 0,83$).

Essa opção se deu por dois motivos: para que a população de referência não fosse composta por um percentual muito grande de amostras em relação ao total de amostras do banco de dados (51 amostras atingiram produtividade $\geq 8.100 \text{ kg ha}^{-1}$, enquanto 34 apresentaram produtividade $\geq 9.000 \text{ kg ha}^{-1}$) e também para que o nível de produtividade da população de referência fosse elevado em relação à realidade da cultura do arroz irrigado, visto que a produtividade de 8.100 kg ha^{-1} já era atingida por 6,6% dos produtores de arroz na safra 2004/05 (IRGA, 2006). Dessa forma, a população de referência baseia-se no mesmo limite de produtividade para os dois bancos de dados analisados nesse trabalho no perfilhamento e no florescimento. A relação entre IBN e produtividade foi sempre significativa ($p < 0,01$), demonstrando a possibilidade de se utilizar o método DRIS para efetuar a diagnose foliar do arroz irrigado no período de perfilhamento, conforme pode ser visto na Figura 10.

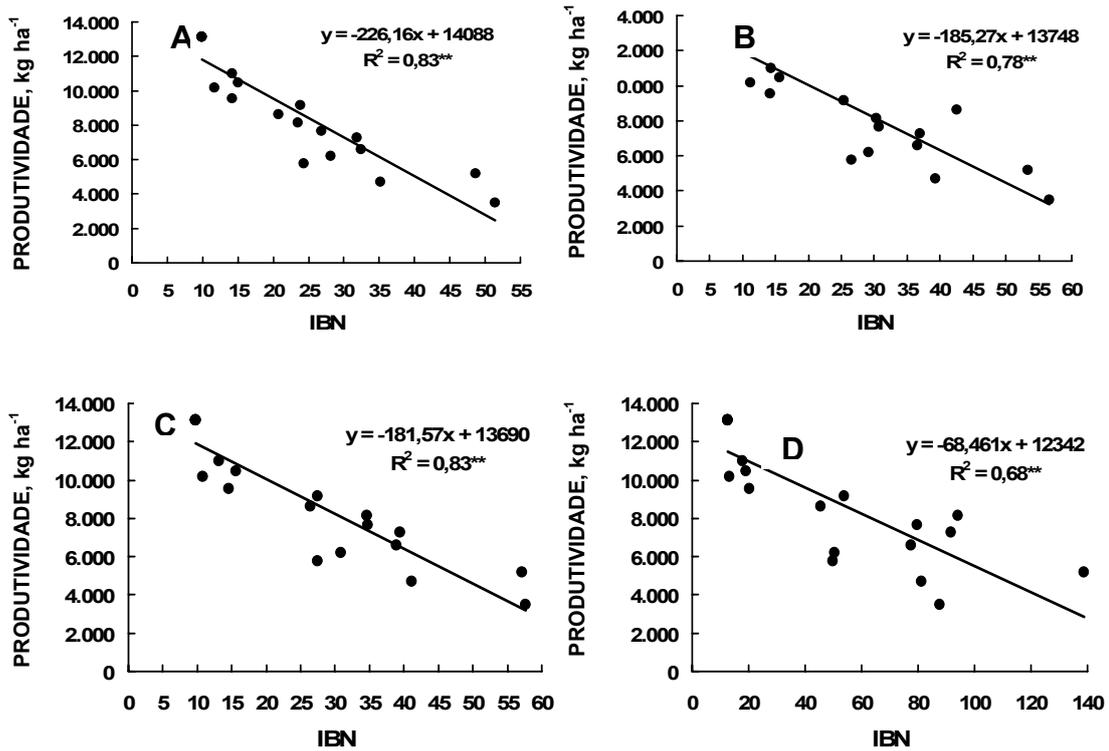


Figura 10. Relação entre o Índice de Balanço Nutricional (IBN) e a produtividade de grãos da sub-população de referência: ≥ 8.100 kg ha⁻¹ (A), ≥ 8.450 kg ha⁻¹ (B), ≥ 9.000 kg ha⁻¹ (C) e ≥ 9.450 kg ha⁻¹ (D) no estádio V6 da cultura do arroz irrigado em áreas experimentais no Rio Grande do Sul, safra 2006/07. Cada ponto refere-se a uma classe de produtividade de 450 kg ha⁻¹.

Das 103 amostras do banco de dados de perfilhamento da safra 2006/07, 34 fizeram parte da norma, sendo que destas, duas são da Depressão Central, duas da Campanha, uma da Planície Costeira Externa e 29 da região Sul, que representa, então, a maioria das amostras da população de referência, por ter atingido as maiores produtividades entre os experimentos da safra 2006/07.

Na Tabela 16 é apresentada a norma DRIS para a cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, com base nos dados coletados no perfilhamento. Observa-se que o coeficiente de variação da maioria das relações entre nutrientes, é bastante alto, principalmente em comparação com os coeficientes de variação obtidos na norma das amostras coletadas no estádio R2-R3 (Tabela 5). Essa questão é um ponto de dúvida na utilização do método DRIS para um estádio mais precoce de desenvolvimento da planta de

Tabela 16. Norma DRIS para o arroz irrigado (estádio V6) no Rio Grande do Sul, safra 2006/07

N°	Relação	Média	CV ¹	s ²	N°	Relação	Média	CV ¹	s ²
1	P/N	0,07	31,00	0,02	34	Ca/Cu	0,31	26,41	0,08
2	K/N	0,70	36,52	0,26	35	Fe/Ca	53,53	129,30	69,22
3	Ca/N	0,10	28,51	0,03	36	Ca/Mn	0,01	25,73	0,00
4	Mg/N	0,07	18,11	0,01	37	Ca/Mo	2,12	67,78	1,44
5	S/N	0,08	23,57	0,02	38	Ca/Zn	0,16	29,43	0,05
6	B/N	0,38	92,67	0,35	39	Mg/S	0,89	18,91	0,17
7	Cu/N	0,35	37,08	0,13	40	B/Mg	4,91	76,05	3,74
8	Fe/N	5,38	155,53	8,37	41	Cu/Mg	4,86	38,45	1,87
9	Mn/N	15,66	52,57	8,23	42	Fe/Mg	65,56	136,80	89,69
10	Mo/N	0,07	87,42	0,06	43	Mg/Mn	0,01	36,49	0,00
11	Zn/N	0,72	47,87	0,34	44	Mg/Mo	1,54	68,43	1,06
12	K/P	9,90	20,21	2,00	45	Zn/Mg	9,89	42,41	4,20
13	Ca/P	1,45	22,90	0,33	46	B/S	3,97	64,36	2,56
14	P/Mg	0,98	22,01	0,22	47	Cu/S	4,14	24,26	1,01
15	P/S	0,85	19,48	0,17	48	Fe/S	52,92	115,46	61,10
16	B/P	4,55	66,61	3,03	49	S/Mn	0,01	38,13	0,00
17	Cu/P	4,94	32,52	1,61	50	Mo/S	0,86	73,01	0,63
18	Fe/P	56,02	49,55	27,76	51	Zn/S	8,36	28,34	2,37
19	P/Mn	0,01	38,91	0,00	52	B/Cu	0,98	61,84	0,61
20	P/Mo	1,55	68,54	1,07	53	Fe/B	16,01	50,57	8,09
21	Zn/P	9,73	27,80	2,71	54	B/Mn	0,03	98,01	0,02
22	Ca/K	0,15	25,68	0,04	55	B/Mo	8,12	154,69	12,56
23	K/Mg	9,47	28,07	2,66	56	B/Zn	0,44	46,12	0,20
24	K/S	8,06	15,86	1,28	57	Fe/Cu	14,89	107,90	16,06
25	B/K	0,47	69,13	0,33	58	Cu/Mn	0,02	37,14	0,01
26	Cu/K	0,51	27,73	0,14	59	Cu/Mo	7,22	77,22	5,57
27	Fe/K	5,57	38,10	2,12	60	Zn/Cu	2,11	27,52	0,58
28	K/Mn	0,05	39,56	0,02	61	Fe/Mn	0,32	72,31	0,23
29	K/Mo	14,81	67,13	9,94	62	Fe/Mo	83,65	101,28	84,72
30	Zn/K	1,00	23,92	0,24	63	Fe/Zn	6,35	60,89	3,87
31	Ca/Mg	1,42	25,35	0,36	64	Mo/Mn	0,00	56,42	0,00
32	Ca/S	1,25	18,60	0,23	65	Zn/Mn	0,05	51,51	0,03
33	B/Ca	3,68	85,72	3,16	66	Zn/Mo	13,71	81,44	11,16

¹CV = Coeficiente de variação (%); ²s = Desvio padrão.

Observ.: unidade de medida da média da concentração dos macronutrientes em "g kg⁻¹" e dos micronutrientes em "mg kg⁻¹".

arroz irrigado, visto que a variabilidade das relações entre nutrientes nessa fase é mais alta, possivelmente em decorrência da mobilidade dos nutrientes dentro da planta nesse estágio de desenvolvimento da cultura, o que dificulta a amostragem sistemática de tecidos foliares que se encontrem na mesma situação nutricional. Segundo Yoshida (1981), em análise de tecido vegetal de arroz irrigado, os erros analíticos são muito menores do que os erros de amostragem. Yanagisawa e Takahashi (1964), ao estudarem a questão da amostragem em lavouras de arroz irrigado, obtiveram coeficientes de variação para a concentração de sete nutrientes na palha de arroz variando de 9 a 21%, o que indica a baixa precisão que se obtém na composição do tecido foliar amostrado a campo. Contudo, de acordo com Malavolta et al. (1997), quando o objetivo da diagnose foliar é corrigir uma deficiência nutricional no próprio ano agrícola, a época de amostragem é alterada, colhendo-se as folhas antes ou depois do período ideal de amostragem, momento em que é máxima a diferença entre teores encontrados nas folhas das plantas altamente produtivas e as outras com potencial médio ou baixo de produtividade. No caso do banco de dados em questão, o objetivo foi justamente efetuar uma amostragem previamente ao florescimento do arroz, buscando a possibilidade de corrigir, via adubação, deficiências apontadas pela diagnose foliar na safra em curso.

4.3.3 Índices DRIS

Assim como para o banco de dados de lavoura, após o estabelecimento das normas DRIS, foram calculados os índices DRIS para o arroz irrigado no estágio V6 da safra 2006/07. As relações obtidas entre as concentrações dos nutrientes e seus respectivos índices DRIS foram positivas e significativas ($p < 0,01$), conforme pode ser visto nas Figuras 11 e 12. Para os nutrientes P, K e Zn, essa relação foi baixa, o que indica que, para essa população, os índices DRIS desses nutrientes são mais dependentes das concentrações dos demais nutrientes que os compõem. Observa-se novamente a falta de linearidade na faixa de baixa concentração de Mn, B e Mo, a exemplo do ocorrido no florescimento (Figura 5), indicando a maximização das deficiências desses nutrientes pelo DRIS.

Também no estádio V6, estabeleceu-se graficamente o ponto de equilíbrio DRIS, quando a concentração do nutriente na folha foi equivalente ao índice DRIS igual a zero (Tabela 17).

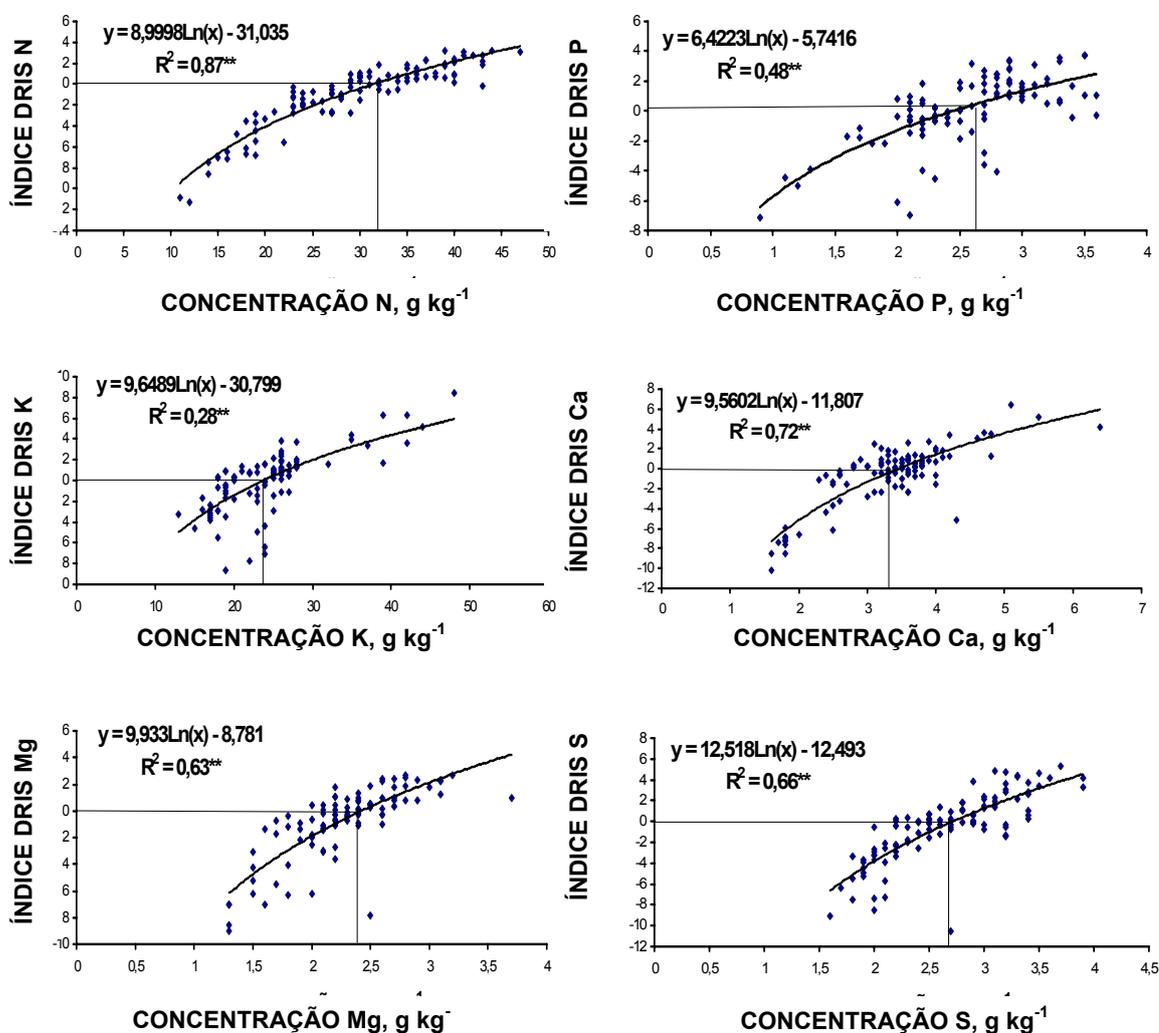


Figura 11. Relação entre os índices DRIS e a concentração de macronutrientes nas folhas de arroz irrigado no estádio V6, em áreas experimentais da safra 2006/07.

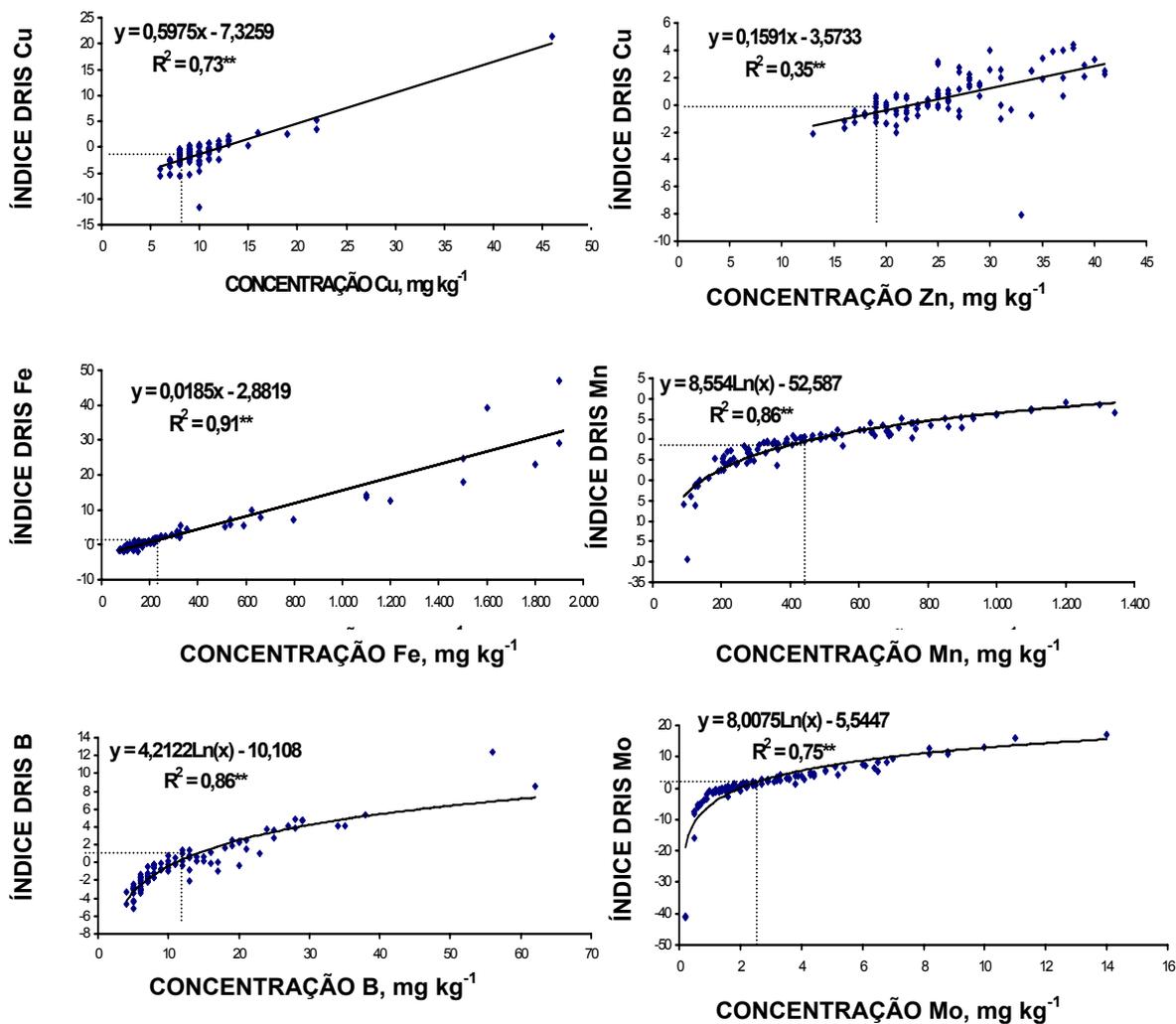


Figura 12. Relação entre os índices DRIS e a concentração de micronutrientes nas folhas de arroz irrigado no estádio V6, em áreas experimentais da safra 2006/07.

Como se pode perceber, comparando-se os valores da Tabela 17 com os da Tabela 6, as concentrações de nutrientes definidas como equilibradas pelo método DRIS no período de perfilhamento são maiores do que as obtidas no florescimento para todos os nutrientes. O manganês foi o único nutriente que apresentou concentração de equilíbrio bastante semelhante nos dois estádios de desenvolvimento do arroz irrigado.

Tabela 17. Ponto de equilíbrio nutricional DRIS para macro e micronutrientes no estágio V6 do arroz irrigado, em áreas experimentais da safra 2006/07

Nutriente	Ponto de equilíbrio nutricional DRIS
	.... g kg ⁻¹
N	32
P	2,6
K	24
Ca	3,3
Mg	2,4
S	2,7
	.... mg kg ⁻¹
Cu	12,5
Zn	23
Fe	200
Mn	480
B	11
Mo	2

Na Tabela 18 é apresentada a relação entre produtividade de grãos e índices DRIS, que apresenta significância estatística a 5% pelo teste t para os nutrientes nitrogênio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, manganês e molibdênio. Para os demais nutrientes analisados, não foi encontrada significância estatística.

As melhores relações foram observadas para manganês, magnésio, zinco e ferro, sendo estas apresentadas na Figura 13. Para zinco e ferro, observa-se relação negativa, ou seja, a produtividade diminui conforme os índices DRIS ficam mais positivos e distantes de zero, indicando que a produtividade da população avaliada foi negativamente afetada por altas concentrações desses nutrientes. Isso já era esperado no caso do ferro, pois a toxidez por ferro é um distúrbio nutricional comum em lavouras de arroz irrigado de diversos países (Sousa et al., 2004), sendo que no Rio Grande do Sul ocorre principalmente em variedades suscetíveis como BR IRGA 409 e BR IRGA 410, entre outras. Segundo Sousa et al. (2004), os sintomas de toxidez por ferro podem aparecer em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, embora sejam mais nítidos no final do perfilhamento e no início da floração. Assim, embora essas plantas não apresentassem, em sua maioria, sintomas

de toxidez por ferro, a concentração desse nutriente apresentava excesso no tecido foliar de parte das amostras para esse período inicial de desenvolvimento da cultura, como pode ser verificado na Figura 13. Segundo Lantin e Neue (1988), se a toxidez por ferro ocorrer nos estádios iniciais de desenvolvimento, as plantas sofrem severo retardamento no crescimento; quando ocorre mais tarde, o crescimento vegetativo não é muito afetado, mas o rendimento de grãos é reduzido devido à esterilidade de espiguetas.

Tabela 18 – Relação entre produtividade de grãos de arroz irrigado no estágio V6 e índices DRIS em áreas experimentais do Rio Grande do Sul na safra 2006/07, calculados pelo método Beaufils (1973)

Variável	Equação	R ²
I _N	$y = 159,86x + 9680,2$	0,20*
I _P	$y = -158,82x + 8950$	0,04 ^{ns}
I _K	$y = -10,608x + 8992,7$	0,00 ^{ns}
I _{Ca}	$y = 14,501x + 9024,3$	0,00 ^{ns}
I _{Mg}	$y = 1155x + 9909$	0,38*
I _S	$y = 640,76x + 9495,6$	0,21*
I _{Cu}	$y = -605,54x + 8524,5$	0,15 ^{ns}
I _{Zn}	$y = -1561,5x + 8902,5$	0,35*
I _{Fe}	$y = -665,08x + 10199$	0,42*
I _{Mn}	$y = 581,75x + 10011$	0,53*
I _B	$y = -418,37x + 9160,6$	0,05 ^{ns}
I _{Mo}	$y = -838,66x + 9844,5$	0,22*

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo.

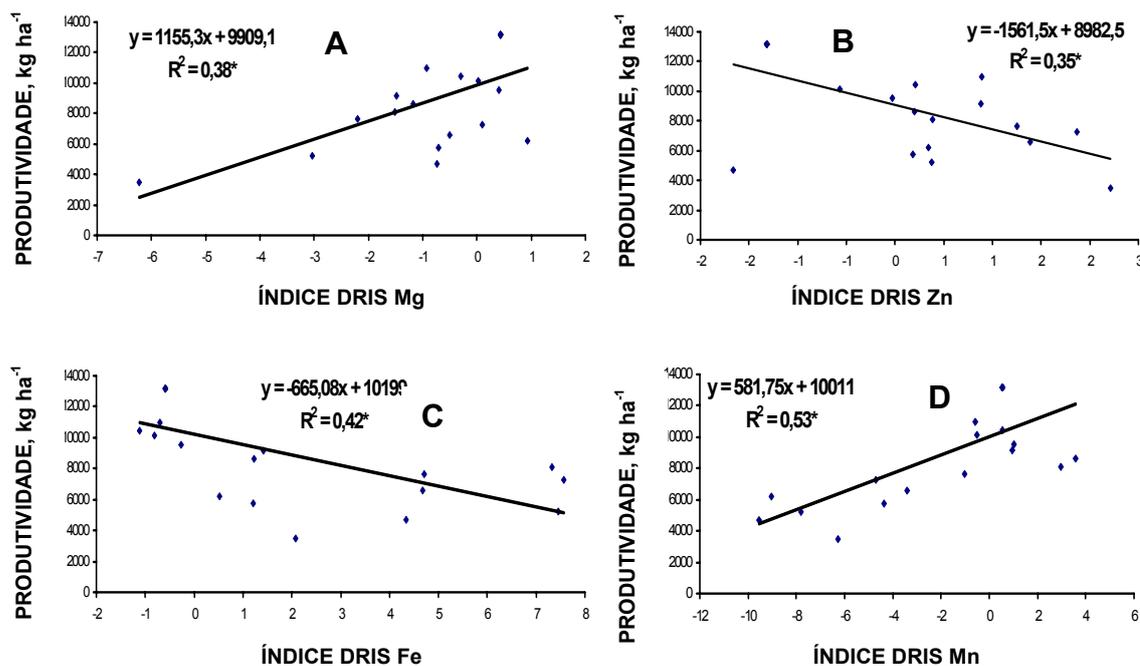


Figura 13 – Relação entre a produtividade de grãos de arroz irrigado no estádio V6 e os índices DRIS (Beaufils, 1973) para magnésio (A), zinco (B), ferro (C) e manganês (D) em áreas experimentais do Rio Grande do Sul, safra 2006/07. Cada ponto refere-se a uma classe de produtividade de 450 kg ha⁻¹.

O magnésio e o manganês apresentaram relação linear positiva entre a produtividade de grãos e os índices DRIS, ou seja, as menores produtividades estão associadas a índices DRIS negativos e distantes de zero. Mais uma vez, a informação com relação ao manganês encontra-se invertida pois, de fato, não está ocorrendo uma condição de deficiência desse nutriente na população avaliada. Já com relação ao magnésio, pode estar ocorrendo deficiência em decorrência de algumas amostras terem uma concentração foliar de cálcio muito elevada, causando desequilíbrio na relação entre esse dois macronutrientes.

4.3.4 Estado nutricional do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, estádio V6, safra 2006/07

Da mesma forma que para o estádio R2-R3, a avaliação do estado nutricional do arroz irrigado no estádio V6 deu-se pelo IBN calculado para cada uma das classes de produtividade pré-estabelecidas (Tabela 19). Mais uma vez, observa-se que os menores valores de IBN foram obtidos nas

produtividades mais altas, acima de 9.000 kg ha⁻¹, indicando a eficiência de utilização do método DRIS na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado do Rio Grande do Sul no estádio V6. No entanto, a ausência de um valor de IBN igual a zero evidencia a influência dos demais fatores, que não de ordem nutricional, na produtividade da cultura. A classe de produtividade de 4.051 a 4.500 kg ha⁻¹ apresentou baixo valor de IBN, mesmo atingindo baixa produtividade, aparentando bom equilíbrio nutricional e uma limitação de produtividade imposta por algum outro fator de produção.

Procedendo-se da mesma maneira que para o banco de dados anterior, os índices DRIS calculados para as 103 amostras coletadas no estádio V6 da safra 2006/07 foram subdivididos nas classes deficiente, adequado e excessivo, seguindo o critério de Wadt (1996), conforme apresentado na Tabela 20.

Tabela 19. Índice de Balanço Nutricional (IBN) por classe de produtividade de grãos de arroz irrigado do Rio Grande do Sul no estádio V6, safra 2006/07

Classes de produtividade	IBN
kg ha⁻¹	
3.600 - 4.050	57,70
4.051 - 4.500	9,80
4.501 - 4.950	45,66
4.951 - 5.400	40,89
5.401 - 5.850	49,46
5.851 - 6.300	36,06
6.301 - 6.750	38,03
6.751 - 7.200	34,83
7.201 - 7.650	35,23
7.651 - 8.100	39,42
8.101 - 8.550	34,56
8.551 - 9.000	32,50
9.001 - 9.450	24,77
9.451 - 9.900	15,05
9.901 - 10.350	9,68
10.351 - 10.800	12,81
10.801 - 11.250	13,93
13.051 - 13.500	9,80

Observ.: não houve parcelas com dados de produtividade na faixa de 11.251 a 13.050 kg ha⁻¹.

Tabela 20. Distribuição de freqüência das amostras foliares coletadas no estádio V6 em áreas experimentais de arroz irrigado do Rio Grande do Sul (safra 2006/07) em classes nutricionais definidas pelo método DRIS (Beaufils, 1973)

Nutriente	Classes nutricionais					
	Deficiente		Adequado		Excessivo	
	n ¹	%	n ¹	%	n ¹	%
N	16	16	70	69	16	16
P	13	13	66	65	22	22
K	21	21	62	61	19	19
Ca	14	14	75	74	13	13
Mg	18	18	70	69	13	13
S	23	23	58	57	21	21
Cu	20	20	76	75	6	6
Zn	9	9	84	82	9	9
Fe	13	13	63	62	24	24
Mn	39	39	33	33	28	28
B	26	29	54	59	11	12
Mo	16	16	43	44	39	40

¹Número de amostras.

A maior parte dos nutrientes analisados apresentou mais de 50% das amostras na faixa de diagnose adequada, com exceção do manganês e do molibdênio. O manganês apresentou deficiência em 39% das amostras, havendo nesse diagnóstico, mais uma vez, a maximização da sua deficiência pelo método DRIS. Já o molibdênio mostrou-se excessivo em 40% dos casos, indicando uma situação de excesso no banco de dados estudado.

Os quatro nutrientes que apareceram como deficientes com mais freqüência, após o cálculo do DRIS nessas amostras do estádio V6, são, na ordem, Mn, B, Mg e K (Tabela 21).

Tabela 21. Nutrientes mais limitantes à produtividade do arroz irrigado no estádio V6, no Rio Grande do Sul (% em relação à população), conforme método DRIS (Beaufils, 1973), na safra 2006/07

Nutriente	Casos	%
Mn	19	18
B	17	17
Mg	11	11
K	11	11

Novamente, observa-se o manganês como o mais deficiente, ocorrendo em 18% dos casos. A deficiência de boro provavelmente deve-se, como já explicado anteriormente, à baixa disponibilidade desse nutriente no solo, ou ao fato da maximização dos valores deficientes pelo método DRIS, mostrada na Figura 12. Para magnésio, a deficiência decorre possivelmente da alta concentração de cálcio encontrada em algumas amostras, afetando o equilíbrio entre esses dois nutrientes. Já para o potássio, pode haver pouca disponibilidade do nutriente no solo ou a deficiência pode estar ocorrendo, além da própria disponibilidade no solo, também devido ao teor alto de ferro, detectado em parte das amostras. Segundo Howeler (1973), a toxidez indireta de ferro é causada por deficiência nutricional, principalmente de P, K, Ca e Mg, decorrente de níveis relativamente altos de ferro na solução do solo.

4.4 Possibilidade de uso de uma norma única para diferentes épocas de amostragem de tecido de arroz irrigado

Um dos fundamentos do DRIS é que as relações entre os nutrientes permanecem constantes, independentemente da idade do tecido (Beaufils, 1973). Segundo Bataglia et al. (1996), em função do uso de relações entre nutrientes e não dos valores absolutos, problemas de diagnose decorrentes de variação na idade fisiológica e na parte amostrada são minimizados. No entanto, estudos realizados para testar o conceito do DRIS têm demonstrado que o mesmo não é totalmente independente das condições locais e da época de amostragem (Bataglia & Santos, 1990). Assim, com o objetivo de testar a possibilidade de utilização de uma norma única para todas as épocas de amostragem no arroz irrigado, se utilizou as normas estabelecidas para o arroz irrigado no florescimento (dados da safra 2005/06, Tabela 5) para efetuar a diagnose nutricional das amostras coletadas no estágio V6 nas áreas experimentais da safra 2006/07.

A relação entre IBN e produtividade de grãos obtida desse estudo é apresentada na Figura 14, onde se verifica que o coeficiente de determinação foi um pouco menor que o obtido pela norma estabelecida especificamente para as amostras coletadas no estágio V6 (Figura 10 C), embora tenha sido alto e significativo ($p < 0,01$).

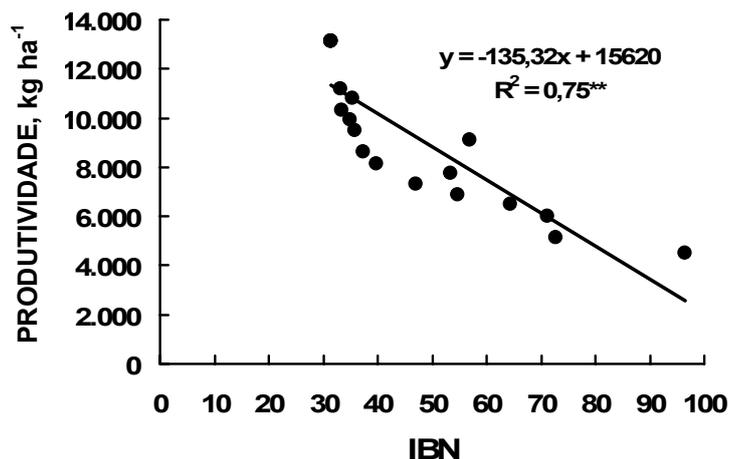


Figura 14. Relação entre a produtividade de grãos de arroz irrigado no estágio V6 e o Índice de Balanço Nutricional (IBN) no Rio Grande do Sul, safra 2006/07, calculado a partir da norma das lavouras da safra 2005/06. Cada ponto refere-se a uma classe de produtividade de 450 kg ha⁻¹.

Assim, por essa análise exploratória, conclui-se que o estabelecimento de uma norma DRIS a partir de dados coletados no perfilhamento ($R^2 = 0,83$) possibilita uma diagnose nutricional mais precisa do arroz irrigado em período precoce de desenvolvimento (Figura 10 C), do que uma norma geral que possa ser utilizada para plantas amostradas em diferentes estágios de desenvolvimento. No entanto, o alto coeficiente de determinação mostrado na Figura 14 demonstra que talvez seja possível a utilização de uma norma única, desde que a mesma tenha sua sensibilidade ajustada para tal situação. Isso vem ao encontro da teoria de Beaufils (1973) de que o método DRIS, por considerar as relações entre nutrientes, é menos afetado pelo período de amostragem que os demais critérios de interpretação de diagnose foliar.

4.5 Relação entre absorção de nutrientes, biomassa da parte aérea e produtividade de grãos

Como a produtividade de grãos de arroz e as concentrações dos nutrientes no tecido foliar apresentaram pouca ou nenhuma relação na safra 2005/06 (Tabela 2), procurou-se determinar na safra 2006/07 também a quantidade de nutrientes absorvida pela planta de arroz. Para isso, foram coletadas, além das folhas V6 (no perfilhamento) e bandeira (no florescimento)

as partes aéreas inteiras das plantas em áreas pré-delineadas das parcelas experimentais na safra 2006/07 (itens 3.1 e 3.2 do Material e Métodos).

A expectativa era de que houvesse melhor relação entre a produtividade de grãos e a quantidade de nutrientes contida nas plantas. O que se obteve (Tabela 22), no entanto, foram correlações também muito baixas, indicando haver pouca relação entre as variáveis avaliadas, principalmente no que diz respeito à relação entre quantidade de nutrientes na parte aérea e produtividade do arroz irrigado. A melhor correlação foi obtida entre a absorção de nutrientes nos dois estádios avaliados: perfilhamento e florescimento, indicando proporcionalidade entre os dois estádios. Segundo Barbosa Filho (1987), em geral os nutrientes são absorvidos durante todo o ciclo da cultura do arroz, diferindo nas velocidades de absorção e de translocação das folhas e dos colmos para os grãos.

Embora as correlações estudadas (Tabela 22) não tenham sido altas e não seja possível identificar relação entre quantidade absorvida de nutrientes e produtividade de grãos da cultura, a aplicação do método DRIS foi eficiente como forma de diagnose nutricional nos dois estádios de desenvolvimento avaliados, indicando a possibilidade de sua utilização tanto em um estágio como no outro. Isso indica que o mais importante no estado nutricional do arroz irrigado é o balanço de nutrientes.

Tabela 22. Correlações entre teor absorvido de nutrientes e matéria seca, entre concentração e absorção de nutrientes e entre produtividade e absorção de nutrientes, nos estádios de perfilhamento (V6) e florescimento (R2-R3) do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, safra 2006/07

Nutriente	Perfilhamento	Florescimento	Perfilhamento x Florescimento		Perfilhamento	Florescimento
	Teor x MS	Teor x MS	Teor	Absorção	Absorção x Produtividade	Absorção x Produtividade
	.....Coeficiente de determinação (R ²).....					
N	< 0,01 ^{ns}	0,12*	0,21*	0,21*	0,01 ^{ns}	0,06*
P	< 0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,1*	0,56*	0,02 ^{ns}	0,11*
K	0,04*	0,01 ^{ns}	0,06*	0,42*	0,02 ^{ns}	0,08*
Ca	0,02 ^{ns}	0,27*	0,07*	0,49*	0,01 ^{ns}	< 0,01 ^{ns}
Mg	0,13*	0,76*	0,04*	0,53*	< 0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}
S	< 0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,04*	0,30*	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Cu	< 0,01 ^{ns}	0,13*	< 0,01 ^{ns}	0,20*	0,02 ^{ns}	0,04*
Zn	0,08*	0,18*	0,01 ^{ns}	0,60*	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Fe	0,10*	0,38*	< 0,01 ^{ns}	0,31*	0,03 ^{ns}	< 0,01 ^{ns}
Mn	0,03 ^{ns}	0,52*	0,31*	0,90*	< 0,01 ^{ns}	< 0,01 ^{ns}
B	0,12*	< 0,01 ^{ns}	0,25*	0,05*	0,05*	0,01 ^{ns}
Mo	< 0,01 ^{ns}	< 0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,33*	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ^{ns} Não significativo.

5. CONCLUSÕES

- As normas DRIS estabelecidas a partir de dados de lavouras comerciais da safra 2005/06 mostram-se eficientes na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado no Rio Grande do Sul.
- A relação entre a produtividade de grãos e o Índice de Balanço Nutricional (IBN) apresenta melhor ajuste para os bancos de dados estudados quando as normas DRIS são estabelecidas utilizando como população de referência aquela de produtividade $\geq 9.000 \text{ kg ha}^{-1}$.
- A concentração dos nutrientes apresenta relação positiva com os respectivos índices DRIS, nos bancos de dados de lavouras e de experimentos.
- O Índice de Balanço Nutricional (IBN) resultante do cálculo de índices DRIS a partir das normas geradas, apresenta correlação negativa com a produtividade de grãos para os dois estádios de desenvolvimento do arroz irrigado avaliados.
- A determinação do ponto de equilíbrio DRIS permite o estabelecimento de um padrão nutricional para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul, viabilizando a utilização da diagnose foliar como ferramenta de monitoramento do estado nutricional da cultura.
- A avaliação do estado nutricional de plantas de arroz irrigado coletadas no estágio V6 é possível, desde que se utilize uma norma DRIS desenvolvida especificamente para esse estágio de desenvolvimento.
- O método DRIS, utilizando normas específicas para o Rio Grande do Sul, é eficiente no diagnóstico nutricional do arroz irrigado.
- A partir das normas DRIS elaboradas nesse trabalho, torna-se possível utilizar a diagnose foliar como forma de avaliação do estado nutricional de lavouras de arroz irrigado no Rio Grande do Sul.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDRICH, S.R. **Plant Analysis: Problems and Opportunities**. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America. Madison, 1973. p.213-221.
- ANGHINONI, I.; GENRO Jr., S.A.; SILVA, L.S.; BOHNEN, H.; RHEINHEIMER, D.S.; OSÓRIO F^o, B.D.; MACEDO, V.R.M.; MARCOLIN, E. **Fertilidade dos Solos Cultivados com Arroz Irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: Instituto Rio Grandense do Arroz – EEA/Divisão de Pesquisa, 2004. 51p. (Boletim Técnico)
- AZAMBUJA, I.H.V.; VERNETTI Jr., F.J.; MAGALHÃES Jr., A.M. Aspectos socioeconômicos da produção de arroz. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES Jr., A.M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 23-44
- BAILEY, J.S.; BEATTIE, J.A.M.; KILPATRICK, D.J. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards: I. Model establishment. **Plant and Soil**, Wageningen, v. 197, p.127-135, 1997.
- BARBOSA FILHO, M.P. **Nutrição e adubação do arroz: (sequeiro e irrigado)**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. (Boletim Técnico, 9)
- BARTZ, H.R. **Adsorção e disponibilidade de boro em alguns solos do Rio Grande do Sul**. 1974. 95f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1974.
- BATAGLIA, O.C. DRIS-Citros: uma alternativa para avaliar a nutrição das plantas. **Revista Laranja**, Cordeirópolis, v.10, p.565-576, 1989.
- BATAGLIA, O.C. DRIS: Origem e Atualidade. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.10-12, 1999.
- BATAGLIA, O.C.; DECHEN, A.R. Critérios alternativos para diagnose foliar. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Campinas, 1986. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. 179p.

- BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R. Efeito do procedimento de cálculo e da população de referência nos índices do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.339-344, 1990.
- BATAGLIA, O. C.; DECHEN, A. R.; SANTOS, W. R. Princípios da Diagnose Foliar. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.; M.P.F. (Ed.). **O Solo nos Grandes Domínios Morfológicos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentável**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, 1996. p.646-659
- BEAUFILS, E.R. Physiological diagnosis – a guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. **Fertilizer Society of South African Journal**, Pretoria, v.1, p.1-30, 1971.
- BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)**. A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Pietermeritzburg: University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, 1)
- BEVERLY, R.B.; SUMNER, M.E.; LETZSCH, W.S.; PLANCK, C.O. Foliar diagnosis of soybean by DRIS. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.17, p.237-256, 1986.
- BISSANI, C.A.; MEURER, E.J.; BOHNEN, H. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J. (Ed.) **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre, Evangraf: 2006. p.163-180
- BREMNER, J.M.; EDWARDS, H.P. Determination and isotope ratio analyses of different form of nitrogen in soils. I. Aparatus and procedures for destilation and determination for ammonium. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v.29, n.5, p.504-507, 1965.
- CHOJNACKI, A. The evaluation of the nutritional status of oats by the DRIS method. In: International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition, 6., 1984, Montpelier. **Proceedings**. Montpelier: 1984, v.1, p.139-148.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS) - RS/SC. **Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do**

- Sul e de Santa Catarina.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul: Porto Alegre, 2004. 394p.
- Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. **12º Levantamento da safra 2006/2007.** Disponível em: www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/11levsafra.pdf. Acesso em 21 ago. 2007.
- CORNFORTH, I.S.; STEELE, K.W. Interpretation of maize leaf analysis in New Zealand. **New Zealand Journal of Experimental Agriculture**, Wellington, v.9, p. 91-96, 1981.
- COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHEL, A.J. A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, p.436-443, 2000.
- CRESTE, J.E. **Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional do Limoeiro Siciliano.** Botucatu: UNESP, 1996. 120f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.
- CRESTE, J.E.; NAKAGAWA, J. Estabelecimento do método DRIS para a cultura do limoeiro em função da análise foliar; 1: Cálculo das normas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.19, n.3, p.297-305, 1997.
- CRUZ, C.D. **Programa GENES:** versão Windows: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648p
- DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição Mineral de Plantas.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.327-354.
- ELWALI, A.M.O.; GASCHO, G.J. Soil testing, foliar analysis and DRIS as guides for sugarcane fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, p.466-470, 1984.
- ELWALI, A.M.O.; GASCHO, G.J.; SUMNER, M.E. Sufficiency levels and DRIS norms for 11 nutrients in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, p.506-508, 1985.

- ESCANO, C.R.; JONES, C.A.; UEHARA, G. Nutrient diagnosis in corn on Hydric Dystrandpeats: II. Comparison of two systems of tissue diagnosis. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.45, p.1140-1144, 1981.
- EVENHUIS, B. & WAARD, P.W.F. Principles and practices in plant analysis. In: FAO. **Soils**. Rome, 1980. p.152-163. (FAO Bulletin, 38/1)
- GALLO, J.R.; COELHO, F.A.S.; MIRANDA, L.T. A análise foliar na nutrição do milho. I – Resultados Preliminares. **Bragantia**, Campinas, v.24: 1965.
- HALLMARK, W.B.; BEVERLY, R.B.; PARKER, M.B.; ADAMS, J.F.; BOSWELL, F.C.; OHKI, K.; SHUMAN, L.M.; WILSON, D.O. Evaluation of zinc and manganese requirements by the M-DRIS and sufficiency range methods. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.770-776, 1989.
- HANSON, R.G. DRIS evaluation on N, P, K status of determinants soybeans in Brazil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 12, p.933-948, 1981.
- HOOGERHEIDE, H.C. **DRIS para avaliação do estado nutricional da soja em duas regiões do cerrado brasileiro**. Piracicaba: ESALQ, 2005. 94f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- HOWELER, R.H. Iron-induced orangine disease of rice in relation to physical-chemical changes in a flooded oxisol. **Soil Science Society American Proceeding**, Madison, v.73, n.6, p.898-903, 1973.
- IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Curso de Fertilidade e Nutrição do Arroz Irrigado**. Cachoeirinha: Estação Experimental do Arroz (EEA/IRGA), 2004. (CD ROM)
- IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Censo da lavoura de arroz irrigado do Rio Grande do Sul – safra 2004/5**. Porto Alegre, 2006. 122p.
- IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Dados de safra – Acompanhamento semanal do ciclo da cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20070606172242.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2007a.

- IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Dados de safra – Acompanhamento semanal de colheita**. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20070606172200.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2007b.
- IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Dados de safra: Resumo dos itens do custo de produção safra 2006/2007**. Porto Alegre, Departamento Comercial e Industrial – Seção de Política Setorial, 27 agosto. 2007c.
- IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Programa Arroz RS 2007-2010: Geração e Difusão de Tecnologia**. Porto Alegre, 2007d. 33p.
- IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Curso sobre Manejo Integrado do Arroz** (MICA – 12^a Edição). Cachoeirinha: Estação Experimental do Arroz (EEA/IRGA), 2007e. (CD ROM)
- JONES, C.A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analysis. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Madison, v.12, p.785-794, 1981.
- JONES, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide**. Athens: Micro-macro publishing, 1991. 213p.
- KURIHARA, C.H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. 101f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- LAGATU, H. ; MAUME, L. Le diagnostic foliare de la pomme de terre. **Annee Ecole Nationale Agriculture**, Montpellier, 22: 50-158, 1934.
- LANTIN, R.S.; NEUE, H.V. Iron toxicity: a nutritional disorder in wetland rice. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 18., Pelotas, 1988. 16p. **Anais**. Pelotas, 1988. Palestra apresentada.
- LANTMANN, A.F.; PEREIRA, L.R.; ZOBIOLE, L.H.S.; CASTRO, C.; ORTIZ, F.R. Normas DRIS regionalizadas para avaliação do balanço nutricional da soja no Estado do Paraná. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., São Pedro, 2002. **Resumos**. Londrina: Embrapa Soja, 2002. 128p.

- LEANDRO, W.M. **Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) para a cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) na região de Rio Verde-GO**. 1998. 159f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1998.
- LETZSCH, W.S. Computer program for selection of norms for use in the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.16, p.339-347, 1985.
- LETZSCH, W.S.; SUMNER, M.E. Effect of population size and yield level in selection of diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) norms. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.15, p.997-1006, 1984.
- LOPES, M.S.; SANTOS, O.S. dos; CABRAL, J.T.; IOCHPE, B. Efeito de micronutrientes sobre o rendimento de grão de arroz irrigado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 14., 1985, Pelotas. **Anais**. Pelotas, EMBRAPA-CPATB, 1985. p.226-234
- MAEDA, S. **Interpretação do estado nutricional de soja pelo DRIS no Mato Grosso do Sul**. Curitiba: UFPR, 2002. 107f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- MAIA, C. Análise crítica da fórmula original de Beaufils no cálculo dos índices DRIS: a constante de sensibilidade. In: WADT, P.G.S.; MALAVOLTA, E. (Org.). **Monitoramento nutricional para a recomendação de adubação de culturas**. Piracicaba: Potafos, 1999. (CD-ROM)
- MALAVOLTA, E.; FORNAISERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: FERREIRA, M.E.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E., ed. **Cultura do arroz de sequeiro – fatores afetando a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1983. p.95-140
- MALAVOLTA, E., MALAVOLTA, M.L. Diagnose foliar – princípios e aplicações. In: SIMPÓSIO SOBRE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO E PLANTA PARA FINS DE ADUBAÇÃO, Botucatu, 1988. **Anais**. Botucatu: UNESP, 1988. 86p.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed.. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MARCHEZAN, E.; SANTOS, O.S.; SILVA, R.P.; KINZEL FILHO, C.; REZER, J. Adubação foliar com micronutrientes em arroz irrigado, em várzea sistematizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1999, Pelotas. **Anais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.366-368.
- MELDAL-JOHNSEN, A.; SUMNER, M.E. Foliar diagnostic norms for potatoes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.2, p.569-576, 1980.
- MENEZES, V.G.; MACEDO, V.R.M.; ANGHINONI, I. **Projeto 10: Estratégias de manejo para o aumento de produtividade, competitividade e sustentabilidade da lavoura de arroz do RS**. Cachoeirinha: Instituto Riograndense do Arroz - Divisão de Pesquisa, 2004. 32p.
- MOURÃO FILHO, F.A.A.; AZEVEDO, J.C. Funções e ordem da razão dos nutrientes no estabelecimento de normas DRIS em laranjeiras “Valência”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.185-192, 2002.
- NACHTIGALL, G.R. **Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) para avaliação do estado nutricional da macieira no sul do Brasil**. Piracicaba: ESALQ, 2004. 141f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- NICK, J.A. **DRIS para cafeeiros podados**. Piracicaba: ESALQ, 1998. 68f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- OLIVEIRA, S.A. Avaliação do balanço nutricional no sistema solo-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Goiânia, 1993. **Resumos**. Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. p.43-33
- OSCIP. Organização da Sociedade Civil de Interesse Público. Museu do Arroz. **Revista Defender**, Cachoeira do Sul, n 2, p.16, junho 2006. 35p.

- PINTO, L.F.S.; NETO, J.A.L.; PAULETTO, E.A. Solos de várzea do sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES Jr., A.M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 75-95
- PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.24: p.29-96, 1972.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 170p.
- REIS JUNIOR, R.A. Dris Norms Universality In The Corn Crop. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 33, p.711-735, 2002.
- REIS JUNIOR, R.A.; CORRÊA, J.B.; CARVALHO, J.G. de; GUIMARÃES, P.T.G. Estabelecimento de normas DRIS para o cafeeiro no sul de Minas Gerais: 1ª aproximação. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.26, p.269-282, 2002.
- REZER, J.; MARCHEZAN, E.; VIZZOTTO, V.R.; GRANETTO, I.H. Aplicação de micronutrientes em arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado, em área de várzea sistematizada. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1997, Balneário Camboriú, 1997. **Anais**. Itajaí: EPAGRI, 1997. p.248-250
- ROMINGER, R.S.; SMITH, D.; PETERSON, L.A. Changes in elemental concentrations in alfafa herbage at two soil fertility levels with advance in maturity. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 6, p.163-180, 1975.
- SALVO, J.G. **Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional de plantas cítricas afetadas pela clorose variegada dos citros**. Piracicaba: ESALQ, 2001. 108f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- SCHUTZ, C.J.; VILLIERS, J.M. Foliar diagnosis and fertilizer prescription in forestry – the DRIS system and its potential. **South African Forestry Journal**, Natal, v.141, p.6-12, 1987.

- SCIVITTARO, W.B.; MACHADO, M.O. **Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado**. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES Jr., A.M. Arroz Irrigado no Sul do Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 259-303
- SILVA, E.B.; NOGEURA, F.D.; GUIMARÃES, P.T.G. Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional do cafeeiro em resposta à adubação potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.247-255, 2003.
- SOSBAI. **Arroz Irrigado - Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Santa Maria: SOSBAI, 2005. 159p.
- SOUSA, R.; CAMARGO, F.A.O.; VAHL, L.C. Solos alagados (reações de redox). In: MEURER, E. J. (Ed.) **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre, Evangraf, 2006. p.185-211
- SOUSA, R.O.; GOMES, A.S.; VAHL, L.C. Toxidez por ferro em arroz irrigado. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES Jr., A.M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 305-334
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS: UFRGS, 2002.
- SUMNER, M.E. Preliminary N, P, and K foliar diagnostic norms for soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, p.226-230, 1977a.
- SUMNER, M.E. Preliminary NPK foliar diagnostic norms for wheat. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.8, p.149-167, 1977b.
- SUMNER, M.E. Effect of corn leaf sampled on N, P, K, Ca and Mg content and calculated DRIS Index. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.8, p.269-280, 1977c.
- SUMNER, M.E. Interpretation of foliar analysis for diagnostic purposes. **Agronomy Journal**, Madison, v.71, p.343-348, 1979.
- SUMNER, M.E.; RENEAU JR., R.B.; SCHULTE, E.E.; AROGUM, J.O. Foliar diagnostic norms for sorghum. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.14, n.9, p.817-825, 1983.

- TANAKA, A.; YOSHIDA, S. **Nutritional disorders of the rice plant in Asia**. Los Baños: International Rice Research Institute of Technology, 1970. (Bulletin 10)
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. Conjunto modulado em vidro para destilação a vapor de amônia pelo método Kjeldahl. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p.61-63, 1979.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. Ed. Porto Alegre: Depto de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5)
- TOLEDO, G.L.; OVALLE, I.I. **Estatística básica**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1985.
- ULRICH, A.; HILLS, F.J. Principles and practices of plant analysis. In: HARDY, G.W. (Ed.) **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society American, 1967. p.11-24 (Special Publication, 2)
- VELOSO, C.A.C.; GRAÇA, J.J. da C.; GAMA, J.R.N.F. Estabelecimento do método DRIS para a cultura de citros na Mesorregião do Nordeste do Estado do Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.22, n.3, p.372-376, 2000.
- VIGIER, B.; MACKENZIE, A.F.; CHEN, Z. Evaluation of diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) on early maturing soybeans. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.20, p.685-693, 1989.
- WADT, P.G.S. **Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação do estado nutricional de plantios de eucalipto**. Viçosa: UFV, 1996. 123f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.
- WADT, P.G. Loucos em Terras de Doidos. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 15-19, 1999.
- WADT, P.G.S.; SILVA, D.J.; MAIA, C.E.; TOMÉ Jr., J.B.; PINTO, P.A. C.; MACHADO, P.L.O. A. Modelagem de funções no cálculo dos índices DRIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n.1, p.57-64, 2007.

WALWORTH, J.L.; SUMNER, M.E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Advances in Soil Sciences**, Berlin, v.6, p.149-188, 1987.

WALWORTH, J.L.; SUMNER, M.E.; ISAAC, R.A. et al. Use of boundary lines in establishing diagnostic norms. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p.123-128, 1986.

WORTHMANN, C.S.; KISAKYE, J.; EDGE, O.T. The diagnosis and recommendation integrated system for dry bean: determination and validation of norms. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.15, n.11, p.2369-2379, 1992.

YANAGISAWA, M.; TAKAHASHI, J. Studies on the factors related to the productivity of paddy soils in Japan with special reference to the nutrition of the rice plants. **Bulletin of the National Institute of Agricultural Science**, Ser.B, v.14, 1964, p.41-171.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of Rice Crop Science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. 269p.

7. Apêndices

Apêndice 1. Localização, área cultivada, número de amostras e tipo de solo das lavouras e experimentos amostrados nas 6 regiões arrozeiras do RS

Região e área cultivada com arroz irrigado (ha)	Municípios	Latitude	Longitude	Área ¹ (ha)	Número de amostras		Solo de várzea predominante
					2005/2006	2006/2007	
Campanha 122.140	Aceguá	31° 51' 55" S	54° 10' 02" W		3		Planossolo, Chernossolo e Vertissolo
	Bagé	31° 19' 53" S	54° 06' 25" W	10.440	9		Planossolo e Chernossolo
	Cacequi	29° 53' 01" S	54° 49' 30" W	16.000	11		Planossolo
	Candiota	31° 33' 29" S	53° 40' 21" W		2		Planossolo e Chernossolo
	Dom Pedrito	30° 58' 58" S	54° 40' 23" W	29.460	30	9	Planossolo e Chernossolo
	Jaguarí	29° 29' 51" S	54° 41' 24" W		1		Planossolo
	Nova Esperança do Sul	29° 24' 35" S	54° 49' 95" W		1		Planossolo
	Rosário do Sul	30° 15' 30" S	54° 54' 51" W	15.000	13		Planossolo
São Vicente do Sul	29° 41' 30" S	54° 40' 46" W	12.240	14		Planossolo	
Depressão Central 160.702	Agudo	29° 38' 43" S	53° 14' 24" W	15.508	18		Planossolo
	Caçapava do Sul	30° 30' 44" S	53° 29' 29" W	4.600	1		Planossolo
	Cachoeira do Sul	30° 02' 21" S	52° 53' 38" W	39.323	11		Planossolo
	Candelária	29° 40' 09" S	52° 47' 20" W	14.460	2		Planossolo
	Cerro Branco	29° 39' 16" S	52° 56' 01" W		2		Planossolo
	Dilermando de Aguiar	29° 42' 23" S	54° 12' 30" W		1		Planossolo
	Dona Francisca	29° 37' 18" S	53° 21' 26" W		11		Planossolo
	Restinga Seca	29° 48' 48" S	53° 22' 30" W	21.300	7	10	Planossolo e Gleissolo
	Santa Maria	29° 41' 03" S	53° 48' 25" W	13.000	3		Planossolo e Chernossolo
Vale do Sol	29° 36' 13" S	52° 40' 59" W		1		Planossolo	
Fronteira Oeste 248.538	Alegrete	29° 46' 59" S	55° 47' 31" W	47.200	9		Planossolo, Chernossolo e Vertissolo
	Barra do Quaraí	30° 12' 26" S	57° 33' 17" W		1		Planossolo e Chernossolo
	Itaqui	29° 07' 31" S	56° 33' 11" W	67.344	14		Planossolo, Chernossolo e Gleissolo
	Manoel Viana	29° 35' 21" S	55° 28' 58" W		2		Planossolo
	Santo Antônio das Missões	28° 30' 41" S	55° 13' 40" W	3.960	2		Gleissolo e Plintossolo
	São Borja	28° 39' 38" S	56° 00' 16" W	44.495	7		Gleissolo e Plintossolo
	São Miguel das Missões	28° 33' 46" S	54° 33' 15" W		1		Gleissolo e Plintossolo
	Uruguaiana	29° 45' 17" S	57° 05' 18" W	77.211	25	10	Planossolo, Chernossolo e Neossolo
Planície Costeira Externa 121.522	Cachoeirinha	29° 57' 04" S	51° 05' 38" W			10	Gleissolo e Planossolo
	Dom Pedro de Alcântara	29° 22' 10" S	49° 50' 59" W		2		Gleissolo, Neossolo e Chernossolo
	Glorinha	29° 52' 50" S	50° 46' 59" W		1		Planossolo
	Morrinhos do Sul	29° 21' 54" S	49° 56' 05" W		1		Planossolo
	Mostardas	31° 06' 25" S	50° 55' 16" W	37.166	9	10	Neossolo
	Palmares do Sul	30° 15' 28" S	50° 30' 35" W	32.524	13		Planossolo
	Santo Antônio da Patrulha	29° 49' 03" S	50° 31' 11" W	19.786	13		Planossolo
	São José do Norte	32° 00' 53" S	52° 02' 30" W		3		Neossolo e Planossolo
	Taquara	29° 39' 02" S	50° 46' 50" W		1		Chernossolo
	Tavares	31° 17' 14" S	51° 05' 37" W		1		Neossolo e Planossolo
	Torres	29° 20' 07" S	49° 43' 37" W	6.066	9		Gleissolo, Neossolo e Chernossolo
	Três Cachoeiras	29° 27' 20" S	49° 55' 28" W		1		Gleissolo, Neossolo e Chernossolo
Viamão	30° 04' 52" S	51° 01' 24" W	25.980		10	Gleissolo e Planossolo	
Planície Costeira Interna 130.592	Arambaré	30° 54' 54" S	51° 29' 52" W		2		Planossolo e Gleissolo
	Barra do Ribeiro	30° 17' 28" S	51° 18' 04" W		3		Planossolo
	Camaquã	30° 51' 04" S	51° 48' 44" W	48.700	12		Planossolo e Gleissolo
	Charqueadas	29° 57' 17" S	51° 37' 31" W		1		Planossolo
	Eldorado do Sul	30° 05' 02" S	51° 36' 58" W		1		Planossolo
	General Câmara	29° 54' 18" S	51° 45' 37" W	19.710	13		Planossolo
	São Lourenço do Sul	31° 21' 55" S	51° 58' 42" W	11.240	6		Planossolo
Tapes	30° 40' 24" S	51° 23' 45" W	17.382	6		Planossolo e Gleissolo	
Sul 145.287	Arroio Grande	32° 14' 15" S	53° 05' 13" W	39.510	13		Planossolo
	Capão do Leão	31° 45' 48" S	52° 29' 02" W		6		Planossolo
	Jaguarão	32° 33' 58" S	53° 22' 33" W	17.800	10		Planossolo e Chernossolo
	Pedras Altas	31° 43' 00" S	53° 35' 16" W		1		Planossolo
	Pelotas	31° 46' 19" S	52° 20' 33" W	21.240	10		Planossolo
	Rio Grande	32° 02' 06" S	52° 05' 55" W	16.700	15		Planossolo
Santa Vitória do Palmar	33° 31' 08" S	53° 22' 05" W	50.037	10	44	Planossolo, Chernossolo e Neossolo	

¹ Área cultivada com arroz irrigado na safra 2006/2007, por município

Apêndice 2. Localização, tipo e características de fertilidade do solo e tratamentos em experimentos de adubação na safra 2006/07

Região	Município	Solo	Teor no solo				N-P ₂ O ₅ -K ₂ O para incrementos de produtividade (Mg ha ⁻¹)				
			Mat. Org.	Fósforo	Potássio	CTC	Testemunha	2	3	4	6
			%	.....mg dm ⁻³.....	.....	cmolc dm ⁻³	.....	kg ha ⁻¹			
Depressão Central	Restinga Seca	Planossolo	1,6	13,0	83	6,7	0-0-0	60-20-40	90-30-60	120-40-80	180-60-120
Planície Costeira Externa	Cachoeirinha	Gleissolo	1,2	13,8	33	4,9	0-0-0	60-20-60	90-30-80	120-40-100	180-60-140
	Viamão	Planossolo	0,7	9,0	10	4,6	0-0-0	60-20-60	90-30-80	120-40-100	180-60-140
	Mostardas	Planossolo	1,8	7,5	27	4,7	0-0-0	60-20-60	90-30-80	120-40-100	180-60-140
Campanha	Dom Pedrito	Chernossolo	2,2	21,3	96	19,4	0-0-0	60-20-40	90-30-60	120-40-80	180-60-120
Fronteira Oeste	Uruguaiana	Neossolo	2,4	4,3	45	18,8	0-0-0	60-40-60	90-50-80	120-60-100	180-80-140
Sul	Santa Vitória do Palmar 1	Chernossolo	2,6	6,0	60	12,4	0-0-0	60-40-40	90-50-60	120-60-80	180-80-120
	Santa Vitória do Palmar 2	Planossolo	1,7	20,9	68	6,3	0-0-0	60-20-40	90-30-60	120-40-80	180-60-120