

PESQUISA AGROPECUÁRIA GAÚCHA

ISSN 0104 - 9070

Volume 2

Número 1

1996

CONTEÚDO

Página

SEÇÃO: AGRONOMIA

Modelo agrometeorológico de predição do rendimento do girassol: I. Relação entre rendimento e índice hídrico. BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J.	7
Modelo agrometeorológico de predição do rendimento do girassol: II. Ajuste e validação do modelo. BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J.	19
Interações patógeno/hospedeiro e o potencial das técnicas de seleção <i>in vitro</i> na obtenção de plantas resistentes a moléstias. BARBIERI, R.L.; HANDEL, C.L.	33
Relação entre el niño oscilação sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no estado do Rio Grande do Sul. FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.	39
Herbicidas no controle de plantas daninhas e seletividade à alfafa (<i>Medicago sativa</i> L.) durante a fase de estabelecimento. PETRY, L.A.; SAIBRO, J.C. de; FLECK, N.G.	47
Influência do déficit hídrico sobre o tamanho das sementes e vigor das plântulas de soja. THOMAS, A.L.; COSTA, J.A.	57
Interferência de papuã (<i>Brachiaria plantaginea</i>) com soja e ganho de produtividade obtido através do seu controle. FLECK, N.G.	63

SEÇÃO: RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS

Efeito de métodos de preparo do solo e sistemas de cultura na absorção de nitrogênio e rendimento do milho. FREITAS, V.H. de; ROSSO, A. de; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.	69
Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos do solo. KLEPKER, D.; ANGHINONI, I.	79
Influência dos sulcadores de semeadura no diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados e na rugosidade superficial do solo após escarificação. BERTOL, O.J.; SCHLOSSER, J.F.	87
Distribuição do tamanho de partículas do sedimento determinada a campo e em laboratório. BRAIDA, J.A.; CASSOL, E.A.	93
Efeito da adubação orgânica, mineral e calagem no acúmulo de ferro pelo arroz irrigado. BRANCHER, A.; CAMARGO, F.A. de O.; SANTOS, G. de A.	101

SEÇÃO: VETERINÁRIA

Avaliação de um teste de elisa indireto para detectar e tipificar vírus da febre aftosa. PRADO, J.A.P.; TEIXEIRA, J.C.F.; RECKZIEGEL, P.E.; PÉTZHOLD, S.A.	107
Vacinas antiaftosa oleosas com e sem antígenos concentrados por hidróxido de alumínio: Resposta imune de bovinos primovacinaados. PETZHOLD, S.A.; PRADO, J.A.P.; RECKZIEGEL, P.E.; TEIXEIRA, J.C.F.; WALD, V.B.	111
Leptospirose em suínos: Etiologia, diagnóstico e controle (revisão). OLIVEIRA, S.J. de; LIMA, P.C.R. de	119

PESQUISA AGROPECUÁRIA GAÚCHA

ISSN 0104 - 9070

Volume 2

1996

Number 1

CONTENTS

Page

SECTION: AGRONOMY

Agrometeorological sunflower yield prediction model: I. Water index and yield relationship. BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J.	7
Agrometeorological sunflower yield prediction model: II. Model adjust and validation. BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J.	19
Host/pathogen interactions and potential of <i>in vitro</i> selection techniques to obtain disease resistant plants. BARBIERI, R.L.; HANDEL, C.L.	33
Relationship between el niño southern oscilation (ENSO), precipitation and maize yield in the state of Rio Grande do Sul. FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. ...	39
Herbicides on weed control and selectivity to alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) during establishment. PETRY, L.A.; SAIBRO, J.C. de; FLECK, N.G.	47
Water deficit influence in seed size and soybean seedling vigor. THOMAS, A.L.; COSTA, J.A.	57
Alexandergrass (<i>Brachiaria plantaginea</i>) interference with soybeans and yield gain attained through its control. FLECK, N.G.	63

SECTION: RENEWABLE NATURAL RESOURCES

Effect of soil tillage methods and crop systems on nitrogen absorption and corn yield. FREITAS, V.H. de; ROSSO, A. de; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.	69
Fertilizer placement, nutrients absorption and corn yield in different soil tillage systems. KLEPKER, D.; ANGHINONI, I.	79
Influence of planting furrows openers on aggregates geometric mean diameter and surface roughness after soil tillage by chieselling. BERTOL, O.J.; SCHLOSSER, J.F.	87
Undispersed sediment particle size distribution determined by field and laboratory samples processing. BRAIDA, J.A.; CASSOL, E.A.	93
Effect of organic and mineral fertilization and liming on the accumulation of iron by irrigated rice plants. BRANCHER, A.; CAMARGO, F.A. de O.; SANTOS, G. de A.	101

SECTION: VETERINARY

Evaluation of an indirect elisa for detection and typing of foot and mouth disease virus. PRADO, J.A.P.; TEIXEIRA, J.C.F.; RECKZIEGEL, P.E.; PETZHOLD, S.A.	107
Foot-and-mouth disease oil vaccines with or without aluminum hydroxide concentration of antigen: Immune response in vaccinated cattle. PETZHOLD, S.A.; PRADO, J.A.P.; RECKZIEGEL, P.E.; TEIXEIRA, J.C.F.; WALD, V.B. ...	111
Leptospirosis in pigs: Aetiology, diagnosis and control (review). OLIVEIRA, S. J. de; LIMA, P.C.R. de	119

SEÇÃO: AGRONOMIA

MODELO AGROMETEOROLÓGICO DE PREDIÇÃO DO RENDIMENTO DO GIRASSOL: I. RELAÇÃO ENTRE RENDIMENTO E ÍNDICE HÍDRICO¹

NÍDIO ANTONIO BARNI², MOACIR ANTONIO BERLATO³, HOMERO BERGAMASCHI³, JOÃO RIBOLDI⁴

RESUMO - O índice hídrico adotado neste estudo (ET_r/ET_o) é a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração potencial ou de referência, para um dado subperíodo do ciclo do girassol. Para o estudo da relação entre o rendimento de grãos do girassol e o índice hídrico acima referido foram avaliados dados de planta, envolvendo o rendimento e fenologia, obtidos de 53 experimentos de avaliação de cultivares; dados meteorológicos diários de radiação solar, temperatura do ar, precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar e velocidade do vento; dados de solo no que se refere à capacidade de armazenamento de água disponível; e a definição de quatro subperíodos de desenvolvimento do girassol: estabelecimento da cultura, vegetativo, reprodutivo e de maturação fisiológica de grãos. Os resultados mostraram uma elevada associação entre o rendimento de grãos e o índice hídrico no subperíodo reprodutivo, seguindo-se o vegetativo e o subperíodo de final de enchimento de grãos até a maturação fisiológica.

Palavras-chave: girassol, índice hídrico, evapotranspiração, rendimento de grãos.

AGROMETEOROLOGICAL SUNFLOWER YIELD PREDICTION MODEL:

I. WATER INDEX AND YIELD RELATIONSHIP.

ABSTRACT - The water index used in this study (ET_r/ET_o) is the relation from the real evapotranspiration to the potencial or referential evapotranspiration, for a given subperiod of the sunflower cycle. For the study of the relation between the sunflower grain production and the water index above referred, were avaliated: crop data, involving yield and phenology, obtained from 53 experiments of cultivars evaluation; meteorological daily data of solar radiation, air temperature, rainfall, air relative humidity, and wind velocity; soil data related to the storage of available water; and the definition of the four subperiods of sunflower development, crop establishment, vegetative, reproductive, and grain physiological maturity. The results showed a high association between grain yield and the water index in the reproductive subperiod, followed by the vegetative, and the final filling grain until physiological maturity subperiod.

Key words: sunflower, water index, evapotranspiration, grain yield.

1. Extraído da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor à Faculdade de Agronomia da UFRGS, junho de 1994.

2. Eng. Agr., Dr. - FEPAGRO, Rua Gonçalves Dias 570, 90130-060 Porto Alegre-RS/BRASIL. Bolsista do CNPq.

3. Eng. Agr., Dr. - Faculdade de Agronomia da UFRGS, Av. Bento Gonçalves 7712, 90001-970 Porto Alegre- RS/BRASIL. Bolsista do CNPq.

4. Eng. Agr., Dr. - Professor do Instituto de Matemática da UFRGS.

Recebido para publicação em 19/10/1995.

INTRODUÇÃO

O girassol consome quantidades significativas de água durante o seu ciclo, existindo exigências hídricas distintas em função do estágio de desenvolvimento da planta. Segundo DOORENBOS e KASSAN (1979), a quantidade total de água requerida pelo girassol varia entre 600 a 1000 mm, dependendo fundamentalmente do clima e da cultivar, os quais determinarão a duração da estação de crescimento e a demanda evaporativa da atmosfera. A evapotranspiração aumenta, nesta cultura, do estabelecimento à floração, podendo atingir, durante este subperíodo, valores máximos de 12 a 15 mm diários (DOORENBOS e KASSAN, 1979).

Sobre a quantidade de água consumida nos diferentes subperíodos da cultura, DOORENBOS e KASSAN (1979) apresentaram uma distribuição percentual mais definida do consumo de água: 20 % durante o período vegetativo, 55 % da diferenciação do primórdio floral ao final da antese, e os 25 % restantes durante o subperíodo de enchimento de grãos.

Há pouca dúvida de que o estresse de água é o principal determinante do rendimento do girassol, principalmente devido aos seus efeitos sobre a área foliar (GOYNE et al., 1978). Entretanto, o estresse de água e temperatura são intimamente ligados e em experimentos de campo é muito difícil separar os efeitos destes dois parâmetros sobre o crescimento (RAWSON e HINDMARSH, 1982).

Segundo a literatura, o estresse de água ocorre porque a transpiração excede à taxa de absorção de água pelas raízes, algumas vezes referida como absorção retardada ou defasada. A diferença no potencial da água, entre a planta e o solo, depende da demanda evaporativa, da extensão para a qual as plantas podem satisfazer aquela demanda, e das propriedades condutoras da água do solo e da planta (GARDNER e NIEMAN, 1964).

Os subperíodos do crescimento e desenvolvimento de máxima sensibilidade das plantas ao déficit hídrico são usualmente chamados períodos críticos da cultura, com relação ao fator água. O conceito de máxima sensibilidade implica que os efeitos do déficit hídrico, imposto nesses subperíodos, são de caráter irreversível, isto é, os danos causados pela falta de água nesses curtos períodos podem afetar irremediavelmente o crescimento subsequente e o rendimento final de frutos ou grãos das plantas cultivadas (BERLATO, 1987).

Os períodos críticos do girassol em relação à limitação hídrica são considerados por BIRCH (1982), como sendo três. O primeiro ocorre durante o estabelecimento da cultura. Condições desfavoráveis de umidade no solo, por ocasião da semeadura, poderão redundar em aumento excessivo na duração do subperíodo semeadura-emergência, com redução da população inicial de plantas.

O segundo período crítico, e também o mais importante em nível de rendimento de grãos, abrange desde a diferenciação do primórdio floral até o final da antese (TALHA e OSMAN, 1975; SIONIT, 1977; DOORENBOS e KASSAM, 1979). Restrições hídricas, durante este subperíodo, afetarão de maneira decisiva os processos de fertilização e início de desenvolvimento dos grãos, tendo como consequência captulos de diâmetro reduzido e com elevada percentagem de grãos estéreis no centro dos mesmos.

O terceiro período crítico, apontado por BIRCH (1982), envolve o enchimento de grãos e acúmulo de óleo. O maior efeito da restrição hídrica, neste subperíodo, incide sobre a quantidade e qualidade do óleo produzido.

Por outro lado, o conhecimento do consumo de água (evapotranspiração) nos diversos subperíodos, ou etapas de desenvolvimento das plantas, permite o planejamento racional do uso da irrigação, além de facultar o estabelecimento de índices hídricos que permitam prever o rendimento de uma cultura através da modelagem matemática (HILL et al., 1979; MOTA, 1981; BERLATO, 1987; MATZENAUER, 1994).

Inúmeros estudos têm sido realizados com o objetivo de quantificar os efeitos do ambiente sobre o crescimento, desenvolvimento e rendimento de culturas. Em Iowa, SHAW (1974) encontrou que rendimentos experimentais de milho foram altamente correlacionados com um índice de estresse de umidade da planta, o qual fundamentou-se em cálculos diários da razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração potencial (E_{Tr}/E_{Tp}). BERLATO et al. (1992) relacionaram o rendimento de grãos da soja com variáveis meteorológicas originais e derivadas. Constataram que a correlação mais elevada foi entre o rendimento de grãos e o índice E_{Tr}/E_{To} , durante o subperíodo reprodutivo, no qual o índice hídrico (E_{Tr}/E_{To}) explicou mais de 85 % da variação do rendimento de grãos para as cultivares avaliadas. Entretanto, os primeiros trabalhos que relacionaram a produção de matéria seca com a quantidade de água transpirada foram realizados por Briggs e Shantz (1913), referidos por HANKS e RASMUSSEN (1982). Esses autores constataram a existência de uma relação linear entre as duas variáveis, para diversas culturas.

Para MONTEITH (1965), a correlação estreita entre produção de matéria seca e transpiração pode ser explicada pelo fato de que o saldo de radiação (R_n), que determina em grande parte a intensidade de transpiração, e a radiação solar fotossinteticamente ativa, PAR, que determina a fotossíntese, são relacionadas de forma linear.

O objetivo do presente estudo foi o de verificar a associação entre o rendimento de grãos do girassol e o índice hídrico E_{Tr}/E_{To} , em distintos subperíodos do ciclo de desenvolvimento da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram estudadas as correlações entre o rendimento relativo (Y/Y_m) de grãos do girassol e o índice hídrico (ET_r/ET_o) para cada subperíodo do ciclo da cultura.

Para estabelecer o rendimento relativo (Y/Y_m) foram adotados dois métodos de determinação do rendimento máximo (Y_m). No primeiro, utilizou-se o Y_m determinado com base na radiação solar fotosinteticamente ativa absorvida e na temperatura média do ar durante o ciclo da cultura, conforme GOSSE et al. (1984). O rendimento máximo, assim determinado, é representado por Y_m' no texto e nas tabelas.

No segundo, foram utilizados os rendimentos mais elevados observados numa série experimental, conforme BERLATO (1987), representado por Y_m .

O índice hídrico adotado neste estudo (ET_r/ET_o) é a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração potencial ou de referência, para um dado subperíodo do ciclo do girassol.

A evapotranspiração de referência do girassol (ET_o) foi estimada pelo método de PENMAN (1956) modificado, no qual utilizou-se o saldo de radiação determinado sobre o dossel do girassol, como função da radiação solar global (R_s).

Para a estimativa da evapotranspiração real (ET_r), utilizou-se o método do balanço hídrico segundo THORNTHWAITE e MATHER (1955), empregando-se, como dados de entrada, a precipitação pluvial e a ET_o do girassol. Foram calculados balanços hídricos do solo, também por decêndios, para duas profundidades de solo (0 a 20 cm e 0 a 80 cm). A capacidade de armazenamento de água no perfil de 0 a 20 cm foi utilizada para o balanço hídrico do subperíodo de estabelecimento da cultura (semeadura até 20 dias após a emergência das plantas) e a capacidade de armazenamento de 0 a 80 cm, para o restante do ciclo do girassol. As duas profundidades adotadas fundamentam-se em algumas observações locais, realizadas em distintos tipos de solo do Estado do Rio Grande do Sul.

Para o estudo da relação entre o rendimento relativo de grãos do girassol e o índice hídrico acima referido foram necessários dados da cultura, dados meteorológicos, dados de solo e definição de subperíodos de desenvolvimento do girassol.

Os dados de rendimento e fenologia foram obtidos em 53 experimentos de avaliação de cultivares de girassol para o Rio Grande do Sul, conduzidos pelo Instituto de Pesquisas Agronômicas (IPAGRO, hoje Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO) no período de 1981/82 até 1991/92, em nove localidades do Estado.

Os experimentos foram conduzidos nas localidades de Viamão, Taquari e Rio Pardo na região climática da Depressão Central, reunindo os dados da baixa al-

titude (até 100 m); em Santo Augusto, na região climática das Missões, média altitude (380 m); nos municípios de Júlio de Castilhos e Passo Fundo pertencentes à região do Planalto Médio; nos municípios de Guabijú e Veranópolis da região da Serra do Nordeste e, no município de Paim Filho, região do Alto Uruguai, constituindo a região da alta altitude (500 a 800 m).

Somente as cultivares de girassol avaliadas, em mais de cinco experimentos, foram utilizadas. As cultivares foram divididas, segundo sua fenologia, em precoces, médias, semitardias e tardias. Como padrões das precoces foram consideradas a Contissol-711 e Contissol-112. Para as de ciclo médio foi escolhida a IAC-Anhandy. Para padrão de ciclo semitardio foram adotadas a DK-180 e Cargill-33, e para as de ciclo tardio utilizou-se como padrão a cultivar Contissol.

Os dados da cultura utilizados representam a média de cada grupo de maturação, tanto com relação à fenologia quanto ao rendimento de grãos.

Nos experimentos, o girassol foi semeado com espaçamento de 0,70 m entre linhas de plantas e 4 a 5 plantas por metro linear, resultando uma população em torno de 6 plantas por metro quadrado ou 60 mil plantas por hectare. A correção e a adubação do solo foram feitas com base nas análises de solo em cada local e ano. Os dados fenológicos registrados foram: semeadura (data), emergência (data em que 90 % das plantas da parcela haviam emergido do solo) e os estádios R1 (aparecimento do botão floral), R6 (floração final) e R9 (maturação fisiológica) da escala proposta por SCHNEITER e MILLER (1981).

A data de semeadura dos experimentos variou com os anos e locais desde início do mês de agosto até o final de dezembro (Tabelas 1, 2 e 3). Entretanto, cerca de 80% dos dados foram produzidos em semeaduras de agosto e setembro, faixa de semeadura recomendada para o cultivo do girassol no Rio Grande do Sul (SILVA e MUNDSTOCK, 1988).

Os dados foram reunidos em dois grupos. O grupo das cultivares precoces, formado pelas de ciclo precoce e médio, e o grupo das cultivares tardias, formado pelas de ciclo semitardio e tardio. Dessa forma, as precoces foram avaliadas em 51 e as tardias em 53 ambientes.

A escolha desse conjunto de dados fundamentou-se em características que permitissem aquilatar a qualidade da informação, como coeficiente de variação do experimento abaixo de 20%, população acima de 40 mil plantas por hectare, na colheita, e dados fenológicos consistentes.

Foi utilizada a média de rendimento de 4 repetições para cada cultivar. A análise foi realizada com a média de rendimento de, no mínimo, 3 cultivares para cada grupo de maturação. Os experimentos realizados nos 53 ambientes avaliaram cerca de 81 genótipos.

Os dados meteorológicos foram obtidos da rede de estações agrometeorológicas da Equipe de Agrometeorologia da FEPAGRO. As estações, cujos dados foram utilizados, estão situadas na área física das Estações Experimentais e próximas dos locais onde foram obtidos os dados de rendimento e fenologia do girassol, com exceção de Rio Pardo, Paim Filho e Guabiju. Nestes casos, os dados meteorológicos da estação de Erechim foram utilizados para a localidade de Paim Filho, os de Eldorado do Sul (Estação Experimental Agrometrológica da UFRGS) para Rio Pardo, e os da Estação de Vacaria para os experimentos conduzidos em Guabiju. Para os experimentos de Santo Augusto, parte dos dados foram obtidos da Estação Agrometeorológica de Ijuí, RS. Da mesma forma, a Estação de Cachoeirinha forneceu parte dos dados meteorológicos para os experimentos conduzidos em Viamão.

As variáveis meteorológicas básicas, em nível diário, foram: radiação solar, temperatura máxima, mínima, temperaturas das 9 h e 21 h, precipitação pluvial, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Para o cálculo das variáveis derivadas foram utilizadas as variáveis originais como média ou total do período de dez dias (decêndios).

A capacidade de armazenamento de água disponível, no solo, foi calculada a partir das características físicas de alguns tipos de solos do Estado do Rio Grande do Sul, determinadas por MUNDSTOCK (1970) e DEDECEK (1974). Para os solos em que essas determinações não existiam foi usada a capacidade de armazenamento de água do solo, cujas características físicas mais se aproximam do solo em questão.

Para correlacionar o rendimento de grãos com o índice hídrico E_{Tr}/E_{To} , o ciclo do girassol foi dividido em quatro subperíodos de desenvolvimento, ou subperíodos fenológicos, dados por:

(X1) Da sementeira até 20 dias após a emergência, denominado subperíodo de estabelecimento da cultura.

(X2) De 20 dias após a emergência até o início do período reprodutivo (diferenciação do primórdio floral, estágio R1), denominado subperíodo vegetativo da cultura.

(X3) Da diferenciação do primórdio floral (R1), até o final da antese (R6), denominado subperíodo reprodutivo da cultura.

(X4) Do final da antese (R6) até a maturação fisiológica (estádio R9), denominado subperíodo de maturação de grãos da cultura.

Foram analisadas as correlações entre o rendimento relativo de grãos e os índices hídricos, para cada subperíodo do ciclo do girassol, por grupo de maturação das cultivares, por região e na média de cultivares, em cada ambiente e para todo o Estado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento máximo (Y_m') médio de 3069 kg/ha, encontrado no ajuste do modelo de predição do Y_m com base na temperatura efetiva e na radiação solar fotossinteticamente ativa absorvida (BARNI, 1994; BARNI et al., 1995), foi utilizado na análise envolvendo todas as cultivares (81 genótipos) e os 53 ambientes. Este rendimento máximo é a média de duas cultivares precoces e uma tardia avaliadas em apenas dois anos (1991/92 e 1992/93) na localidade de Taquarí, envolvendo quatro ambientes. As cultivares precoces mostraram-se muito mais sensíveis às variações do meio, enquanto que a tardia evidenciou maior estabilidade de comportamento.

Considerando esta variação apresentada pelas cultivares precoces, somada ao reduzido número de ambientes avaliados, o que limita a representatividade de tipos de solos e de elementos climáticos, foram utilizados os rendimentos máximos (Y_m) de maior valor ocorridos por grupo de maturação. Dessa forma, para as cultivares precoces e médias o Y_m foi de 2.606 kg/ha, ocorrido em Guabiju (Tabelas 2 e 4). Para as cultivares semitardias e tardias o Y_m foi de 3.193 kg/ha, ocorrido em Santo Augusto (Tabelas 3 e 4).

Verifica-se que, para as cultivares tardias, o valor de 3.193 kg/ha assemelha-se ao referido no trabalho de BARNI et al. (1995), os quais encontraram o valor médio de 3.117 kg/ha. Já para as precoces houve uma acentuada discrepância. O valor de maior representatividade (51 ambientes) foi de 2.606 kg/ha (Tabelas 2 e 4), enquanto que o valor estimado para as cultivares precoces em Taquarí foi de 3.020 kg/ha, uma diferença de 414 kg, ou cerca de 16 % a mais.

Para a análise envolvendo todas as cultivares e todos os ambientes o Y_m foi de 2.878 kg/ha, obtido no município de Santo Augusto, através da média do rendimento das cultivares precoces e médias e semitardias e tardias (Tabelas 1 e 4). Este rendimento máximo se aproxima do rendimento máximo obtido pelo girassol ($Y_m' = 3.069$ kg/ha), conforme BARNI et al. (1995), onde a radiação solar fotossinteticamente ativa absorvida e acumulada pelo dossel da oleaginosa foi a variável preditora do Y_m' . Estes valores próximos, de rendimento máximo, validam os distintos métodos de estabelecimento deste parâmetro, (BARNI, 1994).

Na Tabela 5, são apresentadas as correlações calculadas entre o rendimento de grãos do girassol e os índices hídricos nos quatro subperíodos em que foi dividido o ciclo da cultura. Constata-se que a grande maioria dos coeficientes de correlação esteve acima de 0,90, da diferenciação do primórdio floral ao final da antese, para todos os locais e cultivares. Houve alguma tendência das cultivares precoces estenderem a associação entre a variação no rendimento de grãos e os índi-

ces hídricos para após a antese, até a maturação (Tabela 5) e, na média altitude (município de Santo Augusto), nos subperíodos iniciais, envolvendo o estabelecimento da cultura e o subperíodo vegetativo.

No estabelecimento da cultura (semeadura até 20 dias após a emergência das plantas) a correlação entre o rendimento de grãos do girassol e o consumo relativo de água foi significativa apenas para as cultivares precoces nos ambientes de média e de alta altitude (Tabela 5). Este fato não significa que a água não seja importante no estabelecimento do girassol (germinação e emergência das plantas), mas denota que os experimentos avaliados foram instalados em adequadas condições de umidade do solo. Destaca-se, ainda, que os experimentos com população inferior a 4 plantas/m² foram eliminados da análise.

Por sua vez, as cultivares semitardias e tardias concentraram sua dependência ao fator água no subperíodo entre os estádios R1 e R6. Destaca-se que as cultivares precoces, na alta altitude, apresentaram o menor coeficiente de correlação entre o rendimento de grãos e o índice hídrico no subperíodo R1 a R6. Este fato sugere que a definição do rendimento de grãos, nesses ambientes, tem dependência maior de outras variáveis, provavelmente a temperatura, ou que, naqueles anos, a disponibilidade hídrica não tenha sido limitante. No conjunto de todas as cultivares avaliadas, a associação entre o rendimento de grãos e o índice hídrico, no subperíodo da diferenciação do primórdio floral ao final da antese (X3), apresentou um coeficiente de correlação de 0,91, significando que cerca de 83 % da variação do rendimento de grãos decorrem das condições hídricas neste subperíodo. Resultados semelhantes foram encontrados por BERLATO (1987), que constatou que o consumo relativo de água (ETr/ETo), durante o subperíodo reprodutivo da soja, explica cerca de 89 % da variação do rendimento de grãos das cultivares precoces, 86 % das cultivares de ciclo médio e 85 % das tardias.

A pesquisa agrícola recomenda a semeadura do girassol nos meses de agosto, setembro e outubro (SILVA e MUNDSTOCK, 1988). Com a semeadura em agosto e até meados de setembro, o subperíodo da diferenciação do primórdio floral ao final da antese (R1 a R6) ocorre a partir do final de outubro e durante o mês de novembro, para as cultivares precoces e médias, e durante o mês de novembro e até meados de dezembro, para as cultivares semitardias e tardias. Constatou-se que, no Rio Grande do Sul, o período de dezembro a fevereiro caracteriza-se como aquele de maior probabilidade de ocorrência de déficits hídricos (BERLATO, 1992). Portanto, para semeaduras de girassol durante o mês de agosto, e até meados de setembro, grande parte do período crítico da cultura, com relação à água, deixa de coincidir com o período de menor disponibilidade hídrica

do Estado. Entretanto, para semeaduras em outubro ou ainda mais tardias, a coincidência do período crítico do girassol com a menor disponibilidade hídrica de janeiro e fevereiro, torna este fator altamente limitante do rendimento. A antecipação da época de semeadura do girassol, no Rio Grande do Sul, para os meses de agosto e setembro teve, como um dos fatores determinantes, este fato, além da menor ocorrência de doenças e pragas.

Os dados obtidos evidenciam que o subperíodo fenológico mais crítico do girassol, em relação à disponibilidade hídrica, é o reprodutivo, seguido pelo subperíodo vegetativo e, em terceiro lugar, o subperíodo do final de enchimento de grãos até a maturação fisiológica. Esses são os subperíodos fenológicos importantes a serem considerados nos modelos. Contudo, mais de 85 % da variação do rendimento de grãos, por efeito do fator água, concentram-se no subperíodo reprodutivo, isto é, da diferenciação do primórdio floral ao final da antese.

CONCLUSÕES

1. Nas semeaduras tardias os efeitos restritivos de déficits hídricos são mais fortemente evidenciados pela cultura do girassol.

2. O girassol apresenta elevada associação entre o rendimento relativo de grãos e o índice hídrico ETr/ETo, no subperíodo reprodutivo (R1 a R6), o mais sensível (período crítico), seguido geralmente pelo vegetativo, e, em terceiro lugar, o subperíodo do final de enchimento de grãos até a maturação fisiológica.

3. As cultivares precoces são mais sensíveis ao estresse hídrico, enquanto que as tardias apresentam tendência de maior estabilidade, não oscilando tanto entre ambientes favoráveis e limitados quanto à disponibilidade de água.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- BARNI, N.A. Modelos de predição do crescimento, desenvolvimento e rendimento do girassol em função da radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica. Porto Alegre, 1994. 249p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1994.
- BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: II. produção de fitomassa e rendimento de grãos. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v.1, n.2, p.201-216, 1995.
- BERLATO, M.A. Modelo de relação entre o rendimento de grãos da soja e o déficit hídrico para o estado do Rio Grande do Sul. São José dos Campos, 1987. 83p. Tese (Doutorado em Agrometeorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Ministério da Ciência e Tecnologia, 1987.

- BERLATO, M.A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.) **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1992. p.11-24.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C.; GONÇALVES, H.M. Relação entre o rendimento de grãos da soja e variáveis meteorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, p.695-702, 1992.
- BIRCH, E.B. Guide lines for top sunflower yields. In: **FARMING in South Africa**. Pretoria: Department of Agriculture, 1982. p.1-6.
- DEDECECK, R. **Características físicas e fator de erodibilidade em oxissolos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1974. 132p. Tese (Mestrado em Agronomia) - Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1974.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).
- GARDNER, W.R.; NIEMAN, R.H. Lower limit of water availability to plants. **Science**, Washington, D.C. v.143, p.1460-1462, 1964.
- GOSSE, G.; CHARTIER, M.; LEMAIRE, G. Mise au point d'un modèle de prévision de production por une culture de luzerne. **C.R. Academic Science**, Paris, v.18, p.541-544, 1984.
- GOYNE, P.J.; WOODRUFF, D.R.; CHURCHETT, J.D. Environmental causes of yield variation in raingrown sunflower in Central Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husband**, Melbourne, v.18, p.129-134, 1978.
- HANKS, R.J.; RASMUSSEN, V.P. Predicting crop production as related to plant water stress. **Advances in Agronomy**, New York, v.45, p.193-215, 1982.
- HILL, R.W.; JOHNSON, D.R.; RYAN, K.H. A model for predicting soybean yields from climatic data. **Agronomy Journal**, Madison, v.71, p.251-256, 1979.
- MATZENAUER, R. **Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho em função da disponibilidade hídrica no estado do Rio Grande do sul**. Porto Alegre, 1994. 172p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1994.
- MONTEITH, J.L. Light distribution and photosynthesis in field crops. **Annals of Botany**, Oxford, v.29, p.17-37, 1965.
- MOTA, F.S. da **Índice de seca para soja: contribuição para um modelo de previsão do rendimento da soja no Rio Grande do Sul**. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, p.371-383, 1981.
- MUNDSTOCK, C.M. **Influência de quatro épocas de semeadura em seis cultivares de milho (*Zea mays* L.)**. Porto Alegre, 1970. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Produção Vegetal, Plantas de Lavoura. Faculdade de Agronomia e Veterinária, UFRGS, 1970.
- PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 4, p.9-29, 1956.
- RAWSON, H.M.; HINDMARSH, J.H. Effects of temperature on leaf expansion in sunflower. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.9, p.209-219, 1982.
- SCHNEITER, A.A.; MILLER, J.F. Description of sunflower growth stages. **Crop Science**, Madison, v. 21, p.901-903, 1981.
- SILVA, P.R.F. da; MUNDSTOCK, C.M. Época de semeadura. In: **Girassol: indicações para o cultivo no Rio Grande do Sul**. 2. ed. rev. ampl. Porto Alegre: Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS; IPAGRO, 1988. 66p.
- SIONIT, N.; KRAMER, P.J. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, p.274-278, 1977.
- TALHA, M.; OSMAN, T. Effect of soil water stress and water economy on oil composition in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.84, p.49-56, 1975.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water budget and its use in irrigation. In: **THE YEARBOOK of Agriculture: water**. Washington, D.C.: Department of Agriculture, 1975. p.346-358.

TABELA 1 - Rendimentos de grãos de girassol obtidos em 53 ambientes do Estado do Rio Grande do Sul e índices hídricos (ETr/ETo) correspondentes aos subperíodos do estabelecimento da cultura (X1), vegetativo (X2), reprodutivo (X3), da maturação fisiológica (X4), de cultivares de ciclo Precoce, Médio, Semitardio e Tardio. Rendimentos e índices hídricos médios entre grupos de maturação e entre cultivares, em cada grupo

No. Amb.	Rend. Grãos*	Rend.** Rel.	Rend.*** Rel.	Índices (X1)	Índices (X2)	Hídricos (X3)	Hídricos (X4)	Data da Semeadura	Data da Emergência	Localidades
1	1635	0,57	0,53	0,58	0,90	0,62	0,42	22/08/84	03/09/84	Viamão
2	1552	0,54	0,51	0,88	0,95	0,56	0,27	07/08/85	23/08/85	Viamão
3	965	0,34	0,31	0,89	0,97	0,36	0,23	15/08/85	28/08/85	Viamão
4	1575	0,55	0,51	0,73	0,34	0,55	0,59	26/09/85	03/10/85	Viamão
5	1614	0,56	0,53	0,62	0,97	0,66	0,75	20/08/86	30/08/86	Viamão
6	2370	0,82	0,77	0,62	0,95	0,83	0,80	21/08/86	31/08/86	Viamão
7	1684	0,59	0,55	0,82	0,86	0,64	0,84	02/10/86	13/10/86	Viamão
8	1920	0,67	0,63	0,70	0,93	0,74	0,75	26/08/87	09/09/87	Viamão
9	1689	0,59	0,55	0,89	0,85	0,69	0,76	21/09/87	02/10/87	Viamão
10	2105	0,73	0,69	0,67	0,95	0,71	0,28	17/08/88	29/08/88	Viamão
11	2030	0,71	0,66	0,58	0,56	0,66	0,67	07/10/88	19/10/88	Viamão
12	1869	0,65	0,61	0,63	0,63	0,63	0,75	12/10/88	24/10/88	Viamão
13	2221	0,77	0,72	0,94	0,88	0,75	0,47	15/08/89	25/08/89	Viamão
14	2201	0,76	0,72	0,73	0,54	0,71	0,37	22/09/89	03/10/89	Viamão
15	2060	0,72	0,67	0,68	0,58	0,68	0,49	26/09/89	05/10/89	Viamão
16	1717	0,60	0,56	0,95	0,98	0,71	0,89	06/10/87	18/10/87	Taquari
17	2557	0,89	0,83	0,97	0,81	0,88	0,77	04/09/89	16/09/89	Rio Pardo
18	1607	0,56	0,52	0,79	0,95	0,62	0,66	04/11/81	13/11/81	Sto. Augusto
19	1765	0,61	0,57	0,81	0,65	0,67	0,97	04/11/82	13/11/82	Sto. Augusto
20	1146	0,40	0,37	0,70	0,86	0,46	0,53	20/12/82	29/12/82	Sto. Augusto
21	2047	0,71	0,67	0,70	0,99	0,64	0,58	15/08/84	26/08/84	Sto. Augusto
22	1831	0,64	0,60	1,00	0,79	0,58	0,36	15/08/85	26/08/85	Sto. Augusto
23	1622	0,56	0,53	1,00	0,78	0,55	0,31	16/08/85	27/08/85	Sto. Augusto
24	1357	0,47	0,44	0,51	0,52	0,41	0,45	19/09/85	26/09/85	Sto. Augusto
25	1292	0,45	0,42	0,51	0,53	0,41	0,46	19/09/85	26/09/85	Sto. Augusto
26	2253	0,78	0,73	0,78	0,94	0,85	0,96	07/08/86	18/08/86	Sto. Augusto
27	2403	0,83	0,78	0,80	1,00	0,87	0,95	25/08/86	08/09/86	Sto. Augusto
28	2122	0,74	0,69	1,00	0,95	0,82	0,93	22/09/86	01/10/86	Sto. Augusto
29	2389	0,83	0,78	0,71	0,95	0,82	0,54	16/08/88	29/08/88	Sto. Augusto
30	2494	0,87	0,81	0,71	0,93	0,87	0,57	16/08/88	29/08/88	Sto. Augusto
31	2620	0,91	0,85	0,89	0,86	0,85	0,48	15/09/88	26/09/88	Sto. Augusto
32	2761	0,96	0,90	1,00	0,96	0,88	0,66	15/08/89	28/08/89	Sto. Augusto
33	2878	1,00	0,94	1,00	0,94	0,93	0,63	16/08/89	28/08/89	Sto. Augusto
34	2486	0,86	0,81	0,83	0,82	0,76	0,67	19/09/89	30/09/89	Sto. Augusto
35	1926	0,67	0,63	0,93	0,99	0,73	0,85	23/08/90	04/09/90	Sto. Augusto
36	1974	0,69	0,64	1,00	0,90	0,66	0,59	30/08/89	08/09/89	Paim Filho
37	1859	0,65	0,61	0,87	0,86	0,62	0,59	27/09/89	07/10/89	Paim Filho
38	2046	0,71	0,67	0,99	1,00	0,79	0,87	29/08/90	10/09/90	Paim Filho
39	2038	0,71	0,66	0,99	1,00	0,79	0,73	29/08/90	10/09/90	Paim Filho
40	2382	0,83	0,78	0,56	0,80	0,88	0,83	15/10/91	28/10/91	Paim Filho
41	2341	0,81	0,76	0,56	0,80	0,87	0,86	15/10/91	28/10/91	Paim Filho
42	1756	0,61	0,57	0,94	0,89	0,65	0,44	20/08/87	04/09/87	J. Castilhos
43	1957	0,68	0,64	0,94	0,88	0,65	0,28	20/08/87	04/09/87	J. Castilhos
44	1516	0,53	0,49	0,78	0,94	0,49	0,43	14/09/87	28/09/87	J. Castilhos
45	1775	0,62	0,58	0,99	0,93	0,86	0,81	12/09/84	21/09/84	Veranópolis
46	1996	0,69	0,65	0,96	0,96	0,73	0,50	01/10/90	10/10/90	Veranópolis
47	2286	0,79	0,74	0,72	0,84	0,80	0,86	25/09/91	07/10/91	Veranópolis
48	2122	0,74	0,69	0,72	0,81	0,74	0,81	25/09/91	07/10/91	Veranópolis
49	2614	0,91	0,85	0,42	0,90	0,91	0,64	11/08/88	24/08/88	Guabiju
50	2395	0,83	0,78	0,42	0,82	0,77	0,62	11/08/88	24/08/88	Guabiju
51	2123	0,74	0,69	0,49	0,60	0,75	0,86	06/10/88	19/10/88	Guabiju
52	2171	0,75	0,71	1,00	1,00	0,84	0,95	12/08/89	24/08/89	Passo Fundo
53	2285	0,79	0,74	1,00	0,98	0,90	1,00	18/09/89	28/09/89	Passo Fundo

* (kg/ha); ** Rendimento máximo.(Ym) = 2.878 kg/ha; *** (Ym') = 3.069 kg/ha.

TABELA 2 - Rendimentos de grãos de girassol obtidos em 51 ambientes do Estado do Rio Grande do Sul e índices hídricos (ETr/ETo) correspondentes aos subperíodos do estabelecimento da cultura (X1), vegetativo (X2), reprodutivo (X3), da maturação fisiológica (X4), de cultivares de ciclo Precoce e Médio. Rendimentos e índices hídricos médios entre grupos de maturação e entre cultivares, em cada grupo

No. Amb.	* Rend. Grãos	Rend. Relativo	Índices (X1)	Hídricos (X2)	Hídricos (X3)	(X4)	Data da Semeadura	Data da Emergência	Localidades
1	1530	0,59	0,58	0,95	0,66	0,45	22/08/84	03/09/84	Viamão
2 **	1409	0,54	0,88	1,00	0,59	0,20	07/08/85	23/08/85	Viamão
3	894	0,34	0,89	1,00	0,35	0,20	15/08/85	28/08/85	Viamão
4	1555	0,60	0,73	0,38	0,54	0,67	26/09/85	03/10/85	Viamão
5 **	1507	0,58	0,62	0,99	0,69	0,75	20/08/86	30/08/86	Viamão
6 **	1926	0,74	0,62	0,96	0,78	0,78	21/08/86	31/08/86	Viamão
7	1729	0,66	0,82	0,89	0,73	0,83	02/10/86	13/10/86	Viamão
8	1638	0,63	0,70	0,92	0,72	0,75	26/08/87	09/09/87	Viamão
9	1693	0,65	0,89	0,83	0,74	0,80	21/09/87	02/10/87	Viamão
10 **	1813	0,70	0,67	0,94	0,70	0,40	17/08/88	29/08/88	Viamão
11	1775	0,68	0,58	0,61	0,61	0,52	07/10/88	19/10/88	Viamão
12	1986	0,76	0,63	0,70	0,71	0,62	12/10/88	24/10/88	Viamão
13	1866	0,72	0,94	0,90	0,73	0,58	15/08/89	25/08/89	Viamão
14 **	1883	0,72	0,73	0,48	0,68	0,21	22/09/89	03/10/89	Viamão
15	1907	0,73	0,68	0,59	0,71	0,47	26/09/89	05/10/89	Viamão
16	1601	0,61	0,95	0,98	0,72	0,86	06/10/87	18/10/87	Taquari
17 **	2423	0,93	0,97	0,82	0,89	0,78	04/09/89	16/09/89	Rio Pardo
18	1782	0,68	0,79	0,95	0,73	0,49	04/11/81	13/11/81	Sto. Augusto
19 **	1582	0,61	0,81	0,65	0,67	0,98	04/11/82	13/11/82	Sto. Augusto
21	1903	0,73	0,70	0,99	0,70	0,68	15/08/84	26/08/84	Sto. Augusto
22	1695	0,65	1,00	0,84	0,62	0,43	15/08/85	26/08/85	Sto. Augusto
23 **	1607	0,62	1,00	0,83	0,60	0,30	16/08/85	27/08/85	Sto. Augusto
24 **	1040	0,40	0,51	0,66	0,34	0,27	19/09/85	26/09/85	Sto. Augusto
25	1079	0,41	0,51	0,64	0,36	0,32	19/09/85	26/09/85	Sto. Augusto
26	1990	0,76	0,78	0,94	0,84	0,94	07/08/86	18/08/86	Sto. Augusto
27 **	2130	0,82	0,80	1,00	0,87	0,97	25/08/86	08/09/86	Sto. Augusto
28	1863	0,71	1,00	0,94	0,80	0,92	22/09/86	01/10/86	Sto. Augusto
29 **	2122	0,81	0,71	0,95	0,76	0,65	16/08/88	29/08/88	Sto. Augusto
30	2161	0,83	0,71	0,93	0,85	0,64	16/08/88	29/08/88	Sto. Augusto
31	2425	0,93	0,89	0,84	0,87	0,42	15/09/88	26/09/88	Sto. Augusto
32	2384	0,91	1,00	0,95	0,85	0,61	15/08/89	28/08/89	Sto. Augusto
33 **	2562	0,98	1,00	0,91	0,91	0,57	16/08/89	28/08/89	Sto. Augusto
34	2167	0,83	0,83	0,82	0,74	0,74	19/09/89	30/09/89	Sto. Augusto
35	1736	0,67	0,93	0,99	0,75	0,93	23/08/90	04/09/90	Sto. Augusto
36 **	1983	0,76	1,00	0,90	0,70	0,55	30/08/89	08/09/89	Paim Filho
37	1814	0,70	0,87	0,86	0,64	0,42	27/09/89	07/10/89	Paim Filho
38	1905	0,73	0,99	1,00	0,81	0,91	29/08/90	10/09/90	Paim Filho
39	1930	0,74	0,99	1,00	0,83	0,91	29/08/90	10/09/90	Paim Filho
40 **	2405	0,92	0,56	0,80	0,89	0,80	15/10/91	28/10/91	Paim Filho
41	2165	0,83	0,56	0,81	0,87	0,85	15/10/91	28/10/91	Paim Filho
42	1839	0,71	0,94	0,88	0,69	0,39	20/08/87	04/09/87	J. Castilhos
44	1552	0,60	0,78	0,94	0,56	0,25	14/09/87	28/09/87	J. Castilhos
45 **	2290	0,88	0,99	0,92	0,92	0,90	12/09/84	21/09/84	Veranópolis
46	2081	0,80	0,96	0,95	0,78	0,46	01/10/90	10/10/90	Veranópolis
47	2424	0,93	0,72	0,86	0,87	0,88	25/09/91	07/10/91	Veranópolis
48 **	2047	0,79	0,72	0,81	0,74	0,79	25/09/91	07/10/91	Veranópolis
49	2606	1,00	0,42	0,89	0,92	0,61	11/08/88	24/08/88	Guabiju
50	2480	0,95	0,42	0,80	0,85	0,55	11/08/88	24/08/88	Guabiju
51 **	1841	0,71	0,49	0,60	0,68	0,78	06/10/88	19/10/88	Guabiju
52	1762	0,68	1,00	1,00	0,73	0,93	12/08/89	24/08/89	Passo Fundo
53	2057	0,79	1,00	0,98	0,86	1,00	18/09/89	28/09/89	Passo Fundo

* (kg/ha) Ym = 2.606 kg/ha

** Ambientes sorteados para a validação do modelo.

TABELA 3 - Rendimentos de grãos de girassol obtidos em 53 ambientes do Estado do Rio Grande do Sul e índices hídricos (ETr/ETo) correspondentes aos subperíodos do estabelecimento da cultura (X1), vegetativo (X2), reprodutivo (X3), da maturação fisiológica (X4), de cultivares de ciclo Semitardio e Tardio. Rendimentos e índices hídricos médios entre grupos de maturação e entre cultivares, em cada grupo

No. Amb.	* Rend. Graos	Rend. Relativo	Índice Hídricos				Data da Semeadura	Data da Emergência	Localidades
			(X1)	(X2)	(X3)	(X4)			
1 **	1739	0,54	0,58	0,85	0,58	0,38	22/08/84	03/09/84	Viamão
2	1695	0,53	0,88	0,90	0,53	0,33	07/08/85	23/08/85	Viamão
3	1035	0,32	0,89	0,93	0,37	0,25	15/08/85	28/08/85	Viamão
4 **	1595	0,50	0,73	0,30	0,55	0,51	26/09/85	03/10/85	Viamão
5	1720	0,54	0,62	0,95	0,63	0,75	20/08/86	30/08/86	Viamão
6 **	2814	0,88	0,62	0,94	0,88	0,82	21/08/86	31/08/86	Viamão
7 **	1639	0,51	0,82	0,83	0,55	0,85	02/10/86	13/10/86	Viamão
8	2201	0,69	0,70	0,94	0,75	0,75	26/08/87	09/09/87	Viamão
9	1684	0,53	0,89	0,87	0,63	0,72	21/09/87	02/10/87	Viamão
10	2397	0,75	0,67	0,95	0,72	0,15	17/08/88	29/08/88	Viamão
11 **	2284	0,72	0,58	0,51	0,71	0,82	07/10/88	19/10/88	Viamão
12	1752	0,55	0,63	0,55	0,55	0,87	12/10/88	24/10/88	Viamão
13	2575	0,81	0,94	0,85	0,76	0,35	15/08/89	25/08/89	Viamão
14	2519	0,79	0,73	0,59	0,73	0,53	22/09/89	03/10/89	Viamão
15	2212	0,69	0,68	0,57	0,65	0,51	26/09/89	05/10/89	Viamão
16	1832	0,57	0,95	0,98	0,70	0,92	06/10/87	18/10/87	Taquari
17	2690	0,84	0,97	0,80	0,87	0,75	04/09/89	16/09/89	Rio Pardo
18 **	1732	0,54	0,79	0,95	0,51	0,82	04/11/81	13/11/81	Sto. Augusto
19	1947	0,61	0,81	0,64	0,67	0,95	04/11/82	13/11/82	Sto. Augusto
20	1146	0,36	0,85	0,86	0,46	0,53	20/12/82	29/12/82	Sto. Augusto
21 **	2190	0,69	0,70	0,99	0,58	0,48	15/08/84	26/08/84	Sto. Augusto
22	1966	0,62	1,00	0,74	0,54	0,28	15/08/85	26/08/85	Sto. Augusto
23	1636	0,51	1,00	0,73	0,50	0,32	16/08/85	27/08/85	Sto. Augusto
24 **	1673	0,52	0,51	0,37	0,48	0,62	19/09/85	26/09/85	Sto. Augusto
25	1505	0,47	0,51	0,41	0,46	0,60	19/09/85	26/09/85	Sto. Augusto
26	2515	0,79	0,78	0,94	0,85	0,97	07/08/86	18/08/86	Sto. Augusto
27	2675	0,84	0,80	0,99	0,87	0,92	25/08/86	08/09/86	Sto. Augusto
28 **	2381	0,75	1,00	0,96	0,83	0,93	22/09/86	01/10/86	Sto. Augusto
29 **	2656	0,83	0,71	0,95	0,87	0,42	16/08/88	29/08/88	Sto. Augusto
30	2826	0,89	0,71	0,92	0,89	0,50	16/08/88	29/08/88	Sto. Augusto
31 **	2814	0,88	0,89	0,87	0,83	0,53	15/09/88	26/09/88	Sto. Augusto
32	3137	0,98	1,00	0,96	0,91	0,70	15/08/89	28/08/89	Sto. Augusto
33	3193	1,00	1,00	0,97	0,95	0,68	16/08/89	28/08/89	Sto. Augusto
34	2804	0,88	0,83	0,82	0,78	0,59	19/09/89	30/09/89	Sto. Augusto
35	2115	0,66	0,93	0,99	0,71	0,77	23/08/90	04/09/90	Sto. Augusto
36 **	1964	0,62	1,00	0,90	0,61	0,62	30/08/89	08/09/89	Paim Filho
37	1903	0,60	0,87	0,86	0,60	0,75	27/09/89	07/10/89	Paim Filho
38 **	2186	0,68	0,99	1,00	0,76	0,82	29/08/90	10/09/90	Paim Filho
39	2145	0,67	0,99	1,00	0,75	0,55	29/08/90	10/09/90	Paim Filho
40	2358	0,74	0,56	0,80	0,86	0,86	15/10/91	28/10/91	Paim Filho
41	2517	0,79	0,56	0,79	0,87	0,87	15/10/91	28/10/91	Paim Filho
42 **	1763	0,55	0,94	0,90	0,61	0,48	20/08/87	04/09/87	J. Castilhos
43	1957	0,61	0,94	0,88	0,65	0,28	20/08/87	04/09/87	J. Castilhos
44	1480	0,46	0,78	0,94	0,42	0,61	14/09/87	28/09/87	J. Castilhos
45 **	2260	0,71	0,99	0,93	0,79	0,72	12/09/84	21/09/84	Veranópolis
46 **	1910	0,60	0,96	0,96	0,68	0,53	01/10/90	10/10/90	Veranópolis
47	2147	0,67	0,72	0,81	0,72	0,83	25/09/91	07/10/91	Veranópolis
48	2197	0,69	0,72	0,80	0,73	0,82	25/09/91	07/10/91	Veranópolis
49 **	2621	0,82	0,42	0,91	0,90	0,67	11/08/88	24/08/88	Guabiju
50	2309	0,72	0,42	0,83	0,69	0,68	11/08/88	24/08/88	Guabiju
51	2404	0,75	0,49	0,60	0,82	0,94	06/10/88	19/10/88	Guabiju
52	2580	0,81	1,00	0,99	0,94	0,96	12/08/89	24/08/89	Passo Fundo
53	2513	0,79	1,00	0,98	0,93	1,00	18/09/89	28/09/89	Passo Fundo

* (kg/ha) Ym = 3193 kg/ha

** Ambientes sorteados para a validação do modelo.

TABELA 4 - Rendimentos máximos (Ym) de grãos de girassol (kg/ha, a 10 % de umidade), adotados para os grupos de maturação das cultivares e para os agrupamentos de ambientes por altitude, no Estado do Rio Grande do Sul

Agrupamentos de Ambientes	C U L T I V A R E S			MÉDIA	GERAL
	Precoces Médias	Semitardias Tardias			
Baixa Altitude (Até 100m)	2423 *	2814 *		2619	
Média Altitude (380m)	2562 *	3193 *		2878	
Alta Altitude (500 a 800m)	2606 *	2621 *		2614	
(Ym)	2606 **	3193 **		2878 ***	

* - Valores de Ym adotados por grupo de cultivares e por local.

** - Valores de Ym adotados por grupo de cultivares, para todos os ambientes avaliados.

*** - Valor de Ym adotado para todas as cultivares, em todos os ambientes avaliados, RS.

TABELA 5 - Correlações entre o rendimento relativo de grãos (Y/Ym) do girassol e os índices hídricos (ETr/ETo), correspondentes aos períodos do estabelecimento da cultura (X1), vegetativo (X2), reprodutivo (X3) e de maturação (X4), de cultivares Precoces, Médias, Semitardias e Tardias, em 53 ambientes do Estado do Rio Grande do Sul

Localidades	Cultivares	P e r í o d o s			
		X1	X2	X3	X4
RS ¹	Todas (1)	-0,1333 NS	0,2062 NS	0,9113 **	0,4075 *
RS ¹	Todas (2)	-0,0233 NS	0,2061 NS	0,9114 **	0,4074 *
RS ¹	Prec. e Médias	0,0482 NS	0,1434 NS	0,9199 **	0,5028 *
RS ¹	Semi e Tardias	-0,0179 NS	0,2514 NS	0,9213 **	0,2606 NS
Baixa Altitude ²	Prec. e Médias	-0,1167 NS	-0,2590 NS	0,8958 **	0,4854 *
	Semi e Tardias	-0,1675 NS	0,0098 NS	0,9470 **	0,1565 NS
Média ³ Altitude	Prec. e Médias	0,6532 **	0,7266 **	0,9495 **	0,5115 *
	Semi e Tardias	0,3184 NS	0,5238 *	0,9320 **	0,1958 NS
Alta Altitude ⁴	Prec. e Médias	-0,5334 *	-0,1568 NS	0,8607 **	0,3937 NS
	Semi e Tardias	-0,3989 NS	-0,2026 NS	0,9591 **	0,5669 *
RS1 ⁵	Prec. e Médias	-0,1094 NS	0,1084 NS	0,9118 **	0,4884 *
RS2 ⁶	Semi e Tardias	0,0085 NS	0,1665 NS	0,9257 **	0,2881 NS

1/ - RS = Estado do Rio Grande do Sul.

2/ - Altitudes inferiores a 100m

3/ - Altitudes em torno de 380m.

4/ - Altitudes entre 500 a 800m.

5/ - RS1 Correlações para 34 ambientes do RS (ajuste do modelo).

6/ - RS2 Correlações para 36 ambientes do RS (ajuste do modelo).

(1) Ym' de 3.069 kg/ha

(2) Ym de 2.878 kg/ha

* - Significativo ao nível de 5 %.

** - Significativo ao nível de 1 %.

NS - Não Significativo ao nível de 5 %.

MODELO AGROMETEOROLÓGICO DE PREDIÇÃO DO RENDIMENTO DO GIRASSOL: II. AJUSTE E VALIDAÇÃO DO MODELO

NÍDIO ANTONIO BARNI², MOACIR ANTONIO BERLATO³, HOMERO BERGAMASCHI¹, JOÃO RIBOLDI⁴

RESUMO - O rendimento máximo (Y_m') do girassol obtido com base na temperatura efetiva e na radiação solar fotossinteticamente ativa, absorvida, acumulada (PAR_{aa}) e aquele fundamentado no maior rendimento do girassol (Y_m) verificado em 53 ambientes do Estado do Rio Grande do Sul, foram penalizados em função do consumo relativo de água ou índice de seca específico da cultura (CSDI), conforme o modelo multiplicativo de Jensen. Os resultados mostram que o modelo ajustado e validado, com base no consumo relativo de água no subperíodo reprodutivo, explica cerca de 80 % da variação do rendimento do girassol no Rio Grande do Sul. O modelo apresentou bom desempenho na predição do rendimento ($r = 0,926$; $b = 0,993$). O rendimento de grãos de girassol pode ser predito com antecedência de, aproximadamente, 4 semanas da colheita, através do modelo multiplicativo no qual o Y_m seja o rendimento máximo estimado em função da PAR_{aa} (Y_m').

Palavras-chave: Modelo preditivo, rendimento de grãos, disponibilidade hídrica.

AGROMETEOROLOGICAL SUNFLOWER YIELD PREDICTION MODEL: II. MODEL ADJUST AND VALIDATION

ABSTRACT - The maximum yield (Y_m') of sunflower obtained on basis of effective temperature and on the photosynthetically active solar radiation absorbed accumulated (PAR_{aa}) and that based on the highest sunflower yield reached in 53 environments of the State of Rio Grande do Sul, were penalized in function of the relative water consumption or crop specific dryness index (CSDI), according to the Jensen multiplicative model. The results show that the adjusted and validated model, based on the relative water consumption in the reproductive subperiod, explain about 80 % of the variation in the sunflower yield in Rio Grande do Sul. The model showed good performance in the yield prediction ($r = 0.926$; $b = 0.993$). The sunflower grain yield may be predicted with four weeks before the harvest time, using the multiplicative model in which the Y_m be the maximum yield estimated in function of the PAR_{aa} (Y_m').

Key words: Prediction model, grain yield, water availability.

INTRODUÇÃO

A tentativa de elaboração de um modelo matemático de predição do rendimento de uma cultura oferece, segundo THORNLEY (1976), uma série de vantagens pois: (i) um modelo resume, convenientemente, grande quantidade de informações; (ii) a modelagem estimula novas idéias e novas linhas de investigação científica; (iii) a elaboração de um modelo ajuda a detectar áreas onde o conhecimento é limitado; (iv) modelos permitem interpolações e previsões; (v) informações sobre diferentes processos fisiológicos podem ser reunidas em um único modelo para se ter idéia da cultura como um todo; (vi) a base matemática para as hipóteses adotadas permite compreender, quantitativamente, a natureza das interações ambiente-planta.

Inúmeros estudos têm sido realizados com o objetivo de quantificar os efeitos do ambiente sobre o crescimento, desenvolvimento e rendimento de culturas. Para esses estudos e em modelagem dos efeitos sobre

culturas, as três variáveis mais importantes do ambiente, que devem ser consideradas no sentido de saber como elas podem limitar o crescimento e o desenvolvimento, são luz (ou radiação solar), umidade do solo e temperatura do ar (COELHO e DALE, 1980).

BAIER (1979) classificou os modelos de relações quantitativas, entre variáveis meteorológicas e rendimento de plantas cultivadas em três categorias: (i) modelo estatístico empírico; (ii) modelo de análise planta-clima; e (iii) modelo de simulação do crescimento da planta.

Modelos estatísticos de regressão múltipla, tais como, o de THOMPSON (1969), têm feito uso de médias mensais de temperatura e da precipitação total para prever o rendimento de plantas cultivadas.

Modelos intermediários, entre aproximações fisiológicas e de regressão múltipla, também têm sido desenvolvidos. BAIER (1973) analisou a contribuição diária das variáveis do ambiente e do solo para o rendimento final do trigo.

1. Extraído da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor à Faculdade de Agronomia da UFRGS, junho de 1994.

2. Eng. Agr., Dr.- FEPAGRO, Rua Gonçalves Dias 570, 90130-060 Porto Alegre-RS/BRASIL. Bolsista do CNPq.

3. Eng. Agr., Dr.- Faculdade de Agronomia da UFRGS, Av. Bento Gonçalves 7712, 90001- 970 Porto Alegre- RS/BRASIL. Bolsista do CNPq.

4. Eng. Agr., Dr.- Professor do Instituto de Matemática da UFRGS.

Recebido para publicação em 19/10/1995.

JENSEN (1968) estabeleceu um modelo multiplicativo, que relaciona o rendimento relativo de grãos com índices hídricos em distintos subperíodos do desenvolvimento da cultura.

Estas distintas tentativas e possibilidades mostram, como resultado das últimas décadas de pesquisa na exploração dos limites da produtividade, que a ciência descritiva busca acompanhar-se, cada vez mais, da ciência quantitativa, determinando, como consequência, aumento da capacidade de gerência dos sistemas (WITTEWER, 1980).

Os objetivos do presente estudo foram os seguintes:

- Quantificar o efeito de estresse hídrico em penalizar o rendimento máximo (Y_m) do girassol.
- Testar o modelo multiplicativo na predição do rendimento do girassol.

MATERIAL E MÉTODOS

O rendimento máximo (Y_m) de grãos de girassol foi penalizado em função do consumo relativo de água, de acordo com o modelo de JENSEN (1968), onde foi substituída a evapotranspiração máxima (ET_m) pela evapotranspiração potencial ou de referência do

girassol (ET_0), calculada pelo método combinado de PENMAN (1956) modificado, conforme BERLATO (1987). O modelo é dado por:

$$Y/Y_m = \prod_{i=1}^n (ET_r/ET_0)_i^{\lambda_i} \quad (2.1)$$

onde Y/Y_m é o rendimento relativo de grãos (Y_m é o rendimento máximo obtido em condições de não limitação hídrica), ET_r/ET_0 (evapotranspiração real/evapotranspiração de referência) é a evapotranspiração relativa em um dado subperíodo do desenvolvimento da planta, λ_i representa a sensibilidade relativa da planta ao déficit hídrico durante o período de desenvolvimento i . Os índices de $i, 1 \dots 4$ representam os subperíodos de desenvolvimento fenológico em que foi dividido o ciclo do girassol, conforme BARNI (1994).

Quando a disponibilidade de água para a cultura é igual à sua demanda, ET_r será igual a ET_0 e Y_m não será reduzido. Entretanto, quando a demanda de água, pela cultura, for maior do que a disponibilidade de água, ET_r será menor do que ET_0 e Y será menor do que Y_m .

Foram ajustadas cinco variantes do modelo (2.1), dadas por:

$$(Y/Y_m) = (ET_r/ET_0)_1^{\lambda_1} \times (ET_r/ET_0)_2^{\lambda_2} \times (ET_r/ET_0)_3^{\lambda_3} \times (ET_r/ET_0)_4^{\lambda_4} \quad (2.2)$$

$$(Y/Y_m) = (ET_r/ET_0)_2^{\lambda_2} \times (ET_r/ET_0)_3^{\lambda_3} \times (ET_r/ET_0)_4^{\lambda_4} \quad (2.3)$$

$$(Y/Y_m) = (ET_r/ET_0)_3^{\lambda_3} \times (ET_r/ET_0)_4^{\lambda_4} \quad (2.4)$$

$$(Y/Y_m) = (ET_r/ET_0)_2^{\lambda_2} \times (ET_r/ET_0)_3^{\lambda_3} \quad (2.5)$$

$$(Y/Y_m) = (ET_r/ET_0)_3^{\lambda_3} \quad (2.6)$$

O rendimento máximo (Y_m'), gerado através do modelo que utiliza a radiação e a temperatura como variáveis preditoras (BARNI, 1994; BARNI et al., 1995), foi utilizado para estabelecer a relação com os rendimentos observados (Y) em 53 ambientes do Estado do Rio Grande do Sul. Também foi adotado um Y_m para as cultivares semitardias e tardias. Estes rendimentos máximos (Y_m) representam a média de rendimento de grãos das cultivares dos referidos grupos de maturação em determinado ambiente, conforme descrito em BARNI et al. (1995).

Os parâmetros λ_i foram estimados usando as regressões múltiplas das transformações logarítmicas de (2.2), (2.3), (2.4), (2.5) e (2.6), conforme SCHLOTZHAUER e LITTELL (1987), baseado no método dos quadrados mínimos, passando pela origem, isto é, sem intercepto.

O ajuste do modelo penalizador do rendimento máximo (Y_m) do girassol utilizou dados da cultura, dados meteorológicos, dados do solo e definição de subperíodos de desenvolvimento do girassol, conforme referido em BARNI et al., (1996), na primeira parte deste estudo.

Do conjunto total de dados experimentais de rendimento e fenologia do girassol (51 ambientes para cultivares precoces e médias e 53 para as cultivares semitardias e tardias) foi sorteado, aleatoriamente, um subconjunto de cerca de 33 % do total, destinado à validação do modelo (17 ambientes). Os demais 67 % dos dados (34 ambientes para as cultivares precoces e médias e 36 ambientes para as semitardias e tardias) foram utilizados no ajuste do modelo, conforme BARNI et al. (1996).

Os dados foram submetidos a análises estatísticas, conforme referido anteriormente. As análises de variância foram realizadas pelo método dos mínimos quadrados e testadas pelo teste-F. O Teste de Duncan testou as diferenças entre as médias. Das análises de regressão realizadas, foram obtidos os coeficientes de determinação (r^2) do modelo que melhor se ajustou em cada relação. Na penalização do rendimento máximo, foram obtidos os valores e a significância estatística de cada parâmetro componente de cada uma das formulações do modelo. Foram também obtidas as estatísticas de aferição das formulações do modelo que apresentaram significância ao nível de 1% (relação entre o rendimento relativo de grãos observado versus o rendimento

relativo calculado pelas distintas formulações do modelo), tais como, coeficiente de correlação (r), erro padrão da estimativa (EPE) de cada coeficiente, coeficiente de regressão (b) e valor e significância do teste-F do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ajuste são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3. Nestas tabelas constam os termos que compõem o modelo, seus respectivos parâmetros acompanhados do erro padrão da estimativa (EPE), do nível de significância e do coeficiente de determinação.

As estatísticas da relação, entre o rendimento de grãos observado e o calculado pelo modelo multiplicativo ajustado, constam na Tabela 4. Nesta tabela encontram-se parâmetros que apresentaram ajuste significativo ao nível de 1%, os coeficientes de regressão, o erro padrão da estimativa desses coeficientes e o coeficiente de correlação.

Na Tabela 1, são apresentados os parâmetros para o modelo multiplicativo completo (4 termos) e os reduzidos com um, dois e três termos. Estes parâmetros foram gerados a partir dos rendimentos e dos índices

TABELA 1 - Valores dos parâmetros do modelo multiplicativo para a estimativa do rendimento de grãos do girassol, no Rio Grande do Sul (Cultivares Precoces, Médias, Semitardias e Tardias)

TERMOS DO MODELO				PARÂMETROS				F-teste
X1+	X2	X3	X4	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	R^2
Média entre grupos de maturação: (1)								
		(ETr/ETo)3++		-	-	1,1561 **	-	163 **
		EPE+++				0,04		0,762
	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3	-		-0,1339 NS	1,2109 **	-	85 **
		EPE			0,07	0,05		0,773
		(ETr/ETo)3	(ETr/ETo)4	-	-	1,2495 **	-0,0722 NS	85 **
			EPE	0,07	0,05	0,772		
	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3	(ETr/ETo)4	-	-0,1291 NS	1,325 **	-0,0826 NS	60 **
		EPE		0,07	0,08	0,05	0,787	
	(ETr/ETo)1	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3	(ETr/ETo)4	0,0446 NS	-0,1575 *	1,318 **	-0,0825 NS45 **
		EPE			0,05	0,08	0,08	0,05
								0,791

+ X1= subperíodo de estabelecimento da cultura (Semeadura ate 20 dias após a emergência das plantas);
 X2= subperíodo vegetativo (20 dias após a emergência à diferenciação do primórdio floral (R1));
 X3= subperíodo reprodutivo (Diferenciação do primórdio floral (R1), ao final da antese (R6));
 X4= subperíodo da maturação (Final da antese (R6), à maturação fisiológica (R9)).
 ++ (ETr/ETo) = índice hídrico. (Evapotranspiração real / Evapotranspiração de referência).
 +++ EPE = Erro padrão da estimativa; * Significativo a 5 %; ** Significativo a 1 %; NS Não Significativo.
 (1) Rendimento máximo (Ym') = 3.069 kg/ha, n = 53.

TABELA 2 - Valores dos parâmetros do modelo multiplicativo para a estimativa do rendimento de grãos do girassol, no Rio Grande do Sul. Cultivares Precoces, Médias, Semitardias e Tardias)

TERMOS DO MODELO				PARÂMETROS				F-teste
X1+	X2	X3	X4	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	R ²
Média entre grupos de maturação: (1)								
		(ETr/ETo)3++ EPE+++		-	-	1,024 ** 0,03	-	229 ** 0,818
(ETr/ETo)2		(ETr/ETo)3 EPE		-	-0,1337 * 0,06	1,089 ** 0,04	-	125 ** 0,834
		(ETr/ETo)3 EPE	(ETr/ETo)4	-	-	1,1469 ** 0,06	-0,0944 * 0,04	127 ** 0,836
(ETr/ETo)2		(ETr/ETo)3 EPE	(ETr/ETo)4	-	-0,1532 ** 0,06	1,2367 ** 0,07	0,1067 ** 0,04	97 ** 0,857
(ETr/ETo)1	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3 EPE	(ETr/ETo)4	0,0135NS 0,05	-0,1607 * 0,06	1,2334 ** 0,07	-0,1072 ** 0,04	71 ** 0,857
Grupos de maturação em separado: (2)								
		(ETr/ETo)3 EPE		-	-	1,209 ** 0,03	-	234 ** 0,602
(ETr/ETo)2		(ETr/ETo)3 EPE		-	-	1,2062 ** 0,01	0,0018 NS 0,04	128 ** 0,602
		(ETr/ETo)3 EPE	(ETr/ETo)4	-	-0,0694 NS	1,242 ** 0,07	- 0,05	131 ** 0,606
(ETr/ETo)2		(ETr/ETo)3 EPE	(ETr/ETo)4	-	-0,0696 NS 0,07	1,2437 ** 0,07	-0,0014 NS 0,04	92 ** 0,606
(ETr/ETo)1	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3 EPE	(ETr/ETo)4	0,1354 * 0,06	-0,1382 NS 0,07	1,2112 ** 0,07	-0,0086 NS 0,03	67 ** 0,626

+ X1= subperíodo de estabelecimento da cultura (Semeadura até 20 dias após a emergência das plantas);

X2= subperíodo vegetativo (20 dias após a emergência a diferenciação do primórdio floral (R1));

X3= subperíodo reprodutivo (Diferenciação do primórdio floral (R1), ao final da antese (R6));

X4= subperíodo da maturação (Final da antese (R6), até a maturação fisiológica (R9)).

++ (ETr/ETo) = índice hídrico. (Evapotranspiração real / Evapotranspiração de referência).

+++ EPE = Erro padrão da estimativa; * Significativo a 5 %; ** Significativo a 1 %; NS Não Significativo.

(1) Ym = 2.878 kg/ha, n = 53. (2) Ym = 3.193 kg/ha, n = 104.

TABELA 3 - Valores dos parâmetros do modelo multiplicativo para a estimativa do rendimento de grãos do girassol, por grupo de maturação das cultivares, no Rio Grande do Sul. (Cultivares Precoces e Médias; Semitardias e Tardias)

TERMOS DO MODELO				PARÂMETROS				F-teste
X1+	X2	X3	X4	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	R ²
Cultivares Precoces e Médias: (1)								
		(ETr/ETo)3++ EPE+++		-	-	0,9852 ** 0,04	-	145 ** 0,819
	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3 EPE		-	-0,2042 *	1,071 ** 0,08	- 0,05	89 ** 0,852
		(ETr/ETo)3 EPE	(ETr/ETo)4	-	-	1,1602 ** 0,08	-0,1233 * 0,05	86 ** 0,847
EPE	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3	(ETr/ETo)4	-	-0,2238 ** 0,07	1,2726 ** 0,08	-0,1367 * 0,04	78 ** 0,887
(ETr/ETo)1	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3 EPE	(ETr/ETo)4	0,0173 NS 0,06	-0,2348 ** 0,08	1,2735 ** 0,08	-0,1409 * 0,047	57 ** 0,887
Cultivares Semitardias e Tardias: (2)								
		(ETr/ETo)3 EPE		-	-	1,0699 ** 0,04	-	186 ** 0,846
	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3 EPE		-	0,0904 NS 0,08	1,1102 ** 0,05	-	94 ** 0,851
		(ETr/ETo)3 EPE	(ETr/ETo)4	-	- 0,06	1,1611 ** 0,04	-0,0759 NS	102 ** 0,861
	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3 EPE	(ETr/ETo)4	-	-0,1098 NS 0,08	1,2174 ** 0,07	0,0821 NS 0,039	71 ** 0,869
(ETr/ETo)1	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3 EPE	(ETr/ETo)4	0,1091 NS 0,07	-0,1886 NS 0,09	1,1989 ** 0,07	-0,0807 * 0,04	56 ** 0,878

+ X1= subperíodo de estabelecimento da cultura (Semeadura a 20 dias após a emergência das plantas);
 X2= subperíodo vegetativo (20 dias após a emergência a diferenciação do primórdio floral (R1));
 X3= subperíodo reprodutivo (Diferenciação do primórdio floral (R1), ao final da antese (R6));
 X4= subperíodo da maturação (Final da antese (R6), à maturação fisiológica (R9)).
 ++ (ETr/ETo) = índice hídrico. (Evapotranspiração real/Evapotranspiração de referência).
 +++ EPE=Erro padrão da estimativa; * Significativo a 5 %; ** Significativo a 1 %; NS Não Significativo.
 (1) n = 34. (2) n = 36.

TABELA 4 - Análise estatística da relação entre o rendimento de grãos observado e o calculado pela função ajustada do modelo multiplicativo, para o girassol, no Estado do Rio Grande do Sul-RS

Localidades e Cultivares	TERMOS DO MODELO				E S T A T Í S T I C A S			
	X1	X2	X3	X4	r +	EPE +	b +	F-teste
RS (n=53) (1) Prec. e Médias			(ETr/ETo)3++		0,897	0,01	0,956 **	175 **
Semi e Tardias	(ETr/ETo)1	ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3	(ETr/ETo)4	0,928	0,01	0,955 **	241 **
RS (n=53) (2) Prec. e Médias			(ETr/ETo)3++		0,896	0,01	0,986 **	217 **
Semi e Tardias	(ETr/ETo)1	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3	(ETr/ETo)4	0,926	0,01	0,977 **	306 **
RS (n=34) (3) Precoces e Médias			(ETr/ETo)3		0,884	0,02	0,986 **	113 **
	(ETr/ETo)1	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3	(ETr/ETo)4	0,923	0,01	0,977 **	257 **
RS (n=36) (4) Semitardias e Tardias			(ETr/ETo)3		0,921	0,02	0,981 **	163 **
	(ETr/ETo)1	(ETr/ETo)2	(ETr/ETo)3	(ETr/ETo)4	0,937	0,01	0,976 **	243 **

+ r = coeficiente de correlação; EPE = Erro Padrão da Estimativa de b;

b = Coeficiente de regressão entre o rendimento observado e o estimado pelo modelo ajustado.

++ (ETr/ETo) = índice hídrico. (Evapotranspiração real / Evapotranspiração de referência).

(1) Parametrizado com rendimento máximo (Ym') de 3.069 kg/ha.

(2) Parametrizado com rendimento máximo (Ym) de 2.878 kg/ha.

(3) Parametrizado com rendimento máximo (Ym) de 2.606 kg/ha.

(4) Parametrizado com rendimento máximo (Ym) de 3.193 kg/ha.

hídricos médios, por ambiente, e com o rendimento máximo (Ym') de 3.069 kg/ha, para os 53 ambientes (n = 53). Da mesma forma, na parte superior da Tabela 2, estão os parâmetros gerados a partir da média dos rendimentos e dos índices hídricos, por ambiente, com o rendimento relativo (Y/Ym) calculado com base no Ym de 2.878 kg/ha (maior valor na média de cultivares por ambiente, n = 53). Em razão da pequena variação fenológica e dos rendimentos médios de grãos, as cultivares foram reunidas em dois grupos. O primeiro deles reúne cultivares precoces e médias que, passam a ser chamadas apenas de precoces e o segundo grupo reúne as cultivares semitardias e tardias que passam a denominar-se, simplesmente, de tardias.

Verifica-se (Tabela 1) que o modelo completo (X1-X4), para a média das cultivares e dos índices hídricos, apresentou significância estatística ao nível de 1 % e explicou 79,1 % da variação do rendimento de grãos de todas as cultivares de girassol, nos 53 ambientes avaliados. Por outro lado, na parte superior da Tabela 2, o modelo completo explicou 85,7 % da variação do rendimento de grãos. Isto mostra que a utilização do Ym de 2.878 kg/ha, mais representativo dos ambientes avaliados, explicou uma parcela

maior (6,6 %) da variação do rendimento de grãos, por efeito do fator umidade. Os modelos que utilizam-se de três termos aproximaram-se do desempenho do modelo completo (Tabelas 1 e 2) uma vez que esses modelos contemplam os três subperíodos mais sensíveis quanto à disponibilidade hídrica (BARNI et al., 1996). Os modelos com dois termos (X2-X3 e X3-X4) apresentaram um comportamento intermediário, entre os modelos com três e quatro termos e o modelo reduzido de apenas um termo (X3). É importante destacar que o modelo reduzido (X3) explicou 76,2 e 81,8% da variação do rendimento de grãos de girassol de todos os ambientes estudados, confirmando tratar-se do subperíodo de maior sensibilidade ao fator água, na definição do rendimento desta cultura, no Rio Grande do Sul (BARNI et al., 1996). Para as cinco formulações do modelo, o parâmetro λ_3 apresentou valores elevados, comparativamente aos demais ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4$), mostrando tratar-se do período de maior contribuição na definição do rendimento de grãos do girassol. Estes resultados são consistentes como o reportado por DOOREMBOS e KASSAM (1979), que se referem a um consumo de 55% do total da água consumida pelo girassol, durante este período.

Na Figura 1, estão representados os comportamentos do modelo completo e reduzido com o Y_m' de 3.069 kg/ha. Verifica-se, na aferição do modelo completo (Figura 1-b e Tabela 4), que o mesmo superestima em 4,5 % o rendimento observado, enquan-

to que o modelo reduzido (X3) superestima em 4,4 % o rendimento observado, com correlações de 0,928 e 0,897, respectivamente, entre os rendimentos observados e estimados pelos modelos.

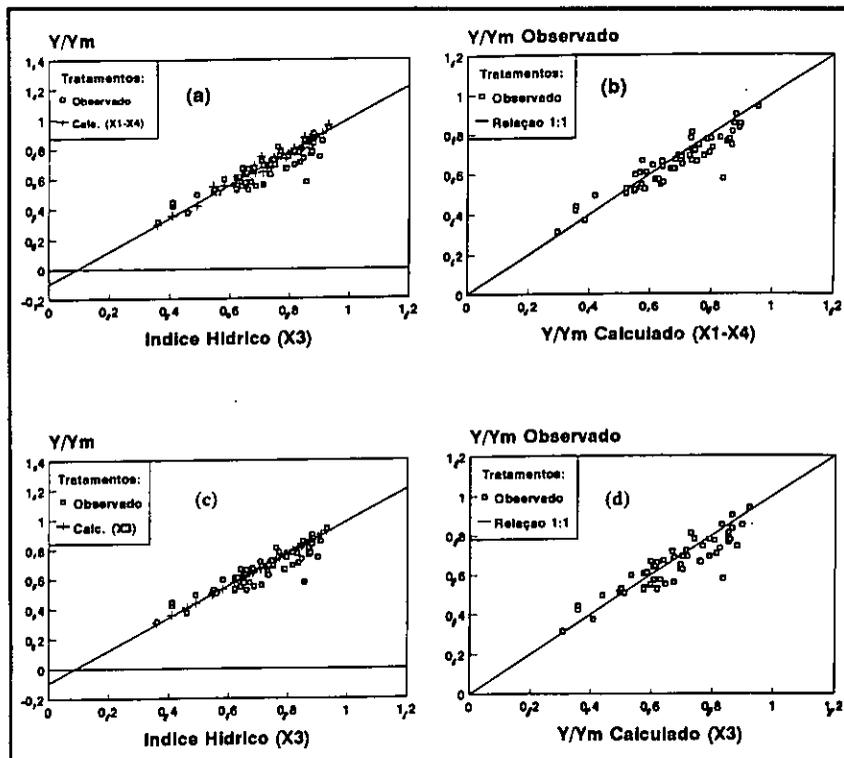


FIGURA 1- Rendimento relativo de grãos de girassol (Y/Y_m) calculado pelo modelo multiplicativo ajustado na formulação completa X1-X4 (a), e reduzida, X3 (c), como função do índice hídrico (E_{Tr}/E_{To}) no período X3 e suas respectivas relações com o rendimento de grãos observado (b, X1-X4; d, X3), na média de cultivares por ambiente (precoces e tardias), e na média de cada índice hídrico (X1,X2,X3,X4), entre cultivares por ambiente, para 53 ambientes do RS. (Y_m é o rendimento calculado de 3.069 kg/ha (Y_m'), na média de cultivares, Taquari 1991/92 e 1992/93)

Os resultados da parte inferior da Tabela 2 também mostram a dependência do rendimento de grãos do girassol às condições hídricas no período reprodutivo (X3). Entretanto, neste caso, os coeficientes de determinação das cinco formulações do modelo variaram de 0,626 (X1-X4) a 0,602 (X3), explicando apenas 62,6 % da variação do rendimento de grãos com o modelo completo. Este fato demonstra, com clareza, o efeito do Y_m em modificar as relações de dependência entre os índices hídricos (E_{Tr}/E_{To}) e o rendimento de grãos. As cultivares preco-

ces apresentaram um Y_m de 2.606 kg/ha, no conjunto de todos os ambientes avaliados, enquanto que as tardias alcançaram 3.193 kg/ha, representando uma diferença de 587 kg/ha, ou cerca de 22,5 % a mais em relação ao Y_m do grupo das cultivares precoces. Isto determinou uma acentuada dispersão de pontos na plotagem dos rendimentos relativos contra os índices hídricos do período reprodutivo (X3), o de maior dependência do rendimento, conforme demonstrado acima. Este comportamento diferenciado está ilustrado nas Figuras 2 e 3.

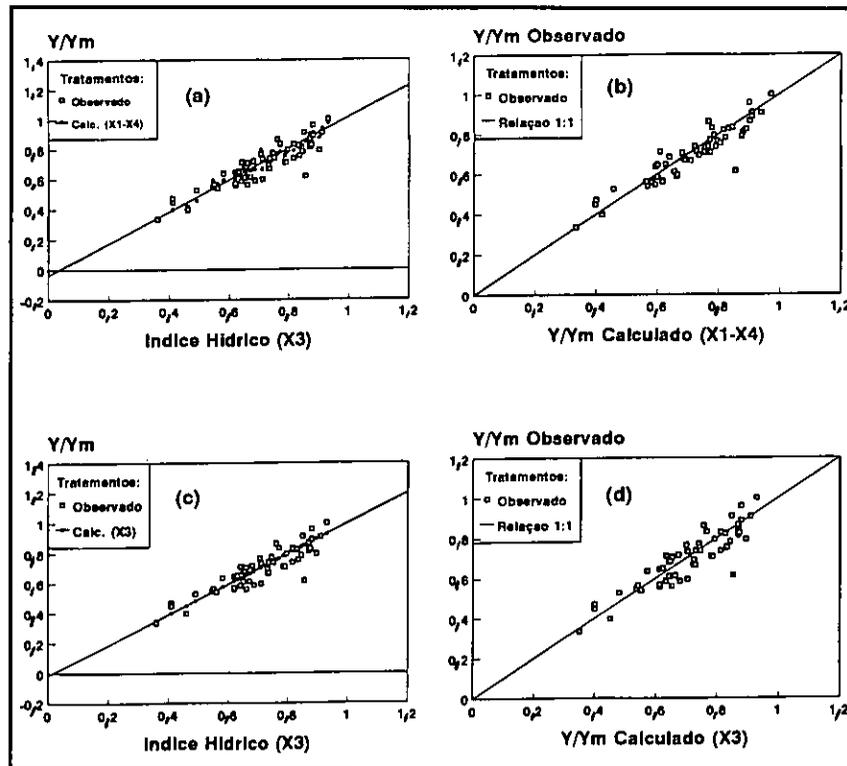


FIGURA 2 -Rendimento relativo de grãos de girassol (Y/Y_m) calculado pelo modelo multiplicativo ajustado na formulação completa X1-X4 (a), e reduzida, X3 (c), como função do índice hídrico (E_{Tr}/E_{To}) no período X3 e suas respectivas relações com o rendimento de grãos observado (b, X1-X4; d, X3), na média de cultivares por ambiente (precoce e tardias), e na média de cada índice hídrico (X1,X2,X3,X4), entre cultivares por ambiente, para 53 ambientes do RS. (Y_m é o rendimento máximo entre os 53 ambientes, na média de cultivares, $n=53$)

O coeficiente angular de regressão ($b = 0,986$) evidencia que o modelo ajustado, com base na formulação reduzida (X3), superestima em 1,4 % o rendimento observado (Tabela 4). Este valor, de apenas 1,4 %, mostra que o Y_m de 2.878 kg/ha ajustou melhor o modelo, obtendo uma sintonia mais fina do que o Y_m' de 3.069 kg/ha, ilustrado na Figura 1. Já a formulação completa (X1-X4) superestima em 2,3 %, embora seu coeficiente de correlação tenha alcançado o valor de 0,926. O ideal, nesta análise, seria que a relação entre os valores observados e os estimados pelo modelo ajustado se aproximasse de 1 ($b = 1$), o erro padrão da estimativa (EPE) desse coeficiente fosse o menor possível e o coeficiente de correlação elevado. Este fato evidencia que o Y_m expressa o nível de adaptação do genótipo, ou grupo de genótipos de mesma carga genética, ao ambiente. Por isso, as modificações no ambiente, provocadas por variações tecnológicas (adubação, irrigação, e outras) modificam o potencial deste ambiente da mesma forma que os genótipos podem ser modificados, ampliando sua capacidade ou eficiência de adaptação ao ambiente

(FINLAY e WILKINSON, 1963; EBERHART e RUSSEL, 1966; LIN et al., 1986; VERNETTI et al., 1990).

Portanto, a relação entre o índice hídrico e o rendimento de grãos é válida em qualquer situação, desde que os genótipos avaliados apresentem a mesma eficiência de uso da água. Quando a eficiência de uso da água for modificada, intrinsecamente pela mudança no genótipo, ou extrinsecamente pelo manejo cultural, a associação da relação diminui e a estimativa produzida pelo modelo perde acuracidade (Figura 3). Da análise dos resultados apresentados na Tabela 2, fica claro que a predição do rendimento do girassol, com base nos índices hídricos, é válida, quando, tanto os rendimentos de grãos, quanto os índices hídricos forem os valores médios entre grupos de maturação. Dentro do mesmo grupo de maturação, o modelo perde qualidade, quando a eficiência de uso da água for modificada pelo manejo da cultura ou por mudança de genótipos. Também neste caso, a análise conjunta deve fundamentar-se na média dos rendimentos entre os locais e na média dos

índices hídricos, em cada subperíodo, entre os locais. O rendimento relativo será estabelecido tendo por base o rendimento máximo (Y_m), obtido na média entre os dois locais.

Na Tabela 3, são apresentadas as estimativas dos parâmetros, do modelo multiplicativo de Jensen, para as cultivares precoces e tardias, em separado.

Na parte superior da Tabela 3, verifica-se que o modelo completo ($X1-X4$) explicou cerca de 88,7 % da variação do rendimento das cultivares precoces e que o modelo reduzido ($X3$) explicou 81,9 %, para as mesmas cultivares. Entretanto, as cultivares precoces estenderam sua dependência para o subperíodo vegetativo ($X2$) e, com menor intensidade, para o subperíodo da

maturação ($X4$), onde os parâmetros das diferentes formulações do modelo apresentaram significância estatística ao nível de 1 % e 5 %, respectivamente.

Para as cultivares tardias (Tabela 3) a dependência do rendimento de grãos concentrou-se, quase que exclusivamente, no subperíodo reprodutivo ($X3$). Apenas no modelo completo ($X1-X4$) o parâmetro λ_4 alcançou significância ao nível de 5 %. Comparativamente com as cultivares precoces, o modelo para as tardias explica um percentual menor da variação do rendimento de grãos, em função do consumo relativo de água expresso pelo índice ET_r/ET_o . As ilustrações desta relação de dependência encontram-se na Figura 4 e as estatísticas deste ajuste estão registradas na Tabela 4.

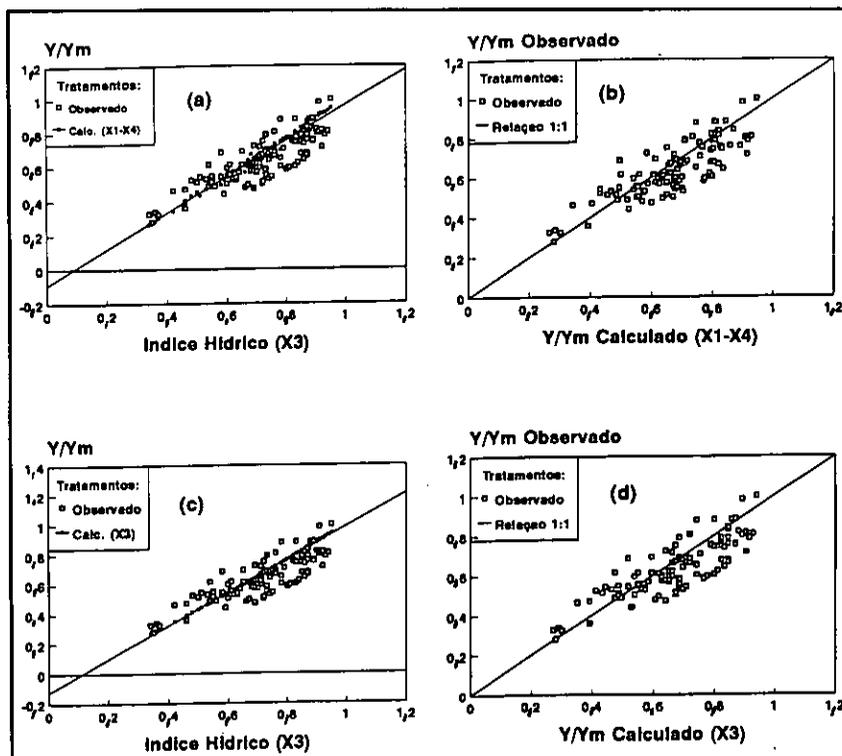


FIGURA 3 - Rendimento relativo de grãos de girassol (Y/Y_m) calculado pelo modelo multiplicativo ajustado na formulação completa, $X1-X4$ (a) e reduzida, $X3$ (c), como função do índice hídrico (ET_r/ET_o) no período $X3$ e suas respectivas relações com o rendimento de grãos observado (b, $X1-X4$; d, $X3$). Cultivares (precoces e tardias) e índices hídricos ($X1, X2, X3$, e $X4$) para 51 e 53 ambientes do RS. (Y_m , é o rendimento máximo das cultivares tardias, $n = 104$)

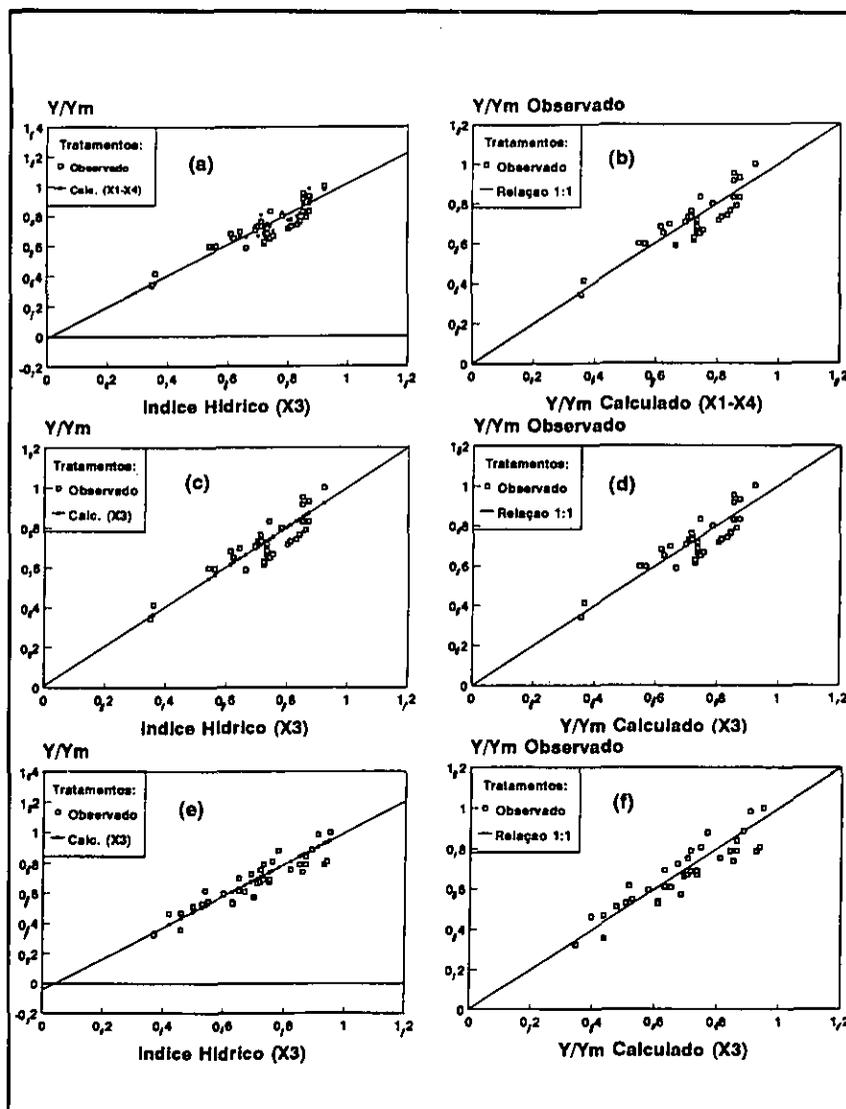


FIGURA 4 -Rendimento relativo de grãos de girassol (Y/Ym) calculado pelo modelo multiplicativo ajustado na formulação completa X1-X4 (a) e reduzida X3 (c) para as cultivares precoces; e X3 (e) para as tardias, como função do índice hídrico (ETr/ETo) no período X3 e suas respectivas relações com o rendimento de grãos observado (b, X1-X4; d, X3; precoces) e (f, X3; tardias). Índices hídricos (X1,X2,X3,X4) para 34 e 36 ambientes do RS. (Ym é independente por grupo de maturação)

Estes resultados mostram que as cultivares precoces apresentam maior sensibilidade ao fator água, concordando com informações obtidas por SANGOI (1985). Por sua vez, BERLATO (1987), ao estudar a cultura da soja, e MATZENAUER (1994), ao estudar a do milho, relataram serem as cultivares precoces as mais sensíveis às variações de disponibilidade hídrica. As cultivares precoces respondem favoravelmente aos bons ambientes, elevando os rendimentos, e são penalizadas, de forma marcante, nos ambientes de menores disponibilidades. As cultivares tardias apresentaram tendência de maior estabilidade, não

oscilando tanto, entre ambientes favoráveis e limitados, semelhante ao constatado por SANGOI (1985). Entretanto, a análise individual dos resultados obtidos em distintas regiões do Estado poderá retirar parte da sustentação desta afirmação.

A Figura 5 apresenta o resultado do teste do modelo com uma série de dados independentes daqueles utilizados para o seu ajuste. Esta Figura ilustra a validação do modelo geral para o Estado, com cultivares precoces e tardias. O desempenho do modelo, indicado pelos coeficientes de correlação ($r = 0,922$; $r = 0,935$; $r = 0,882$; $r = 0,917$), é promissor.

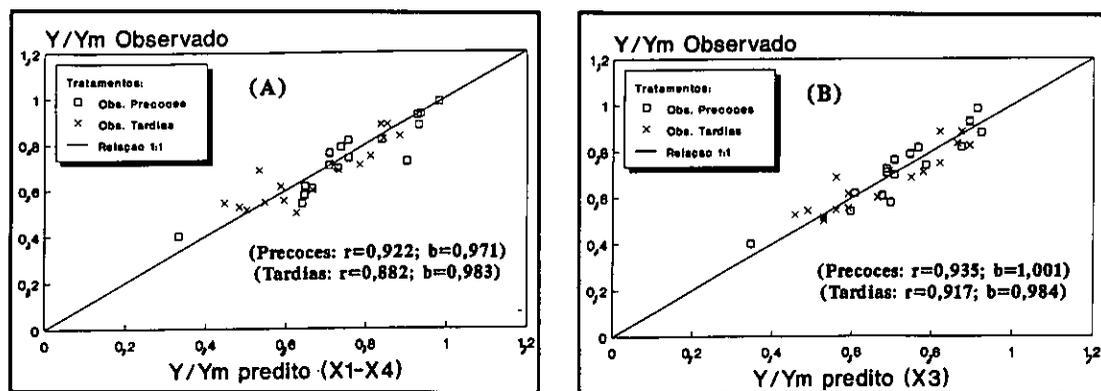


FIGURA 5 -Rendimento relativo de grãos de girassol observado no Rio Grande do Sul e predito pelo modelo multiplicativo: (A) modelo multiplicativo com quatro termos; (B) modelo multiplicativo com um termo.

O modelo reduzido de apenas um termo apresentou desempenho superior ao modelo completo. Este fato confirma resultados obtidos por MATZENAUER (1994) com a cultura do milho e reforça a afirmativa de BERLATO (1987) de que o caminho para melhorar o desempenho desses modelos não é, necessariamente, o aumento de variáveis predictoras, mas sim a inclusão da variável ou das variáveis que, numa determinada região, respondam pela maior parcela da variação dos rendimentos da espécie cultivada, assim como o conhecimento dos períodos fenológicos da planta em que essa dependência é máxima (subperíodos críticos).

Os resultados mostram valores de lambda pequenos ou próximos a zero no estabelecimento da cultura, nos subperíodos vegetativo e de maturação. Isso determina que não ocorra diferença significativa do poder preditivo, entre o modelo que utiliza quatro termos e o de somente um termo. O modelo de apenas um termo (subperíodo reprodutivo), além de sua simplicidade e facilidade de cálculo, tem a vantagem de antecipar, em cerca de 4 semanas, a informação sobre o rendimento da cultura, constituindo-se numa ferramenta importante de previsão de safras.

A Tabela 5 apresenta os rendimentos de grãos de girassol observados e preditos pelo modelo multiplicativo com quatro e um termos, assim como os desvios em kg/ha e em percentagem. Os desvios extremos variaram de zero a 25 %, sendo os desvios médios, no modelo completo, de 7,3 % e 8,5 % para as cultivares precoces e tardias, respectivamente. Por sua vez, o modelo reduzido apresentou desvios médios de 6,8 % e 7,6 % para as cultivares precoces e tardias, além de menores desvios extremos. Estes dados evidenciam que o modelo reduzido apresentou maior acuracidade preditiva.

Merece apreciação o fato de que o modelo para o girassol foi ajustado com um conjunto de dados relativamente pequeno (34 ambientes para as precoces e 36

para as tardias) e validado com resultados de 17 ambientes para os dois grupos de maturação de cultivares. É facilmente compreensível que um conjunto maior de dados, com amostragem mais ampla, traria, como consequência, um ajuste mais fino decorrente da maior sensibilidade do modelo, onde o poder preditivo seria aumentado e os desvios de predição minorados. Entretanto, é importante lembrar que na estimativa dos parâmetros do modelo foram utilizados dados obtidos em nove localidades, de cinco regiões climáticas do Estado, com grande variabilidade de solos e das normais dos elementos meteorológicos. Provavelmente, o poder preditivo do modelo ajustado, por região, seja mais acurado, como ficou evidente na aferição do modelo para a região de Santo Augusto (BARNI, 1994). Mas, a validação do modelo, por região, não foi possível tendo em conta o número limitado de dados disponíveis.

Confirma-se para o girassol, o que BERLATO (1987) constatou para a cultura da soja, isto é, que o modelo multiplicativo de JENSEN (1968), adaptado, representa uma grande simplificação, em relação a outros modelos, em quatro aspectos fundamentais relacionados com a praticidade de sua aplicação: (i) uso da variável evapotranspiração real (E_{Tr}) e não a transpiração (T); (ii) utiliza a evapotranspiração potencial (E_{To}) e não a evapotranspiração máxima (E_{Tm}), sendo esta uma adaptação em relação ao modelo original; (iii) estima o saldo de radiação, principal variável no cálculo da evapotranspiração pelo método combinado (Penman), através de uma relação de regressão com a radiação solar global (R_s). A relação encontrada para o girassol foi $R_n = 0,98606R_s - 102,42$; (iv) estima a evapotranspiração real (E_{Tr}) a partir de um balanço hídrico do solo.

A limitação do modelo apontada por BERLATO (1987), se refere ao rendimento máximo (Y_m) o qual pode variar a longo prazo com a criação de cultivares

TABELA 5 - Valores do rendimento de grãos de girassol (kg/ha) observado no Rio Grande do Sul e predito pelo modelo multiplicativo completo(X1-X4) e reduzido (X3)

No*	PREDITOS				PELO MODELO			Data da Semeadura	Localidades
	OBSERVADO (X1-X4)	Desvio (X3)		Desvio	Desvio				
Amb.	(A)	(B)	(B-A)	(%)	(C)	(C-A)	(%)		
Cultivares Precoces e Médias:									
2	1409	1666	257	18	1550	141	10	07/08/85	Viamão
5	1507	1682	175	12	1808	301	20	20/08/86	Viamão
6	1926	1969	43	2	2040	114	6	21/08/86	Viamão
10	1813	1897	84	5	1834	21	1	17/08/88	Viamão
14	1883	2348	465	25	1782	-101	-5	22/09/89	Viamão
17	2423	2436	13	1	2323	-100	-4	04/09/89	Rio Pardo
19	1582	1730	148	9	1756	174	11	04/11/82	Sto. Augusto
23	1607	1683	76	5	1576	-31	-2	16/08/85	Sto. Augusto
24	1040	864	-176	-17	900	-140	-13	19/09/85	Sto. Augusto
27	2130	2183	53	3	2272	142	7	25/08/86	Sto. Augusto
29	2122	1964	-158	-7	1989	-133	-6	16/08/88	Sto. Augusto
33	2562	2558	-4	0	2375	-187	-7	16/08/89	Sto. Augusto
36	1983	1845	-138	-7	1834	-149	-8	30/08/89	Paim Filho
40	2405	2419	14	1	2323	-82	-3	15/10/91	Paim Filho
45	2290	2425	135	6	2400	110	5	12/09/84	Veranópolis
48	2047	1918	-129	-6	1937	-110	-5	25/09/91	Veranópolis
51	1841	1839	-2	0	1782	-59	-3	06/10/88	Guabiju
Cultivares Semitardias e Tardias:									
1	1739	1746	7	0	1783	44	3	22/08/84	Viamão
4	1595	1996	401	25	1684	89	6	26/09/85	Viamão
6	2814	2673	-141	-5	2785	-29	-1	21/08/86	Viamão
7	1639	1601	-38	-2	1684	45	3	02/10/86	Viamão
11	2284	2302	18	1	2213	-71	-3	07/10/88	Viamão
18	1732	1424	-308	-18	1553	-179	-10	04/11/81	Sto. Augusto
21	2190	1699	-491	-22	1783	-407	-19	15/08/84	Sto. Augusto
24	1673	1543	-130	-8	1456	-217	-13	19/09/85	Sto. Augusto
28	2381	2589	208	9	2616	235	10	22/09/86	Sto. Augusto
29	2656	2819	163	6	2751	95	4	16/08/88	Sto. Augusto
31	2814	2725	-89	-3	2616	-198	-7	15/09/88	Sto. Augusto
36	1964	1872	-92	-5	1882	-82	-4	30/08/89	Paim Filho
38	2186	2332	146	7	2381	195	9	29/08/90	Paim Filho
42	1763	1898	135	8	1882	119	7	20/08/87	J. Castilhos
45	2260	2503	243	11	2481	221	10	12/09/84	Veranópolis
46	1910	2124	214	11	2113	203	11	01/10/90	Veranópolis
49	2621	2692	71	3	2853	232	9	11/08/88	Guabiju

* Número do ambiente, sorteado entre os 53 disponíveis.

de maior potencial produtivo, pode ser minorada ou eliminada através da estimativa do Ym, via modelos que utilizem o conceito de crescimento energético das culturas, como o apresentado e discutido por BARNI (1994) e BARNI et al. (1995). Os modelos ajustados (BARNI, 1994; BARNI et al., 1995), com base na temperatura, para estimar o crescimento da área foliar, e na radiação solar absorvida pelo dossel, para estimar a produção de matéria seca aérea, mostram-se altamente promissores, uma vez que as equações geradas reproduzem resulta-

dos de rendimento de grãos máximos, equivalentes aos obtidos nos 53 ambientes utilizados para o ajuste do modelo multiplicativo. Apenas necessita uma base de dados mais abrangente para o cálculo dos parâmetros, especialmente para as cultivares precoces que são mais sensíveis às variações do meio, como referido e demonstrado anteriormente.

Outra característica a destacar, na aplicação do modelo de JENSEN à cultura do girassol, é o pressuposto de que o estresse, em determinado subperíodo,

estende seus efeitos a outros subperíodos do ciclo da cultura. Isto ficou claro em dois momentos: o primeiro relacionou-se com o modelo completo, quando os coeficientes de determinação, no ajuste dos modelos, foram sempre superiores às formulações reduzidas, apesar da grande contribuição do consumo relativo de água no subperíodo reprodutivo (X3), fazendo com que a formulação reduzida fosse superior ao modelo completo na validação, como demonstrado na Figura 5; o segundo fundamentou-se no comportamento das cultivares precoces que estenderam sua dependência para mais de um subperíodo.

CONCLUSÕES

1. O modelo multiplicativo mostra-se válido para o girassol, apresentando elevada associação entre o rendimento relativo observado e predito pelas diferentes formulações. Na forma reduzida (consumo relativo de água somente no subperíodo crítico) apresenta desempenho promissor constituindo-se numa possibilidade prática para a previsão de rendimentos.

2. O rendimento de grãos de girassol pode ser predito, no Rio Grande do Sul, através do modelo multiplicativo, no qual o Y_m é o rendimento máximo estimado em função da radiação e temperatura (Y_m').

3. O estresse hídrico, no subperíodo de estabelecimento da cultura, não apresenta influência sobre o rendimento de grãos, desde que não determine redução e desuniformidade na população de plantas.

4. As condições hídricas no subperíodo reprodutivo (R1 a R6) são determinantes do rendimento final do girassol.

5. A formulação reduzida, de apenas um termo, apresenta desempenho superior à completa (4 termos), na predição do rendimento do girassol pelo modelo multiplicativo.

BIBLIOGRAFIA CITADA

BAIER, W. Crop-weather analysis model: review and model development. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v.12, p.937-947, 1973.

BAIER, W. Note on the terminology of crop-weather models. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.20, p. 137-145, 1979.

BARNI, N.A. **Modelos de crescimento, desenvolvimento e rendimento do girassol em função da radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica**. Porto Alegre, 1994. 249p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1994.

BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: II. Produção de fitomassa e rendimento de grãos. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v.1, n.2, p.201-216, 1995.

BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J. Modelo agrometeorológico de predição do rendimento do girassol: I. Relação entre rendimento e índice hídrico. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v.2, n.1, 1996. (no presente número)

BERLATO, M.A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos da soja e o déficit hídrico para o estado do Rio Grande do Sul**. São José dos Campos, 1987. 83p. Tese (Doutorado em Agrometeorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Ministério da Ciência e Tecnologia, 1987.

COELHO, D.T.; DALE, R.F. An energy-crop growth variable and temperature function for predicting corn growth and development: planting to silking. *Agronomy Journal*, Madison, v.72, p.503-510, 1980.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).

EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, Madison, v.6, p. 36-40, 1966.

FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, Melbourne, v.14, p.742-754, 1963.

JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKI, T.T., (Ed.). **Water deficits and plant growth**. New York: Academic, 1968. v.2, p.48.

LIN, C.S.; BINNS, M.R.; LEFKOVITCH, L.P. Stability analysis: where do we stand? *Crop Science*, Madison, v.26, p.894-900, 1986.

MATZENAUER, R. **Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho em função da disponibilidade hídrica no estado do Rio Grande do sul**. Porto Alegre, 1994. 172p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1994.

PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Wageningen, v.4, p.9-29, 1956.

SANGOI, L. **Efeitos de épocas de semeadura em duas cultivares de girassol sob condições naturais de precipitação hídrica**. Porto Alegre, 1985. 186p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1985.

SCHLOTZHAUER, S.D.; LITTELL, R.C. **System for elementary statistical analysis**. Cary: SAS Institute, 1987. 416p.

THOMPSON, L.M. Weather and technology in the prediction of corn in the Corn Belt. *Agronomy Journal*, Madison, v.61, p.453-456, 1969.

THORNLEY, J.H.M. **Mathematical models in plant physiology: a quantitative approach to problems in plant and crop physiology**. London: Academic, 1976. 318p.

VERNETTI, F. de J.; GASTAL, M.F. da C.; ZONTA, E.P. Estabilidade fenotípica de cultivares de soja no sudeste do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.25, n.11, p.1593-1602, 1990.

WITTEWER, S.H. The shape of things to come. In: **THE BIOLOGY of crop productivity**. London: Academic, 1980. p.413-453.

INTERAÇÕES PATÓGENO/HOSPEDEIRO E O POTENCIAL DAS TÉCNICAS DE SELEÇÃO *IN VITRO* NA OBTENÇÃO DE PLANTAS RESISTENTES A MOLÉSTIAS

ROSA LÍA BARBIERI¹, CRISTINE LUISE HANDEL²

RESUMO- Os patógenos estabelecem com as plantas complexos padrões de interações, os quais podem ser compatíveis ou não. Considerando as diferentes plantas que suprem as necessidades alimentares humanas diariamente, e as moléstias causadas por vírus, bactérias, fungos e nematóides que podem atacá-las, é possível perceber que o número de combinações patógeno/hospedeiro que pode ocorrer é muito grande. Além disso, a troca de alimento entre regiões (introduções) e a monocultura intensiva auxiliaram na disseminação e evolução destas combinações. Com o avanço das técnicas de cultura de tecidos, que permitem controle ambiental e análise de grande quantidade de material genético em pequeno espaço, existe maior facilidade na análise das interações patógeno/hospedeiro, auxiliando programas de melhoramento genético no desenvolvimento de cultivares resistentes a moléstias.

Palavras-chave: fitotoxina, cultura de tecido, resistência a estresses bióticos.

HOST/PATHOGEN INTERACTIONS AND POTENTIAL OF *IN VITRO* SELECTION TECHNIQUES TO OBTAIN DISEASE RESISTANT PLANTS

ABSTRACT- Pathogens establish complex interactions patterns with plants, which can be compatible or not. Considering the different plants which daily supply human needs, and all diseases caused by viruses, bacteria, fungi and nematodes which can cause damage to these plants, the number of host/pathogen combinations is immense. Besides that, the exchange of plants between different regions and the intensive system of agriculture helped the dissemination and evolution of these combinations. Tissue culture techniques, which provide a efficient control of the environment conditions, and turn possible to analyze a wide number of genetic material in restrict space, can help the study of host/pathogen interactions, and breeding programs on the development of disease-resistant plants.

Key words: fitotoxins, tissue culture, biotic stresses resistance.

INTRODUÇÃO

Para tornar mais ágil e eficiente a obtenção de cultivares resistentes a moléstias, em programas de melhoramento a campo, é necessário o conhecimento aprofundado da genética que rege o controle do patógeno. Assim, o melhorista tem condições de manipular constituições genéticas que evidenciem um acentuado controle sobre o desenvolvimento do patógeno. Há casos em que a análise da interação patógeno/hospedeiro é dificultada pela presença de múltiplas variáveis, entre as quais se inclui o ambiente, o patógeno e a própria planta. O uso de técnicas de seleção *in vitro* facilita e agiliza bastante tanto o conhecimento da constituição genética como a seleção de genótipos de plantas resistentes, visto que possibilita um acentuado controle sobre o ambiente e sobre a variabilidade do patógeno.

DESENVOLVIMENTO

1. Interação patógeno/hospedeiro

Segundo o *Committee on Technical Words* (1940) e a *Federation of British Plant Pathologists* (1973), citados por ALEXANDER (1993), o termo resistência pode ser conceituado como "a habilidade que um organismo possui de se defender ou se opor à ação de um fator prejudicial ou patogênico". Esta ampla definição inclui tanto o efeito da planta no atraso do desenvolvimento do patógeno, como a capacidade que a planta tem de funcionar normalmente apesar de altos níveis de moléstia.

De modo geral as populações naturais de plantas são polimórficas para resistência à ação dos diversos patógenos. A efetividade desta resistência é limitada porque os patógenos, por sua vez, também são

1. Biol., M.Sc. - Estudante do Curso de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular, UFRGS, Faculdade de Agronomia, Departamento de Plantas de Lavoura, Caixa Postal 776, 90001-970 Porto Alegre-RS/BRASIL.
2. Eng. Agr., M.Sc. em Fitotecnia - Bolsista Recém Mestre da FAPERGS.
Recebido para publicação em 29/08/1995.

polimórficos para a virulência, e podem escapar da resistência da planta. Estes polimorfismos parecem ser mantidos por contínuos ciclos de coevolução dentro das populações, combinado com ocasional fluxo de novos genes de resistência e de virulência vindos de populações distantes (FRANK, 1992). Antes da intervenção do homem, as associações parasíticas fungo/planta estavam confinadas a comunidades restritas. Mediadas inadvertidamente pela ação do homem desde tempos pré-históricos, através da agricultura, exploração e introdução de plantas, estas associações mostraram ser capazes de rápida disseminação através dos continentes, com subsequente evolução de comunidades patogênicas (DICK, 1988).

As interações entre as plantas e os patógenos podem ser agrupadas em compatíveis, quando o hospedeiro é suscetível e o patógeno é virulento, ou incompatíveis, quando o hospedeiro é resistente e o patógeno é avirulento (LINDSAY et al., 1993). Apesar de, normalmente, as plantas serem resistentes à maioria dos patógenos, por possuírem um amplo arranjo de componentes constitutivos de defesa e/ou bloquearem fisicamente a entrada de microrganismos, muitas plantas cultivadas são suscetíveis a um determinado número de patógenos capazes de causar enormes perdas na produtividade. Além da constante coevolução patógeno/hospedeiro, particularmente em face da pressão de seleção exercida pela monocultura, existe também a possibilidade de que interações incompatíveis planta/patógeno evoluam para interações compatíveis (CHASAN, 1994). Há exemplos clássicos de devastações em culturas provocadas por patógenos, principalmente por fungos. Um deles é o caso da epidemia que dizimou as plantações de batata na Europa, no século XIX, pelo fungo *Phytophthora infestans*, causando ampla carestia e precipitando ondas de emigração na Irlanda e outros países. Para plantas de reprodução vegetativa, o patógeno passa diretamente de uma geração para outra, causando perda gradual de rendimento e/ou qualidade. Isto pode fazer com que variedades altamente produtivas de batata, ou outras plantas de reprodução vegetativa deixem de ser utilizadas. Atualmente as moléstias causadas por fungos permanecem como um dos principais fatores limitantes para a produtividade das culturas através do mundo (LAMB et al., 1992).

A análise genética das interações incompatíveis patógeno/hospedeiro revelou que elas podem ser colocadas em duas categorias distintas, baseado em suas propriedades genéticas (BRIGGS e JOHAL, 1994). Uma das categorias é a relação gene-a-gene, descrita por FLOR (1946), onde a incompatibilidade acontece quando uma planta possui um gene dominante de resistência que corresponde a um gene de avirulência (*avr*) em um determinado patógeno. A resposta de defesa, que

previne a infecção, se dá a partir do momento em que a planta "reconhece" um particular produto do patógeno controlado pelo gene *avr*. Estes produtos do gene *avr* implicados na percepção do ataque pela planta abrangem um grupo de moléculas coletivamente chamadas de *elicitors*. Após terem detectado a presença do patógeno, as plantas respondem ao ataque através da indução de proteínas de defesa. Estas proteínas inibem o desenvolvimento do patógeno através de alguns mecanismos, como a digestão das paredes celulares do fungo, a fortificação das paredes celulares da planta e/ou a biossíntese de compostos antimicrobianos, as fitoalexinas. Frequentemente a primeira reação de defesa é a resposta hipersensível, que envolve uma necrose localizada devido à morte rápida de poucas células ao redor do local da penetração, as quais liberam compostos antimicrobianos (LINDSAY et al., 1993). Para um patógeno vencer esta resistência, deve perder a função do gene *avr* (CHASAN, 1994). Na segunda categoria de interação incompatível, a planta é capaz de prevenir a atividade dos fatores de compatibilidade, produzidos pelo patógeno, que são necessários para que ele invada o hospedeiro, tais como as toxinas. Neste caso, uma perda da função do gene não poderia tornar o patógeno infeccioso; somente o ganho de um novo fator de compatibilidade poderia fazê-lo (BRIGGS e JOHAL, 1994). O primeiro gene de resistência que foi clonado em plantas, o *Hm1* do milho, participa de uma interação deste tipo (JOHAL e BRIGGS, 1992). O produto deste gene é uma redutase que inativa a toxina HC, um tetrapeptídeo cíclico produzido por raças do fungo *Cochliobolus carbonum* (forma perfeita de *Helminthosporium carbonum*), patogênico no milho que porta o gene *Hm1*, e que é necessária para o sucesso da infecção (CHASAN, 1994).

Fitotoxinas, representando diversas classes de compostos químicos, têm sido isoladas de bactérias e fungos fitopatogênicos, sendo suas estruturas bem caracterizadas (STROBEL, 1974). Muitos fungos necrotróficos secretam toxinas capazes de rápida difusão através dos tecidos do hospedeiro, ativando muitas das respostas de defesa da planta. Tais fitotoxinas podem ser consideradas como *hyperelicitors*, provocando as respostas de resistência no avanço do fungo. Além disso, a ligação de fitotoxinas e *elicitors* às células da planta parece acontecer de forma semelhante (BELL, 1981). Por exemplo, *Helminthosporium sacchari* produz a toxina helminthosporoside, que, parcialmente purificada, se liga mais rapidamente e em maiores quantidades à membrana plasmática de cultivares de cana-de-açúcar suscetíveis do que à membrana de cultivares resistentes. A ligação é intermediária em cultivares com níveis médios de resistência (STROBEL, 1979).

2. Técnicas de seleção *in vitro* aplicadas à interação patógeno/hospedeiro

A cultura de tecidos é uma alternativa que vem sendo muito utilizada no estudo das interações patógeno/hospedeiro e no desenvolvimento de cultivares resistentes a moléstias, bem como em outros trabalhos na área de melhoramento de plantas (produção de plantas haplóides, variedades resistentes a estresses abióticos, plantas transgênicas, plantas livres de vírus por cultivo de meristemas). Uma grande vantagem que esta técnica oferece é a possibilidade de se controlar os efeitos da variável ambiente, visto que em estudos a campo a precisão geralmente é reduzida pela variação entre locais e por flutuações climáticas de ano a ano. Além disto, culturas *in vitro* permitem a utilização de um grande número de genótipos ao longo do ano, e em um espaço relativamente pequeno (WOLF e EARLE, 1990).

Trabalhos envolvendo resistência a moléstias *in vitro* incluem o uso de calos e protoplastos, sendo utilizados diversos tipos de agentes seletivos: toxinas produzidas pelo patógeno, total ou parcialmente purificadas, filtrados de culturas do organismo, e até mesmo o próprio patógeno. As toxinas têm sido bastante utilizadas devido à sua simplicidade - uma simples molécula ao invés de um organismo - e pela possibilidade de conseguir expor todas as células a uma dosagem uniforme, o que é praticamente impossível quando o patógeno é usado como agente seletivo (DAUB, 1984).

A correlação entre a resistência a um patógeno e a resistência à sua toxina é um pré-requisito fundamental para o uso de fitotoxinas (BEHNKE, 1980). A associação da fitotoxina com o processo da moléstia tem sido feito, em vários casos, por isolamento da toxina do tecido infectado, e correlação entre a patogenicidade do organismo e a sua produção de toxina (STROBEL, 1974). LUKE e WHEELER (1955) foram os primeiros a usar fitotoxinas em estudos de resistência, selecionando aveia através do uso da toxina de *Helminthosporium victoriae*. A seleção com esta toxina, denominada victorina, demonstrou que a resistência ao patógeno pode ser selecionada em culturas de tecido de aveia (RINES e LUKE, 1985; HANDEL, 1996).

Diversos trabalhos envolvendo seleção *in vitro* para resistência a moléstias vêm sendo desenvolvidos desde a década de 70. Plantas de alfafa regeneradas a partir de cultura de tecidos foram avaliadas para resistência a filtrados tóxicos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *medicaginis* e para resistência ao próprio patógeno, havendo uma alta correlação entre elas (ARCIONI et al., 1987). Plantas de trigo e de cevada regeneradas de calos que sobreviveram ao tratamento com filtrados tóxicos de *Helminthosporium sativum* submetidas a testes *in vivo* com o patógeno apresentaram também uma menor sensibilidade à presença do organismo

(CHAWLA e WENZEL, 1987). O uso de filtrados de *H. sativum* em calos jovens de trigo é uma metodologia adequada para identificar e selecionar genótipos resistentes à moléstia causada pelo fungo, através da avaliação do crescimento dos calos, que permite com precisão distinguir os genótipos em relação à sua reação ao patógeno (CRISTALDO, 1993; BARBIERI, 1995).

Foi obtido sucesso para resistência a moléstias em trabalhos que utilizaram filtrados tóxicos de *Phytophthora infestans* em calos de batata (BEHNKE, 1979; BEHNKE, 1980) e filtrados de *Xanthomonas campestris* pv. *pruni* em calos de pêssego (HAMMERSCHLAG, 1988).

Também foi realizada seleção com a toxina de *Drechslera maydis* em calos de milho (BRETTEL et al., 1980), as toxinas de *Pseudomonas syringae* e *Alternaria alternata* em protoplastos de fumo (THANUTONG et al., 1983), a toxina de *Fusarium oxysporum* em calos e protoplastos de tomate (SHAHIN e SPIVEY, 1986), a toxina de *Phoma lingam* em colza (SJODIN e GLIMELIUS, 1989) e a toxina de *H. carbonum* em milho (WOLF e EARLE, 1990).

Utilizando o patógeno *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* em culturas de calos de fumo, DEATON et al. (1982) concluíram que a expressão da moléstia *in vitro* parece estar amplamente correlacionada com sua expressão ao nível global da planta.

Filtrados tóxicos de *Fusarium eumartii* aplicados a plantas adultas e plântulas de batata cultivadas *in vitro* induziram sintomas similares àqueles provocados pelo fungo em si (BOTTA et al., 1994). MENDES et al. (1994) utilizaram filtrados tóxicos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* em calos derivados de ápices meristemáticos de bananeira com o objetivo de avaliar a resposta da planta ao fungo. Os autores salientam a possibilidade da utilização de técnicas semelhantes para determinar a patogenicidade de isolados, a resposta bioquímica do hospedeiro às substâncias tóxicas produzidas pelo patógeno, além de selecionar para resistência a moléstias.

CONCLUSÕES

As fitotoxinas, especialmente as que são específicas a determinados hospedeiros, têm provado ser muito úteis na análise das interações patógeno/hospedeiro. As toxinas também parecem ter utilidade em alguns estudos das atividades de plantas sadias, sem mencionar sua grande importância em programas de melhoramento, na realização de *screening* de plantas a serem selecionadas.

As técnicas de seleção *in vitro* apresentam a grande vantagem de possibilitar um controle das variáveis de ambiente, principalmente evitando que outros microrganismos entrem em contato com as plantas tes-

tadas, o que poderia mascarar o efeito do patógeno em questão. Além de proporcionar uma forma eficiente de selecionar genótipos resistentes, o uso de técnicas de seleção *in vitro* é bastante adequado para a realização de análises da interação patógeno/hospedeiro.

Para explorar o potencial atual da técnica e possibilitar sua futura ampliação, é necessário conhecer profundamente o processo de formação de calos da espécie em questão, e a produção de metabólitos pelo patógeno que possam ser utilizados como fator de seleção. Em espécies como o trigo, onde há formação de calos bastante homogêneos e embriogênicos, esta técnica é bastante eficiente, enquanto que em culturas como a aveia, com formação de calos desuniformes, surgem várias limitações na análise dos resultados. É essencial também que a reação apresentada pelo hospedeiro a este metabólito *in vitro* tenha correlação com a reação à moléstia causada pelo patógeno *in vivo*.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ALEXANDER, H.M. Evolution of disease resistance in natural plant populations. In: FRITZ, R.S.; SIMMS, E.L. **Plant resistance to herbivores and pathogens**. Chicago: University of Chicago, 1993. p. 326-344.
- ARCIONI, S.; PEZZOTTI, M.; DAMIANI, F. In vitro selection of alfalfa plants resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *medicaginis*. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 74, p. 700-705, 1987.
- BARBIERI, R.L. **Genética da resistência ao *Helminthosporium sativum* em trigo: uso de filtrados tóxicos em cultura de tecidos**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 47p. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular) - Departamento de Plantas de Lavoura e Departamento de Genética, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1995.
- BEHNKE, M. Selection of potato callus for resistance to culture filtrates of *Pyrenophora infestans* and regeneration of resistant plants. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 35, p. 69-71, 1979.
- BEHNKE, M. General resistance to late blight of *Solanum tuberosum* plants regenerated from callus resistant to culture filtrates of *Pyrenophora infestans*. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 56, p. 151-152, 1980.
- BELL, A.A. Biochemical mechanisms of disease resistance. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 32, p. 21-81, 1981.
- BOTTA, G.L.; DIMARCO, M.P.; MELEGARI, A.L.; HUARTE, M.A.; BARASSI, C.A. Potencial of a *Fusarium eumartii* culture filtrate on the screening for wilting resistance in potato. **Euphytica**, Wageningen, v. 80, p. 63-69, 1994.
- BRETTEL, R.I. S.; THOMAS, E.; INGRAM, D.S. Reversion of male-sterile cytoplasm maize in culture to give fertile, T-toxin resistant plants. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 58, p. 55-58, 1980.
- BRIGGS, S.P.; JOHAL, G.S. Genetic patterns of plant host-parasite interactions. **Trends in Genetics**, Amsterdam, v. 10, p. 12-16, 1994.
- CHASAN, R. Plant-pathogen encounters Edinburgh: meeting report. **The Plant Cell**, Rockville, v. 6, p. 1332-1341, 1994.
- CHAWLA, H.S.; WENZEL, G. In vitro selection of barley and wheat for resistance against *Helminthosporium sativum*. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 74, p. 841-845, 1987.
- CRISTALDO, R.M.L.O. **Uso de filtrados tóxicos para avaliar a resistência ao fungo *Helminthosporium sativum* em trigos hexaplóides *in vitro***. Porto Alegre: UFRGS, 1993. 129p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Departamento de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1993.
- DAUB, M.E. A cell culture approach for the development of disease resistance: studies on the phytotoxin cercosporium. **Hortscience**, St. Joseph, v. 19, p. 382-387, 1984.
- DE MAYO, P.; WILLIAMS, R.E.; SEMAL, J. Helminthosporal, the toxin from *Helminthosporium sativum*. 1: isolation and characterization. **Canadian Journal of Chemistry**, Ottawa, v. 39, p. 1600-1612, 1961.
- DEATON, W.R.; KEYES, G.J.; COLLINS, G.S. Expressed resistance to black shank among tobacco callus cultures. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 63, p. 65-70, 1982.
- DICK, M.W. Coevolution in the heterokont fungi (with emphasis on the downy mildews and their angiosperm hosts). In: PIROZYNSKI, K.A.; HAWKSWORTH, D.L. **Coevolution of fungi with plants and animals**. London: Academic, 1988. p. 31-62.
- FLOR, H. Genetics of pathogenicity in *Melampsora lini*. **Journal of Agricultural Research**, Washington D.C., v. 73, p. 335-357, 1946.
- FRANK, S.A. Models of plant-pathogen coevolution. **Trends in Genetics**, Cambridge, v. 8, p. 213-219, 1992.
- HAMMERSCHLAG, F.A. Selection of peach cells for insensitivity to culture filtrates of *Xanthomonas campestris* pv. *pruni* and regeneration of resistant plants. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 76, p. 865-869, 1988.
- HANDEL, C.L. **Avaliação *in vitro* da resistência à helmintosporiose em aveia através do uso de filtrados tóxicos do fungo e do inseticida Methomyl**. Porto Alegre: UFRGS, 1996. 69 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Departamento de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1996.
- JOHAL, G.S.; BRIGGS, S.P. Reductase activity encoded by the *Hml* disease resistance gene in maize. **Science**, Massachusetts, v. 258, p. 985-987, 1992.
- LAMB, C.J.; RYALS, J.A.; WARD, E.R.; DIXON, A. Emerging strategies for enhancing crop resistance to microbial pathogens. **Bio/Technology**, New York, v. 10, p. 1446-1445, 1992.
- LINDSAY, W.P.; LAMB, C.J.; DIXON, R.A. Microbial recognition and activation of defense systems. **Trends in Microbiology**, Cambridge, v. 1, p. 181-186, 1993.
- LUKE, H.H.; WHEELER, H.E. Toxin production by *Helminthosporium victoriae*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 45, p. 453-458, 1955.
- MENDES, B.M.J.; RODRIGUES, B.I.P.; TULLMAN NETO, A. Effect of toxic filtrate of *Fusarium oxysporum* f. sp.

- cubense* on the development of banana (*Musa* spp.) shoot tips. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 194-198, 1994.
- RINES, H.W.; LUKE, H.H. Selection and regeneration of toxin-insensitive plants from tissue cultures of oats (*Avena sativa*) susceptible to *Helminthosporium victoriae*. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 71, p. 16-21, 1985.
- SHAHIN, E.A.; SPIVEY, R. A single dominant gene for *Fusarium* wilt resistance in protoplast-derived tomato plants. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 73, p. 164-169, 1986.
- SJODIN, C.; GLIMELIUS, K. Transfer of resistance against *Phoma lingam* to *Brassica napus* by asymmetric somatic hybridization combined with toxin selection. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 78, p. 513-520, 1989.
- STOESSL, A. Structure and biogenetic relations: fungal nonhost-specific. In: DURBIN, R.D. **Toxins in plant disease**. New York: Academic Press, 1981. p. 110-219.
- STROBEL, G.A. Phytotoxins produced by plants parasites. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.25, p. 541-566, 1974.
- STROBEL, G.A. The relationship between membrane ATPase activity in sugarcane and heat-induced resistance to helminthosporoside. **Biochemical and Biophysical Acta**, Amsterdam, v. 554, p. 460-468, 1979.
- THANUTONG, P.; FURUSAWA, I.; YAMAMOTO, M. Resistant tobacco plants from protoplasts-derived calluses selected for their resistance to *Pseudomonas* and *Alternaria* toxins. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 66, p. 209-215, 1983.
- WOLF, S.J.; EARLE, E.D. Inhibition of corn callus growth by *Helminthosporium carbonum* race 1 toxin. **Crop Science**, Madison, v. 30, p. 728-734, 1990.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos Professores Fernando Irajá Félix de Carvalho e Luiz Carlos Federizzi pela orientação e estímulo constantes.

RELAÇÃO ENTRE EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL (ENOS), PRECIPITAÇÃO E RENDIMENTO DE MILHO NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

DENISE CYBIS FONTANA¹, MOACIR ANTONIO BERLATO²

RESUMO - O Rio Grande do Sul é o Estado maior produtor de grãos do País, responsável por 25% da produção nacional. Em média, o Estado tem 3 de cada 10 safras prejudicadas por fenômenos meteorológicos adversos, especialmente secas e enchentes. Estudos anteriores demonstraram a relação entre a variabilidade da chuva no sul da América do Sul e o fenômeno ENOS. O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência do fenômeno ENOS sobre a precipitação e sobre o rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. Foram analisadas as relações entre a precipitação, o rendimento de milho, o Índice de Oscilação Sul (IOS) e a Temperatura da Superfície do Oceano Pacífico (TSM). Concluiu-se que a variabilidade da precipitação no Rio Grande do Sul está relacionada ao fenômeno ENOS e que essa variabilidade tem influência sobre a variabilidade do rendimento do milho no Estado. Essas informações podem ser incorporadas em modelos de simulação do rendimento para efeito de identificação de estratégias de minimização dos impactos da variabilidade climática na produção dessa cultura.

Palavras-chave: El Niño Oscilação Sul, precipitação, rendimento, milho

RELATIONSHIP BETWEEN EL NIÑO SOUTHERN OSCILATION (ENSO), PRECIPITATION AND MAIZE YIELD IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT - The State of Rio Grande do Sul is the main grain producer in Brazil, responsible for 25% of national grain production. On average, the State has had losses in 3 of every 10 harvest, especially due to droughts and floods. Previous studies have shown a good relationship between the variability of rainfall and ENSO. The objective of this study is to evaluate the influence of ENSO over rainfall and maize yield in the State of Rio Grande do Sul. We analysed the relationship between rainfall, maize yield, Southern Oscillation Index (IOS) and Sea Surface Temperature (SST) from Pacific Ocean. The results showed that the variability of rainfall in the State of Rio Grande do Sul is associated with ENSO phenomena, and this variability has influence over the variability of maize yields in the State. These information can be incorporated in yield simulation models in order to identify strategies to mitigate the impacts of the climate variability over maize production.

Key words: El Niño Southern Oscillation, rainfall, maize, yields

INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul é o Estado maior produtor de grãos do País, responsável por cerca de 25 % da produção nacional. As culturas de maior expressão são a soja, o milho, o arroz e o trigo, cujas produções, na safra 1993/94, foram de 5,4, 4,8, 4,2 e 0,9 milhões de toneladas, respectivamente (IBGE, 1994).

Estatísticas mostram que o Rio Grande do Sul tem, em média, 3 de cada 10 safras prejudicadas por fenômenos meteorológicos adversos, especialmente secas e enchentes. BERLATO (1992) mostrou que a variabilidade interanual das condições hídricas do solo, determinada pela variação da chuva, é o fator com maior peso individual na variabilidade dos rendimentos para as culturas de primavera-verão no Rio Grande do Sul.

Nos últimos anos tem-se associado as variações interanuais do tempo e clima, em diversas regiões do globo, ao fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). Este fenômeno está ligado a mudanças oceânicas e atmosféricas que ocorrem na região equatorial do Oceano Pacífico Tropical.

A componente oceânica do fenômeno é caracterizada pelo aparecimento de água quente proveniente do Oceano Pacífico equatorial oeste na região central e/ou leste desse Oceano, juntamente com a cessação da ressurgência de água fria ao longo do lado leste no equador. O termo El Niño (EN) originalmente era usado pelos pescadores para caracterizar uma corrente relativamente quente com fluxo para o sul ao longo das costas do Perú e Equador que aparecia em datas próximas ao Natal, data de nascimento de Jesus Cristo, daí o termo El Niño, do espanhol menino. Depois o termo foi associado ao aquecimento anormal que ocorre, ocasionalmente, em grandes áreas do Oceano Pacífico equatorial e que resulta em impactos ambientais locais e regionais catastróficos (TRENBERTH, 1991).

A componente atmosférica é representada, basicamente, por uma espécie de gangorra na massa atmosférica, envolvendo a troca de ar entre os hemisférios leste e oeste, com centros de ação localizados sobre a Indonésia e sobre o sul do Oceano Pacífico, fenômeno denominado Oscilação Sul (OS). A natureza física dessa oscilação é representada pela variação inversa da pres-

1. Eng. Agr., Dr.^a - Faculdade de Agronomia da UFRGS, Caixa Postal 776, 90001-970 Porto Alegre-RS/BRASIL. Bolsista do CNPq.

2. Eng. Agr., Dr. - Faculdade de Agronomia da UFRGS. Bolsista do CNPq.
Recebido para publicação em 25/09/1995.

são atmosférica na região de Darwin (12,4 °S; 130,9 °E), no norte da Austrália, e Taiti (17,5 °S; 49,6 °W) no Oceano Pacífico (GLANTZ, 1991; TRENBERTH, 1991).

Os estudos sobre o fenômeno ENOS identificaram a ocorrência dos denominados eventos “quentes” e eventos “frios”, associados às anomalias da temperatura da superfície do mar em algumas regiões do Pacífico (NIÑO 1, NIÑO 2, NIÑO 3 e NIÑO 4). Frequentemente, estes eventos são identificados através do monitoramento do Índice de Oscilação Sul (IOS), definido pela diferença normalizada entre a pressão atmosférica em Darwin e Taiti. Os eventos quentes estão associados a valores negativos altos do IOS (fase negativa), enquanto que os valores positivos altos indicam a ocorrência dos eventos frios (fase positiva).

Em estudos anteriores, tem sido demonstrada a relação entre o fenômeno ENOS e a variabilidade da chuva no sul da América do Sul (RAO e HADA, 1990; CHU, 1991; ROPELEWISKI e HALPERT, 1995; STUDZINSKI, 1995). Nesta região do Globo o evento quente determina anomalias positivas de precipitação, enquanto que o evento frio está associado à ocorrência de precipitação abaixo da normal.

A enchente de 1982/83, associada ao evento ENOS mais forte do século, determinou perdas de cerca de 4,8 milhões de toneladas de grãos na Região Sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), com um valor aproximado de US\$ 300 milhões (BERLATO, 1992; GASQUEZ e MAGALHÃES, 1987). Também os episódios frios, com anomalias negativas de precipitação, têm causado grandes quebras de safras nessa região.

O bom entendimento da relação entre o fenômeno ENOS, anomalias climáticas regionais e produção agrícola, pode auxiliar no processo de tomada de decisão, no sentido de minimizar os impactos da variabilidade climática, especialmente na produção de grãos da região.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do fenômeno ENOS sobre a precipitação e sobre o rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia de análise desse trabalho foi estabelecida durante o curso de treinamento sobre “Aplicações da previsão climática de curto prazo na agricultura”, realizado pelo primeiro autor, junto ao IRICP (“International Research Institute for Climate Prediction”), no período de março a junho de 1995, em Palisades, USA.

Foram coletados dados de rendimento médio da cultura do milho, do período de 1973 a 1989 para as 24

microrregiões homogêneas do Estado (IBGE, 1974 a 1991). Utilizando esses dados, foi procedida uma análise da tendência temporal do rendimento de milho no Estado com o objetivo de retirar o efeito da introdução de novas tecnologias no sistema de produção da cultura, possibilitando, assim, o estudo da influência das condições meteorológicas sobre o rendimento. Para tanto foi assumida uma tendência linear de aumento no rendimento com o tempo, sendo a mesma retirada utilizando a equação de regressão linear entre essas duas variáveis.

A identificação das microrregiões que determinam a produção de milho do Estado foi feita através da técnica de regressão linear entre o rendimento médio de cada microrregião e o rendimento médio do Estado, após a retirada da tendência tecnológica de ambas.

Foram tomados dados de precipitação pluvial mensal de estações meteorológicas, pertencentes à rede de estações meteorológicas do Oitavo Distrito de Meteorologia, do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), para o período 1915 a 1990.

Foram considerados dois índices relacionados ao fenômeno ENOS:

Índice de Oscilação Sul (IOS): este índice é calculado utilizando as anomalias normalizadas das pressões atmosféricas na superfície do mar em Darwin, Austrália, e em Taiti. O fenômeno ENOS é caracterizado sempre que ocorre 5 meses consecutivos com valores de IOS superiores a 10,51.

Temperatura média mensal da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico, na região denominada NIÑO 3, retângulo compreendido entre as longitudes 150° W e 90° W e as latitudes 5° N e 5° S.

Os indicadores do fenômeno ENOS (IOS e TSM), a precipitação e o rendimento do milho no estado do Rio Grande do Sul foram expressos em termos de anomalias normalizadas pelo desvio padrão da média dessas variáveis e, após analisadas as relações entre as mesmas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Região de produção de milho no Estado do Rio Grande do Sul

O milho no Rio Grande do Sul é cultivado em todas as microrregiões, caracterizando-se como a cultura mais disseminada no Estado. Entretanto, os coeficientes de correlação entre o rendimento de cada microrregião e o rendimento médio do Estado, mostram que a metade norte do Estado apresenta maior associação com o rendimento médio estadual (Figura 1). Esta região é, também, responsável por 72 % do total de produção de milho no Rio Grande do Sul.

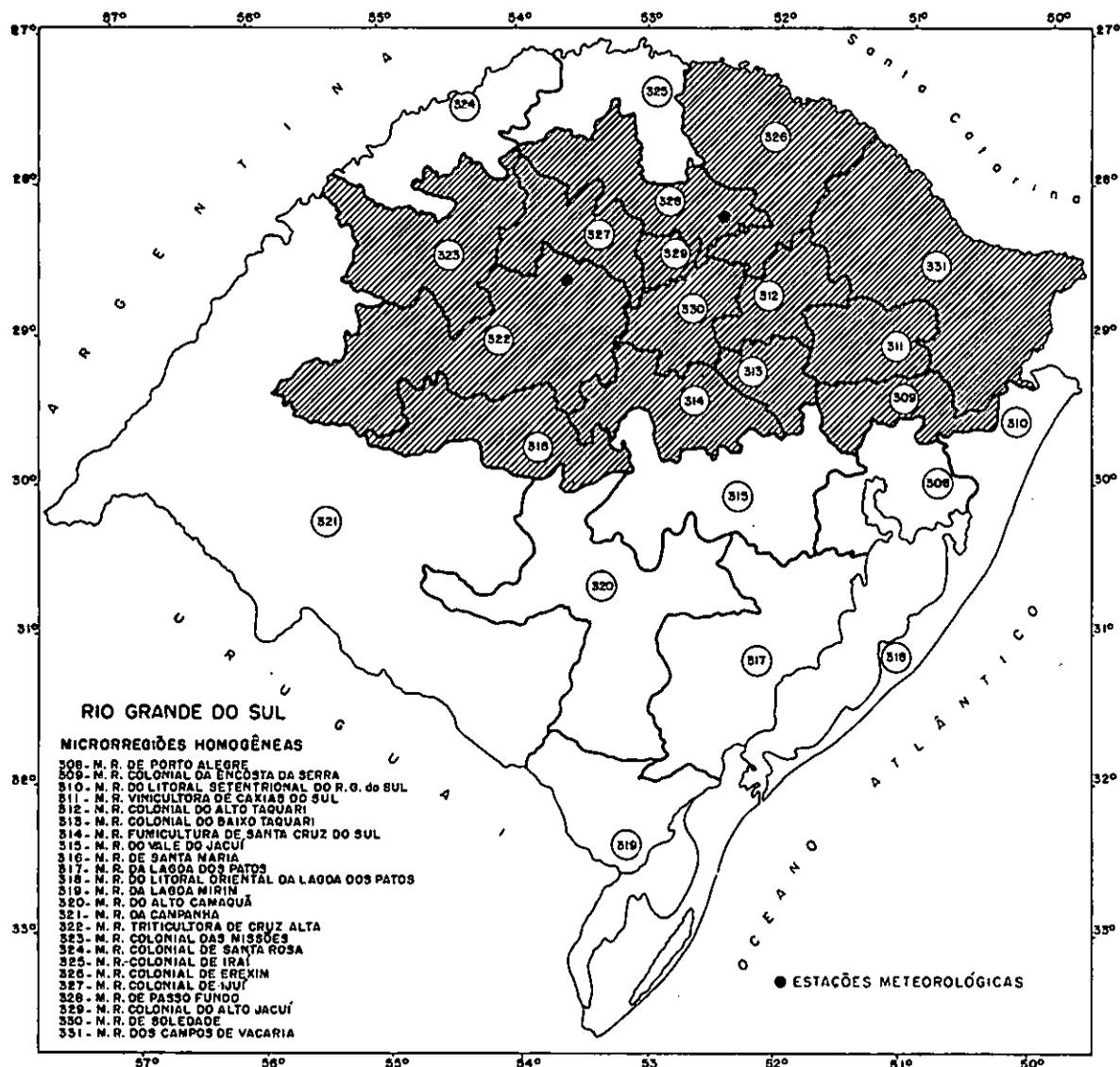


FIGURA 1 – Microrregiões homogêneas do Estado do Rio Grande do Sul (a área achureada representa as microrregiões cujo rendimento de milho apresenta coeficiente de correlação com o rendimento médio do Estado superior a 0,80)

Na Figura 2 é mostrado o padrão de distribuição da precipitação nas estações meteorológicas de Passo Fundo e Cruz Alta, situadas na região identificada como aquela mais associada à produção de milho do Estado. As duas localidades apresentam desvios da média de precipitação positivos nos meses de setembro e outubro e desvios negativos nos meses de novembro, dezembro, janeiro (Cruz Alta), fevereiro, março e abril. Os meses com desvios negativos de precipitação coinci-

dem com os meses mais críticos do calendário agrícola no Rio Grande do Sul. É nesta época que as principais culturas de primavera-verão estão no período de máximo crescimento vegetativo e reprodução, com o máximo consumo de água e máxima sensibilidade ao déficit hídrico. Segundo ÁVILA (1994), a probabilidade da precipitação pluvial superar a evapotranspiração potencial nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, em praticamente todo o Estado, é inferior 60%. A baixa pro-

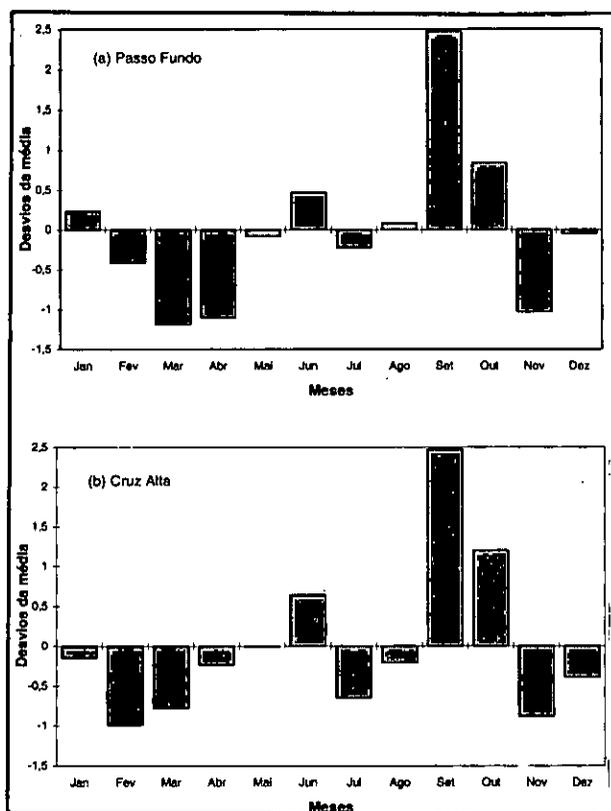


FIGURA 2 – Desvios da média mensal de precipitação (período 1915-89) normalizados pelo desvio padrão para (a) Passo Fundo e (b) Cruz Alta

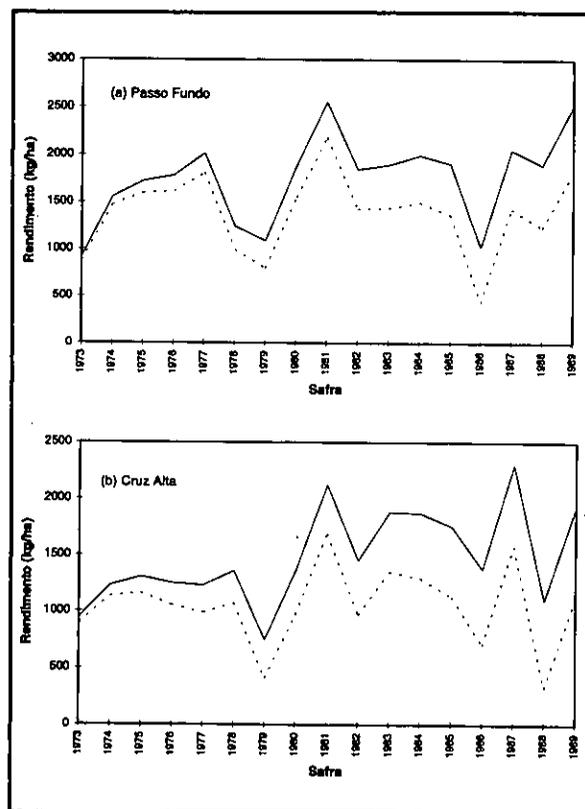


FIGURA 3 – Rendimento de milho original (linha contínua) e o rendimento após a transformação de retirada da tendência tecnológica (linha pontilhada) nas microrregiões de (a) Passo Fundo e (b) Triticuladora de Cruz Alta

babilidade da precipitação superar a evapotranspiração potencial determina a alta frequência de ocorrência de deficiências hídricas e conseqüentes quebras de safras das culturas produtoras de grãos.

A Figura 3 mostra a curva do rendimento do milho observado e a curva do rendimento após a transformação de retirada da tendência tecnológica para as microrregiões homogêneas de Passo Fundo e Triticuladora de Cruz Alta. Observou-se que a variabilidade interanual nos rendimentos de milho foi alta nestas regiões, o que aponta para o fato de que a agricultura é uma atividade essencialmente influenciada pela variabilidade de elementos meteorológicos, especialmente precipitação.

Relações entre a precipitação e o rendimento de milho

O rendimento de milho nas microrregiões de Passo Fundo e Triticuladora de Cruz Alta apresentou maior correlação com a precipitação no período de outubro a fevereiro (Figura 4). Em Passo Fundo o maior coeficiente

de correlação observado foi de 0,64 em dezembro, enquanto que em Cruz Alta foi de 0,31 em novembro. Os maiores coeficientes observados em Passo Fundo, possivelmente, seja uma indicação de que os dados meteorológicos da estação de Passo Fundo são mais representativos da microrregião de Passo Fundo quando comparados com o caso de Cruz Alta.

Sobre a magnitude dos coeficientes de correlação encontrados deve-se considerar o fato de que neste trabalho foi correlacionada a precipitação medida na estação meteorológica e o rendimento observado em nível de microrregião. Além disso, os dados observados de rendimento de milho para as microrregiões integram variações devidas a diferenças de cultivares, época de semeadura, tratamentos culturais, tipos de solo, entre outros. Em nível experimental os coeficientes, em geral, são maiores. Um exemplo é o trabalho de MATZENAUER (1994) o qual, usando 8 anos de experimentos em 4 locais no Estado do Rio Grande do Sul, encontrou um coeficiente de determinação entre a precipitação ocorrida durante a fase crítica da cultura do milho ao fator

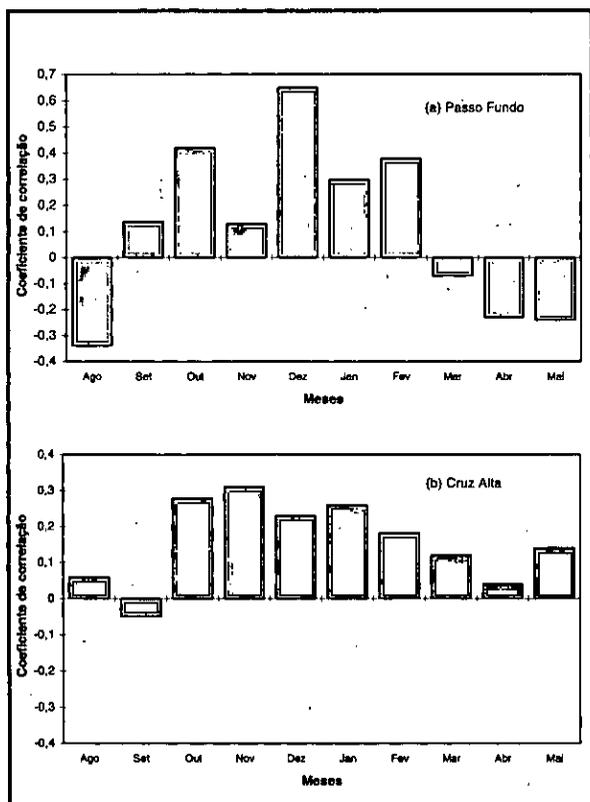


FIGURA 4 – Coeficientes de correlação entre o rendimento de milho e a precipitação para (a) Passo Fundo e (b) Cruz Alta, período 1973-89

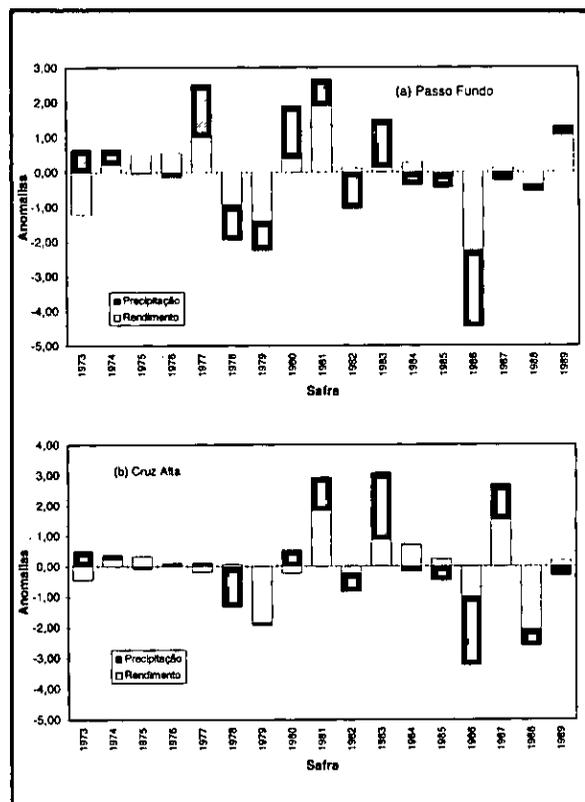


FIGURA 5 – Anomalias da média de precipitação (outubro a fevereiro) e de rendimento de milho para (a) Passo Fundo e (b) Cruz Alta

hídrico (floração até 30 dias após) e o rendimento final, próximo a 0,7.

Na Figura 5 observa-se que, em geral, os anos com anomalias positivas de precipitação, no período de outubro a fevereiro, estiveram associados a anos com anomalias positivas de rendimentos e vice-versa. As anomalias positivas de precipitação coincidiram com anomalias positivas de rendimento e as negativas com as negativas em 65 % dos anos para Passo Fundo e em 53 % para Cruz Alta, sendo melhor a associação nos anos de eventos extremos (anomalias maiores). Esses resultados confirmam pesquisas anteriores, por exemplo BERLATO (1992), que concluíram que a precipitação é a variável meteorológica que exerce maior peso individual na definição do rendimento do milho no Estado.

Relação entre ENOS e precipitação

Na Figura 6 é mostrado o padrão típico de precipitação para três cenários gerados utilizando o índice IOS. As curvas representam a média de 44 anos neutros (59%), 14 anos de eventos quentes (19%) e 17 anos de

eventos frios (23%), ocorridos na série histórica de precipitação de 1915 a 1989. Esse padrão de distribuição mostra que, para ambas localidades, especialmente no final da primavera e início do verão os eventos frios estão associados com precipitação bem abaixo dos anos neutros e muito abaixo dos anos de eventos quentes. Essa mesma tendência é observada no final do outono e início do inverno, embora com menor intensidade.

Para os meses de outubro e novembro, a precipitação e a TSM mostraram associação (Figura 7). Os coeficientes de correlação foram de 0,39 e 0,45 para Passo Fundo e Cruz Alta, respectivamente. Os valores não muito elevados desses coeficientes mostram que o fenômeno ENOS não é o único fator determinante das precipitações no Estado. Ou seja, em geral, anos de ocorrência de eventos quentes estão associados a anomalias positivas de precipitação, mas nem todo o ano com chuvas acima da normal é ano de ocorrência do fenômeno. O mesmo se aplica para os eventos frios. Os baixos coeficientes de correlação obtidos também podem ter relação com o fato de se estar relacionado a TSM de uma

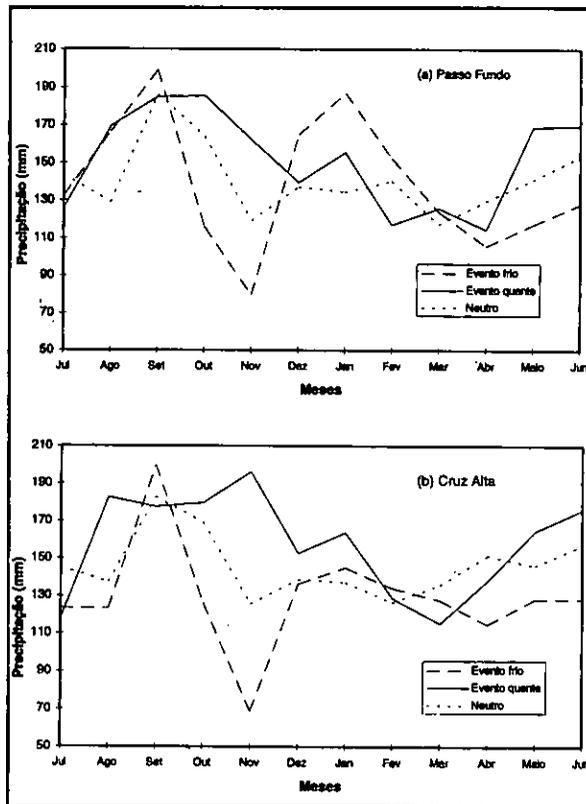


FIGURA 6 – Médias de precipitação em anos de eventos quentes, frios e neutros para (a) Passo Fundo e (b) Cruz Alta (período 1915-89)

área muito extensa do Oceano com a precipitação medida numa estação meteorológica, onde fatores locais podem interferir no total de precipitação.

Os índices IOS e TSM são indicadores do fenômeno ENOS e se mostraram relacionados à disponibilidade hídrica do Estado. A possibilidade de se ter previsões do fenômeno ENOS é de grande valia para o planejamento agrícola da região. Algumas práticas culturais, como a escolha da época de semeadura, população de plantas e fertilização, podem ser usadas de forma a propiciar um melhor aproveitamento dos recursos hídricos previstos e, com isso, minimizar o impacto de eventos meteorológicos adversos.

STUDZINSKI (1995), em trabalho realizado com a Região Sul do Brasil, verificou que a TSM de ambos oceanos, Pacífico e Atlântico, tem importante influência sobre o comportamento da precipitação nesta Região, devendo ser considerados conjuntamente. A relação da TSM do Oceano Atlântico com a precipitação não foi analisada neste trabalho, representando uma proposta de continuidade do mesmo.

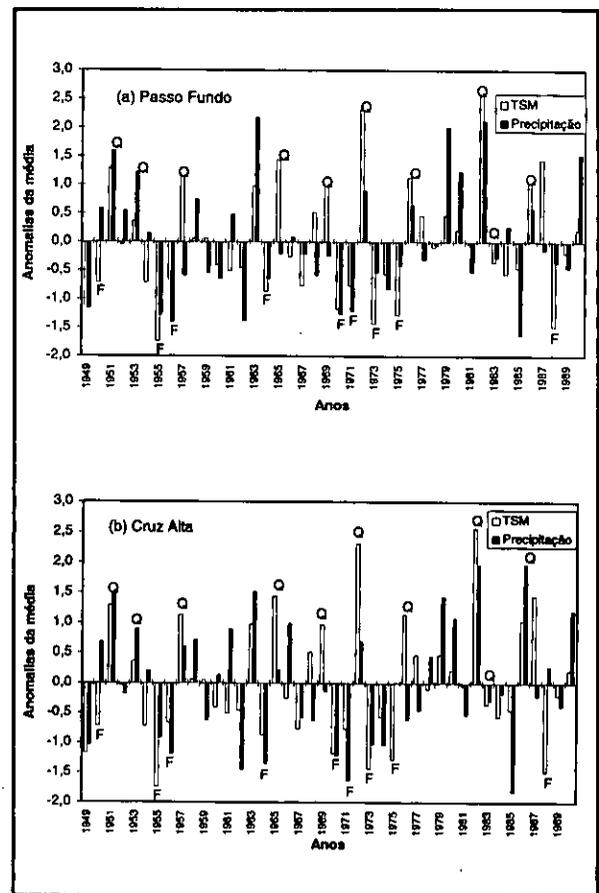


FIGURA 7 – Anomalias da média de precipitação e de temperatura da superfície do mar (TSM) na região Niño3 do Oceano Pacífico no período de outubro e novembro para (a) Passo Fundo e (b) Cruz Alta. (Q e F se referem a eventos quente e frio, respectivamente)

Relação entre ENOS e rendimento de milho

Sendo a precipitação um fator determinante do rendimento das culturas de primavera-verão no Estado e, estando a precipitação relacionada, em parte, ao fenômeno ENOS, é esperado que a variabilidade interanual do rendimento de milho no Rio Grande do Sul esteja, também em parte, relacionada a este fenômeno. Esta hipótese é reforçada na medida em que a influência do fenômeno ENOS sobre a precipitação do Estado abrange dois períodos fundamentais na determinação do rendimento final das culturas de primavera-verão: o final da primavera e início do verão é um importante período do calendário agrícola, pois são meses de preparo do solo, semeadura e desenvolvimento das principais culturas produtoras de grãos do Estado, em que anomalias negativas de precipitação comprometem seriamente as

safras agrícolas; precipitações muito intensas no final da estação de crescimento das culturas (final do outono) prejudicam a maturação e a colheita, comprometendo o volume final de produção.

Em geral, rendimentos acima da média são observados durante a ocorrência da fase quente do fenômeno. As safras de 1977, 1983 e 1987 apresentaram anomalias positivas de rendimento e estiveram associadas aos eventos quentes de 1976, 1982 e 1986. A safra de 1983 deve ser analisada com detalhe especial, visto que no ano de 1982 ocorreu o evento quente mais intenso da história, com os maiores desvios da média para os índices IOS e TSM. A precipitação acima da média no período de outubro e novembro, associada ao fenômeno, propiciou ótimas condições de desenvolvimento da cultura. Entretanto, o excesso de chuva no período de outono-inverno impediu que grande parte da colheita fosse realizada. Em 1979 e 1980, apesar do índice IOS ter-se mostrado próximo do normal, a TSM apresentou anomalias positivas, apontando a ocorrência de evento quente. Nas safras subsequentes de 1980 e 1981 foram observados rendimentos acima da média.

Os eventos frios de 1975 e 1988 não estiveram associadas a frustrações de safras nas microrregiões estudadas. Em 1986 se verificou uma intensa diminuição nos rendimentos de milho. Em Passo Fundo e em Cruz Alta a precipitação apresentou valores muito inferiores a média. Apesar desse ano ter sido considerado normal segundo critério IOS, o índice TSM apresentou anomalias negativas (Figura 7).

A análise da relação entre o fenômeno ENOS e o rendimento de milho no Rio Grande do Sul apresentada neste trabalho merece algumas considerações. Questões metodológicas como: tamanho da série e qualidade das informações de rendimento disponíveis; estabelecimento de relação entre um fenômeno de grande escala (ENOS) e o rendimento obtido em uma microrregião; não consideração dos distintos tipos de eventos (abrangência espacial e temporal) com seus distintos impactos, a sensibilidade dos indicadores do fenômeno, entre outras, devem ser melhor analisados em trabalhos futuros. No entanto, existe associação entre ENOS e rendimento de milho no Estado. O fato da previsão do fenômeno poder ser feita com antecedência de meses, permite o planejamento do calendário agrícola com adoção de práticas agronômicas visando um melhor aproveitamento dos prováveis recursos hídricos durante a estação de crescimento das culturas.

CONCLUSÕES

A variabilidade da precipitação no Rio Grande do Sul está relacionada ao fenômeno ENOS e essa variabilidade tem influência sobre o rendimento do milho no

Estado. Essas informações podem ser incorporadas em modelos de simulação do rendimento para efeito de identificação de estratégias de minimização dos impactos da variabilidade climática na produção dessa cultura.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ÁVILA, A.M.H. de. **Regime de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul com base em séries de longo prazo**. Porto Alegre, 1994. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1994.
- CHU, P.S. Brazil's climatic anomalies and ENSO. In: GLANTZ, M.H.; RICHARD, W.K.; NICLHOLLS, N. **Teleconnection linking worldwide climate anomalies**. New York: Cambridge University, 1991. p. 43-72.
- BERLATO, M.A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.) **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1992. p. 11-24.
- BERLATO, M.A. The climate forecasting applications in the decision-making process for the southern region of Brazil. In: Workshop report on ENSO and seasonal to interannual climate variability, socio-economic impacts, forecasting and applications to the decision-making process. Florianópolis, 14-16 setembro, 1992.
- IBGE. **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e perenes da Região Sul**. Rio de Janeiro, 1974 - 1994.
- GASQUEZ, J.M.; MAGALHÃES, A.R. Climate anomalies and their impacts in Brazil during the 1982-83 ENSO event. In: LUGANO report: climate risks. s.l: UNEP; ENCAR, 1987. Cap. 5, p. 30-36.
- GLANTZ, M.H. Introduction. In: GLANTZ, M.H., RICHARD, W.K., NICLHOLLS, N. **Teleconnection linking worldwide climate anomalies**. New York: Cambridge University, 1991. p. 43-72.
- MATZENAUER, R. **Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento do milho em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1994. 172 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1994.
- RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil, annual variation and correlation with the southern oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v.2, p.81-91, 1990.
- ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Quantifying southern oscillation-precipitation relationships. **Journal of Climate**. 1995. (in press).
- STUDZINSKI, C.D. **Um estudo da precipitação na Região Sul do Brasil e sua relação com os oceanos Pacífico e**

Atlântico Tropical e Sul. São José dos Campos, 1995.
79p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - INPE,
1995.

TRENBERTH, K.E. General characteristics of El Niño-Southern Oscillation. In: GLANTZ, M.H.; KATZ, R.W.; NICHOLLS, N. **Teleconnections linking worldwide climate anomalies.** Nova York: Cambridge, 1991. p.13-42.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INMET pelo fornecimento dos dados de precipitação utilizados no trabalho, a UFRGS pela indicação do primeiro autor para participar do curso de treinamento sobre "Aplicações da previsão climática de curto prazo na agricultura", realizado em Palisades, USA e aos doutores Guillermo Berri, Cynthia Rosennzweig, Jennifer Phillips e Luis Mauro Rosa pelas sugestões e contribuições ao trabalho.

HERBICIDAS NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS E SELETIVIDADE À ALFAFA (*Medicago sativa* L.) DURANTE A FASE DE ESTABELECIMENTO¹

LUIZ AUGUSTO PETRY², JOÃO CARLOS DE SAIBRO³, NILSON GILBERTO FLECK³

RESUMO - Foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, Eldorado do Sul, RS, de outubro de 1993 à julho de 1994; um experimento para avaliação de onze herbicidas aplicados na fase de estabelecimento da alfafa, incluindo duas testemunhas: cultura não-infestada e infestada por plantas daninhas. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados com quatro repetições. As avaliações constaram de: contagem de plantas emergidas e desenvolvimento inicial da alfafa, níveis de dano sobre a cultura e de controle sobre caruru (*Amaranthus deflexus* L.) e poaia (*Richardia brasiliensis* Gomez), e produção da matéria seca de alfafa e plantas daninhas obtidas em quatro cortes. EPTC (4000 g/ha) em pré-semeadura e incorporado ao solo, trifluralin (2400 g/ha) em pré-emergência e imazethapyr (100 g/ha) em pós-emergência apresentaram melhor desempenho quando a seletividade, controle das plantas daninhas e rendimento de MS da alfafa são considerados como um conjunto parâmetros agronômicos importantes para a cultura da alfafa. Os herbicidas linuron e oxadiazon revelaram-se muito tóxicos à alfafa.

Palavras-chave: Alfafa, planta daninha, herbicida, *Amaranthus deflexus* L., *Richardia brasiliensis* Gomez

HERBICIDES ON WEED CONTROL AND SELECTIVITY TO ALFALFA (*Medicago sativa* L.) DURING ESTABLISHMENT

ABSTRACT - A field experiment was carried out on a plinthosol at the Agronomic Experimental Station, Federal University of Rio Grande do Sul, located in Eldorado do Sul (30° 05' 52" S, 51° 39' 08" W), from October 1993 to July 1994, to evaluate eleven herbicides on weed control and herbicide selectivity to alfalfa. The herbicides were tested when alfalfa was at the seedling establishment stage. Two control treatments were included: with and weed-free plots. A randomized complete block design with four replications was used. Treatment effects were evaluated in terms of alfalfa seedling number after germination, alfalfa early growth and herbicide injury, control of pigweed (*Amaranthus deflexus* L.) and Brazil pusley (*Richardia brasiliensis* Gomez). Alfalfa and weed dry matter yields after four harvests were also considered. EPTC (4000 g/ha) preplant incorporated (PPI), trifluralin (2400 g/ha) preemergence (PRE) and imazethapyr (100 g/ha) postemergence (POST) showed the best overall performance when selectivity, weed control and alfalfa DM yield are considered as a set of relevant agronomic parameters to the alfalfa crops. The herbicides linuron and oxadiazon were very toxic to alfalfa.

Key words: Alfalfa, Weed, Herbicide, *Amaranthus deflexus* L., *Richardia brasiliensis* Gomez

INTRODUÇÃO

O cultivo da alfafa (*Medicago sativa* L.), no Estado do Rio Grande do Sul, ocorre principalmente nas regiões coloniais, localizadas nas encostas dos rios Cai, Taquari, Jacuí e Uruguai. A produção de feno visa atender principalmente à alimentação de bovinos de leite e a suinocultura, embora, muitos produtores também o comercializem para a alimentação de eqüinos e outros animais domésticos.

Dos problemas sanitários, as plantas daninhas são as que mais afetam negativamente a produtividade e a qualidade da alfafa, pois são capazes de ocupar de uma forma muito agressiva áreas de solo cultivadas. As invasoras causam principalmente na fase de estabelecimento, prejuízos significativos às plântulas de alfafa, advindos da competição pelos recursos ambientais, água, luz e nutrientes.

Assim, no sudeste da Austrália, TAYLOR (1987) quantificou a participação e o controle das plantas daninhas de inverno durante o estabelecimento da alfafa.

Nas parcelas sem controle, a composição botânica no primeiro corte foi de 52% de *Arctotheca calendula* (L.) Levyns, 41% de *Lolium rigidum* Gaud e menos de 1% de alfafa, enquanto, nas parcelas tratadas com herbicidas houve redução de até 87% na proporção de plantas daninhas.

Além da redução no rendimento de matéria seca (MS) da alfafa, as plantas daninhas podem prejudicar a qualidade do feno, reduzindo os teores de proteína bruta (CORDS, 1973) e provocando aumento nos teores de fibra detergente ácido e fibra detergente neutro (TONKS et al., 1991).

A interferência negativa das plantas daninhas se estende também à produção de sementes. Na Nova Zelândia, parcelas de alfafa mantidas livres de plantas daninhas alcançaram rendimento médio de sementes de 243 kg/ha, enquanto que nas infestadas o rendimento era de apenas 7 kg/ha (ASKARIAM et al., 1993).

A seleção de herbicidas para controle de espécies daninhas, requer também observações quanto a possíveis efeitos fitotóxicos sobre a cultura. Assim, o pre-

1. Apoio financeiro do CNPq.

2. Eng. Agr. - Estudante de Pós-graduação da Faculdade de Agronomia da UFRGS, Caixa Postal 776, 90001-970 Porto Alegre-RS/BRASIL.

3. Eng. Agr., Ph.D. - Prof. Adjunto da Faculdade de Agronomia da UFRGS, Caixa Postal 776, 90001-970 Porto Alegre-RS/BRASIL. Bolsista do CNPq. Recebido para publicação em 20/10/1995.

sente trabalho teve por objetivos avaliar a seletividade, o rendimento de MS de alfafa e os níveis de controle das plantas daninhas, de onze herbicidas na fase de estabelecimento da alfafa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, situada no município de Eldorado do Sul, na região fisiográfica da Depressão Central.

O solo pertence a unidade de mapeamento Arroio dos Ratos, classificada por MELLO et al. (1966) como laterita hidromórfica, que pela atual classificação brasileira pode ser enquadrado como plintossolo (CAMARGO et al., 1987). O solo foi arado e gradeado de forma convencional. Utilizou-se o equivalente a 5,7 t/ha de calcário dolomítico com valor PRNT 70%, 70 kg/ha de P O (superfosfato simples) e 300 kg/ha de K O (cloreto de potássio), incorporados ao solo com gradagem.

A semeadura foi feita a lanço no dia 8 de outubro de 1993, utilizando-se o equivalente a 10 kg/ha de sementes de alfafa cv. Crioula, previamente inoculadas com *Bradyrhizobium* sp. e peletizadas com carbonato de cálcio.

O delineamento utilizado foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições. As parcelas mediam 2,5 m x 4,0 m com área útil de 3 m².

Os herbicidas de pré-semeadura e incorporados ao solo (PSI) e de pré-emergência (PRE) foram aplicados no mesmo dia da semeadura, sendo que os de pós-emergência (POS) foram aplicados 23 dias após a emergência das plantas.

Foi utilizado um pulverizador costal com pressão constante de 160 KPa, bicos do tipo leque 110° 04 e vazão de 250 litros/ha. Os tratamentos herbicidas utilizados no presente trabalho constam na Tabela 1. Além deles, foram utilizadas duas testemunhas: uma não-infestada e outra infestada naturalmente por plantas daninhas.

TABELA 1 – Tratamentos herbicidas utilizados no controle de ervas dicotiledôneas em alfafa. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1993/94

Nome comum ^a	Grupo químico	Formulação ^b e concentração	Dose i.a. (g/ha)	Dose p.c. (kg oul/ha)	Época de ^c aplicação
Bentazon	Tiadiazinas	SA 600 g/l	900	1,5	POS
Clorimuron	Sulfoniluréias	GD 250 g/kg	20	0,08	POS
EPTC	Tiocarbamatos	CE 800 g/kg	4000	5,0	PSI
Flumetsulan	Sulfonamidas	SC 120 g/l	120	1,0	PRE
Imazethapyr	Imidazolinonas	SA 100 g/l	100	1,0	POS
Linuron	Uréias	SC 450 g/l	900	2,0	PRE
Napropamide	Acetamidas	PM 500 g/kg	2500	5,0	PRE
Oxadiazon	Oxadiazolinas	CE 250 g/l	1000	4,0	PRE
Pendimethalin	Dinitroanilinas	CE 500 g/l	1250	2,5	PSI
Trifluralin	Dinitroanilinas	CE 445 g/l	800	1,8	PSI
Trifluralin	Dinitroanilinas	CE 600 g/l	2400	4,0	PRE

^a Nomes comerciais e fabricantes: Basagran (BASF), Classic (DU PONT), Eradicane (ZÉNECA), Scorpion (DOW ELANCO), Pivot (CYANAMID), Afalon (HOECHST), Devrinol (ZÉNECA), Ronstar (RHODIA), Herbadox (CYANAMID), Trifluralina Hoechst (HOECHST), Premerlin (DEFENSA).

^b Formulações: SA: solução aquosa
GD: grânulos dispersíveis
CE: concentrado emulsionável
SC: suspensão concentrada
PM: pó molhável

^c POS: pós-emergência
PSI: pré-semeadura, incorporado
PRE: pré-emergência

O controle das gramíneas presentes em toda a área experimental foi realizado aos 36 dias após a emergência da alfafa, utilizando-se o herbicida haloxifop-metil (Verdict a 1,5 l/ha). O objetivo deste controle foi eliminar um possível efeito prejudicial das gramíneas sobre as plantas de alfafa, já que a ênfase maior dos tratamentos herbicidas visava o controle de espécies daninhas dicotiledôneas associadas à cultura da alfafa.

As avaliações constaram de:

a) Contagem de plantas de alfafa aos 20 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) de PRE e PSI, utilizando-se unidades de amostragem de 0,25 m x 0,50 m, distribuídos quatro vezes ao acaso sobre cada parcela;

b) Desenvolvimento das plantas de alfafa: 36 dias após a emergência da cultura, foram colhidas ao acaso dez plantas por parcela, que após secagem em estufa a 65°C, foram pesadas, com objetivo de detectar efeitos inibitórios dos herbicidas sobre o desenvolvimento inicial das plantas;

c) Níveis de dano à alfafa: aos 27, 42, 56 e 70 DAT foram feitas avaliações visuais para os tratamentos de PSI e PRE, usando-se uma escala percentual, cujo valor zero significava ausência de danos aparentes e 100 morte total das plantas de alfafa. Para os tratamentos de POS, as determinações foram realizadas aos 7, 15, 21 e 36 DAT;

d) Níveis de controle de plantas daninhas: aos 35, 43, 48 e 63 DAT foram feitas avaliações dos níveis de controle para os tratamentos de PRE e PSI, e aos 14, 29 e 43 DAT para os de POS, usando-se escala percentual em que o valor zero significava nenhum controle, e o valor 100 controle total das espécies *Amaranthus deflexus* L. (caruru) e *Richardia brasiliensis* Gomez (poaia);

e) Peso de matéria seca (MS): as avaliações de peso de MS de alfafa, plantas daninhas e material morto foram efetuadas através de cortes a uma altura de 8 cm acima do nível do solo nos dias 30/12/93, 08/03/94, 18/04/94 e 10/06/94, correspondendo a 79, 147, 188 e 241 dias após a emergência. O material fresco colhido foi pesado a campo, sub-amostrado e em seguida feita separação botânica, nos seguintes componentes: alfafa, caruru, poaia, outras plantas daninhas e material morto. Após secagem, o material foi pesado e determinada a participação de cada componente em termos de MS/ha.

A análise de variância para o peso da MS de alfafa e plantas daninhas seguiu modelo proposto para blocos completos casualizados, e as médias dos tratamentos foram comparados pelo teste de Duncan com nível de significância de 5%.

Com relação aos níveis de controle das plantas daninhas e dano sobre a alfafa, expressos em porcentagem, os dados foram transformados através de $\sqrt{x + 0,5}$, e as análises procedidas para cada data de

observação, seguindo o modelo e o teste descrito no parágrafo anterior.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Emergência de plântulas de alfafa

Os tratamentos com trifluralin em PRE, trifluralin PSI e pendimethalin não se diferenciaram significativamente da testemunha não-infestada quanto ao número de plântulas emergidas. Já os resultados obtidos com napropamide, EPTC e flumetsulan quando comparados à testemunha capinada, apresentaram reduções de 28, 33 e 42%, respectivamente, no número de plântulas emergidas (Tabela 2).

TABELA 2 – Efeito de herbicidas na emergência de plântulas de alfafa. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1993

Tratamentos	Plântulas /m ²
Testemunha não-infestada	288 a *
Trifluralin PRE	244 ab
Trifluralin PSI	240 abc
Pendimethalin	228 abc
Napropamide	208 bc
EPTC	192 bc
Flumetsulan	168 c
Linuron	22 d
Oxadiazon	0 d

* - Médias seguidas de mesma letra não diferem, significativamente, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Segundo MARBLE e PETERSON (1981) e RONFAIL (1975), citados por TAYLOR (1987), os rendimentos da alfafa no ano do estabelecimento não foram significativamente diferentes para populações que variaram entre 123 e 404 plantas/m². Embora os resultados mostrados na Tabela 2 enquadrem-se nesse intervalo, é importante considerá-los na escolha da densidade de semeadura mais adequada, pois sabe-se que alfafa apresenta na fase inicial de seu desenvolvimento redução significativa no número de plantas/m² (PAIM, 1971). Observa-se ainda que a alfafa mostrou-se altamente suscetível aos herbicidas oxadiazon e linuron, os quais ocasionaram reduções de 100 e 92,4%, respectivamente, no número de plantas emergidas por m², quando comparados à testemunha não-infestada.

b) Desenvolvimento das plantas de alfafa:

Os resultados obtidos com a coleta de dez plantas de alfafa por parcela, aos 41 dias após a semeadura, estão contidos na Tabela 3. Os pesos de MS demonstram não haver diferenças significativas entre os tratamentos com pendimethalin, trifluralin PSI e PRE, napropamide, imazethapyr e EPTC, quando compara-

dos às testemunhas mantidas livre ou não de plantas daninhas. Já o bentazon provocou redução no desenvolvimento da cultura quando comparado à testemunha capinada, porém esta redução não foi significativa em relação à testemunha infestada. Chlorimuron, flumetsulan e linuron foram aqueles que afetaram mais negativamente o desenvolvimento da alfafa, apresentando diferenças significativas quando comparados às testemunhas. Constatou-se que os herbicidas flumetsulan e linuron provocaram redução de 70% no peso seco das plantas de alfafa quando comparados à testemunha capinada.

c) Fitotoxicidade:

- Tratamentos PRE e PSI:

As determinações visuais, com objetivo de avaliar a toxicidade dos herbicidas sobre a alfafa para os tratamentos de PRE e PSI, tem os resultados apresentados na Tabela 4. O oxadiazon foi excluído das análises estatísticas devido à sua elevada fitotoxicidade, que impediu a emergência de todas as plântulas de alfafa (Tabelas 2 e 3). Observa-se que linuron provocou danos significativos, que se manifestaram visualmente através de clorose foliar e morte das plantas de alfafa. Os danos foram constatados desde a emergência até a décima semana após a aplicação do herbicida. A alfafa mostrou-se também sensível ao herbicida flumetsulan; entretanto, os sintomas provocados por este produto reduziram-se ao longo do período em que foram feitas as avaliações, mostrando que a alfafa foi capaz de recuperar-se dos danos iniciais.

TABELA 3 - Efeito de herbicidas no peso de matéria seca da alfafa, aos 41 dias após semeadura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1993

Tratamentos	Matéria seca (mg/10 plantas)
Pendimethalin	2540 a*
Testemunha não-infestada	2320 a
Trifluralin PSI	2300 a
Trifluralin PRE	2150 a
Testemunha infestada	2130 ab
Napropamide	2040 ab
Imazethapyr	1950 ab
EPTC	1900 ab
Bentazon	1430 bc
Chlorimuron	1170 cd
Flumetsulan	690 de
Linuron	690 de
Oxadiazon	0 e

* - Médias seguidas de mesma letra não diferem, significativamente, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

TABELA 4 - Fitotoxicidade à alfafa dos herbicidas de pré-emergência e de pré-semeadura incorporados ao solo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1993

Tratamentos	27 DAT	42 DAT	56 DAT	70 DAT ¹
	Níveis de dano(%) ²			
EPTC	14 c	14 b	6 c	3 cd
Flumetsulan	61 b	75 a	65 b	25 b
Linuron	90 a	75 a	82 a	81 a
Napropamide	7 de	4 c	2 de	7 c
Pendimethalin	5 e	5 c	5 cd	9 c
Trifluralin PSI	8 d	3 c	2 de	5 cd
Trifluralin PRE	15 c	6 c	3 cd	3 cd
Testemunha não-infestada	0 f	0 d	0 e	0 d
CV %	7,9	13,1	15,1	26,1

* Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

¹ - Época da avaliação em dias após aplicação dos tratamentos.

² - Níveis de dano: 100% morte total das plantas de alfafa.
0% sem danos aparentes.

Aos 27 e 42 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) todos os demais herbicidas apresentaram níveis de dano maiores que a testemunha capinada. Entretanto, mais tarde aos 56 DAT, napropamide e trifluralin PSI e aos 70 DAT os herbicidas EPTC, trifluralin PRE e PSI não se diferenciaram da testemunha mantida livre das plantas daninhas. Os dados referentes aos tratamentos EPTC e trifluralin PRE e PSI aos 56 e 70 DAT concordam com os resultados obtidos por FAWCETT e HARVEY (1978), os quais observaram níveis de dano iguais ou inferiores a 6% para estes herbicidas.

Nas parcelas tratadas com EPTC, as plantas de alfafa apresentaram as folhas mais novas aderidas umas às outras, e quando estas se separavam mostravam-se enroladas. Esses sintomas, no entanto, desapareceram no decorrer das observações.

- Tratamentos de POS:

Verifica-se que todos os herbicidas aplicados em POS provocaram sintomas de fitotoxicidade na cultura, que os diferenciaram da testemunha capinada (Tabela 5). Inicialmente aos 7 e 15 DAT chlorimuron e bentazon

provocaram os maiores danos à alfafa, enquanto, imazethapyr atingiu valores bem menores. Posteriormente, aos 21 e 36 DAT os danos provocados por imazethapyr e bentazon foram menores e semelhantes entre si, mas os danos produzidos por chlorimuron permaneceram elevados. Verificou-se, que imazethapyr provocou apenas pequena diminuição no desenvolvimento das plantas de alfafa, não sendo constatado nenhum outro sintoma de fitotoxicidade. Essa redução no desenvolvimento é característica dos herbicidas pertencentes ao grupo químico imidazolinonas, que inibem a enzima acetohidroxissintase, reduzindo os níveis dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina (AHRENS, 1994). Este efeito, entretanto, não reduziu o rendimento da alfafa, ao contrário permitiu colher 798 kg MS/ha a mais do que a testemunha infestada. WILSON, (1994), também observou pequeno atraso no desenvolvimento das plantas de alfafa no primeiro corte, em parcelas tratadas com imazethapyr (140 g/ha), sem que este efeito refletisse negativamente sobre o rendimento da cultura.

TABELA 5 – Fitotoxicidade à alfafa dos herbicidas de pós-emergência. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1993

Tratamentos	7DAT	15 DAT	21 DAT	36 DAT ¹
	Níveis de dano(%) ²			
Bentazon	28 a*	12 b	13 b	10 b
Chlorimuron	26 a	35 a	31 a	25 a
Imazethapyr	16 b	7 c	10 b	7 b
Testemunha não-infestada	0 c	0 d	0 c	0 c
CV %	9,1	11,4	15,3	23,7

* - Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente pelo de Duncan a 5% de probabilidade.

¹ - Época de avaliação em dias após aplicação dos tratamentos.

² - Níveis de dano: 100% morte total das plantas de alfafa. 0% sem danos aparentes.

Nas parcelas tratadas com bentazon, observaram-se sintomas como clorose e posterior necrose das folhas da alfafa, que se estendiam do ápice em direção ao centro das mesmas, o que concorda com as observações de AHRENS (1994). HARVEY (1991) constatou níveis de dano de 13 e 25%, respectivamente, em alfafa tratada com bentazon (800 g/ha) sem e com a utilização de adjuvante, aplicado na fase inicial de estabelecimento. Apesar destes níveis, o autor salienta que raramente houve redução na produtividade no primeiro corte da cultura. Também TONKS et al. (1991) constataram que bentazon (800 g/ha), sem a adição de adjuvante, provocou danos inferiores a 8% quando aplicado nas fases de duas, quatro e oito folhas trifolioladas. Aos 36 DAT as plantas tratadas com chlorimuron apresentavam sintomas de fitotoxicidade superior aos demais tratamentos

de POS. Os danos provocados por esse herbicida, provavelmente tenham sido um dos motivos para o baixo rendimento da alfafa obtido no primeiro corte (Tabela 6). Esse herbicida se caracteriza por inibir a enzima acetolactatosintase, provocando paralisação do crescimento em plantas sensíveis (AHRENS, 1994), sintoma típico observado em plantas de alfafa no presente trabalho.

d) Peso de matéria seca (MS) de alfafa

Na Tabela 6 estão os resultados dos rendimentos de alfafa, obtidos nos quatro cortes e o rendimento total de MS. O baixo rendimento apresentado pelos tratamentos no primeiro corte, foi devido, principalmente, à deficiência hídrica ocorrida na segunda quinzena de de-

zembro e ao ataque de lagartas, os quais provocaram apreciável desfolhamento da cultura. Trifluralin PRE apresentou rendimento de alfafa superior àqueles obtidos por chlorimuron, napropamide, testemunha infestada, linuron e oxadiazon, não diferindo dos demais. Flumetsulan superou apenas os três últimos tratamentos citados. Isso demonstrou a capacidade da alfafa em

se recuperar dos danos iniciais provocados pelo flumetsulan, os quais foram evidenciados através da redução no número de plântulas emergidas e da paralisação do crescimento (Tabelas 2, 3 e 4). Nos cortes subsequentes, verificou-se aumento nos rendimentos da alfafa, os quais mostraram que apenas linuron e oxadiazon produziram rendimentos inferiores aos demais tratamentos.

TABELA 6 – Efeito de herbicidas na produção de matéria seca de alfafa. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1993/1994

Tratamentos	Datas de corte				Total
	30/12/93	08/03/94	18/04/94	10/06/94	
	kg/ha				
Testemunha não-infestada	497 abcd*	1289 a	1216 a	871 a	3873 ab
Testemunha infestada	314 cd	1102 a	1063 a	844 a	3324 ab
Bentazon	516 abc	1302 a	1110 a	879 a	3808 ab
Chlorimuron	347 bcd	1024 a	973 a	820 a	3164 b
EPTC	529 abc	1277 a	1299 a	891 a	3996 ab
Flumetsulan	557 ab	1241 a	1293 a	853 a	3843 ab
Imazethapyr	517 abc	1382 a	1370 a	854 a	4122 ab
Linuron	281 d	570 b	572 b	568 b	1992 c
Napropamide	375 bcd	1120 a	1261 a	883 a	3638 ab
Oxadiazon	8 e	44 c	38 c	106 c	196 d
Pendimethalin	444 abcd	1157 a	1141 a	960 a	3703 ab
Trifluralin PSI	458 abcd	1092 a	1247 a	830 a	3627 ab
Trifluralin PRE	661 a	1460 a	1243 a	908 a	4271 a
CV %	31,7	24,2	23,7	12,3	18,8

* - Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem, significativamente, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Através das comparações dos rendimentos totais de MS, pode-se observar que apenas linuron e oxadiazon se diferenciaram da testemunha não-infestada. Trifluralin PRE e imazethapyr proporcionaram, respectivamente, a colheita na soma dos quatro cortes de aproximadamente 400 e 250 kg MS/ha a mais do que a testemunha não-infestada. Essa condição, possivelmente, possa ser atribuída aos eventuais danos à alfafa, provo-

cados pelo arranquio ou capina das plantas daninhas, ou efeito negativo provocado pela competição destas ainda que num estágio inicial de seu desenvolvimento.

e) Controle das plantas daninhas:

Tratamentos de POS:

Na Tabela 7 estão os resultados das avaliações de controle dos tratamentos de POS. Verifica-se que os níveis de controle obtidos com imazethapyr sobre as

TABELA 7 – Efeito dos herbicidas de pós-emergência no controle de plantas daninhas em alfafa. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1993

Tratamentos	<i>Amaranthus deflexus</i>			<i>Richardia brasiliensis</i>		
	14 DAT	29 DAT	43 DAT	14 DAT	29 DAT	43 DAT
	Níveis de controle (%) ²					
Bentazon	79 c*	82 c	68 b	79 d	76 c	65 b
Chlorimuron	94 b	91 b	74 b	90 c	87 b	60 b
Imazethapyr	96 ab	97 a	96 a	95 b	97 a	95 a
Testemunha infestada	0 d	0 d	0 c	0 e	0 d	0 c
Testemunha não-infestada	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
CV %	1,7	2,4	4,5	1,0	1,2	3,9

* - Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

¹ - Níveis de controle: 100% morte total das plantas daninhas.

0% nenhum controle das plantas daninhas.

² - Época da avaliação em dias após a aplicação dos tratamentos.

espécies *Amaranthus deflexus* e *Richardia brasiliensis* se situou ao redor de 95%, e que não se diferenciou da testemunha não-infestada, mas foi superior estatisticamente a chlorimuron e bentazon. Os resultados no controle de *A. deflexus* quando esta apresentava de quatro a oito folhas, obtidos nos tratamentos de POS se assemelham àqueles citados por LORENZI (1994), cujos níveis de controle sobre a espécie variaram de 50 a 85% para bentazon e chlorimuron, e superior a 95%

para imazethapyr. Já com relação ao controle de *R. brasiliensis*, LORENZI (1994), cita níveis inferiores a 50% para bentazon, e níveis que variaram de 50 a 85% para chlorimuron.

- Tratamentos PRE e PSI:

Os resultados dos níveis de controle obtidos com os tratamentos de PRE e PSI, estão contidos na Tabela 8.

TABELA 8 – Efeito dos herbicidas de pré-emergência e pré-semeadura e incorporados ao solo no controle de plantas daninhas em alfafa. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1993

Tratamentos	<i>Amaranthus deflexus</i>			<i>Richardia brasiliensis</i>		
	35 DAT	48 DAT	63 DAT	35 DAT	48DAT	63 DAT ¹
	Níveis de controle(%) ²					
EPTC	94 a	78 b	78 b	96 a	96 a	92 a
Flumetsulan	99 a	99 a	99 a	97 a	97 a	97 a
Linuron	96 a	87 ab	79 b	81 b	67 b	53 b
Napropamide	47 b	47 c	45 c	63 c	61 b	57 b
Pendimethalin	99 a	99 a	98 a	99 a	99 a	99 a
Trifluralin PSI	99 a	99 a	99 a	99 a	99 a	99 a
Trifluralin PRE	99 a	99 a	99 a	99 a	99 a	99 a
Testemunha infestada	0 c	0 d	0 d	0 d	0 c	0 c
Testemunha não-infestada	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
CV %	3,5	5,9	6,4	4,2	6,0	5,3

* - Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem, significativamente, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

¹ - Níveis de controle: 100% morte total das plantas daninhas.

0% nenhum controle das plantas daninhas.

² - Época de avaliação em dias após a aplicação dos tratamentos.

Verifica-se nas observações feitas aos 35 DAT, sobre a espécie *A. deflexus*, que a maioria dos tratamentos não se diferenciou da testemunha não-infestada, exceção à testemunha infestada e a napropamide, cujo nível de controle foi inferior à 50%. Estes resultados são semelhantes aos reportados por LORENZI (1994) no controle dessa espécie (Tabela 8). Aos 63 DAT, apenas os herbicidas flumetsulan, pendimethalin, trifluralin PRE e PSI não se diferenciaram da testemunha não-infestada.

Já para o controle de *R. brasiliensis*, acrescenta-se o herbicida EPTC aos anteriormente citados, como aqueles que apresentaram níveis de controle que não se diferenciaram da testemunha não-infestada. Linuron e napropamide apresentaram graus de controle inferiores aos demais, resultados semelhantes aos obtidos por LORENZI (1994); entretanto, este autor cita níveis de controle para EPTC, pendimethalin e trifluralin PSI variando de 50 a 85%, níveis que são inferiores aos obtidos no presente trabalho.

f) Peso de matéria seca das plantas daninhas

Os resultados quanto à infestação de plantas daninhas, medidos através da quantidade de MS colhida, estão na Tabela 9. No primeiro corte, a testemunha mantida sem controle das plantas daninhas, assim como o tratamento com napropamide, apresentaram as mais altas infestações e não se diferenciaram estatisticamente. Colheu-se, comparativamente, menos alfafa do que plantas daninhas em ambos os tratamentos (Tabela 6). Todos os demais tratamentos não se diferenciaram da testemunha não-infestada. A quantidade de MS de plantas daninhas colhidas neste corte refletem, de maneira geral, os níveis de controle observados para os herbicidas testados cujos resultados estão nas Tabelas 7 e 8. É provável que o fraco desempenho obtido pelo herbicida napropamide, caracterizado por apresentar baixa capacidade de adsorção, tenha sido provocado pelas condições ambientais; solo de textura franco-arenosa e aos dias ensolarados seguidos de chuvas que ocorreram poucos dias após a aplicação dos tratamentos. Acrescenta-se a isso, o fato de napropamide apresentar perdas de até 50% por fotodecomposição, após exposição de 4 dias na superfície do solo (AHRENS, 1994).

TABELA 9 – Efeito de herbicida com base no peso de matéria seca de plantas daninhas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1993/1994

Tratamentos	Datas de corte				Total
	30/12/93	08/03/94	18/04/94	10/06/94	
	kg/ha				
Testemunha não-infestada	17 b*	22 d	10 c	10 b	58 g
Testemunha infestada	485 a	551 a	79 bc	11 b	1126 ab
Bentazon	120 b	342 abcd	72 bc	13 b	547 cdef
Chlorimuron	54 b	480 ab	80 bc	18 b	631 cde
EPTC	163 b	102 cd	28 c	9 b	302 efg
Flumetsulan	58 b	88 cd	18 c	14 b	178 fg
Imazethapyr	10 b	88 cd	17 c	10 b	125 fg
Linuron	161 b	396 abc	137 b	77 b	771 bcd
Napropamide	440 a	424 abc	31 c	7 b	902 abc
Oxadiazon	107 b	540 a	325 a	307 a	1277 a
Pendimethalin	31 b	92 cd	20 c	7 b	150 fg
Trifluralin PSI	100 b	275 abcd	15 c	9 b	400 defg
Trifluralin PRE	87 b	156 bcd	12 c	15 b	270 efg
CV %	100,6	74,4	76,9	141,7	51,7

* - Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

No segundo corte, imazethapyr, flumetsulan, pendimethalin e EPTC apresentaram os melhores controles, com quantidades de MS de plantas daninhas inferiores a 102 kg/ha. Além desses herbicidas, bentazon, trifluralin PSI e trifluralin PRE também não se diferenciaram da testemunha não-infestada, e superaram à testemunha infestada, chlorimuron e oxadiazon.

No terceiro e quarto cortes, as diferenças entre os tratamentos se tornaram menores, e apenas linuron e oxadiazon no terceiro corte, e oxadiazon no quarto, se diferenciaram dos demais, pois possibilitaram aumento na infestação das plantas daninhas, ocasionado pela elevada fitotoxicidade sobre a alfafa, o que permitiu a germinação e o desenvolvimento de plantas daninhas por falta de competição pela cultura.

Quanto ao peso total de MS das plantas daninhas, verifica-se que oxadiazon, napropamide e linuron permitiram crescimentos de plantas daninhas equivalentes ao da testemunha infestada. Por outro lado, EPTC, trifluralin PSI e PRE, flumetsulan, pendimethalin e imazethapyr não diferiram da testemunha não-infestada. Já chlorimuron e bentazon mostraram comportamento intermediário aos demais (Tabela 9).

Os resultados obtidos com flumetsulan em PRE, tanto no rendimento de MS de alfafa, quanto no controle de plantas daninhas revelam a possibilidade de uso deste herbicida, desde que se procedam novos experimentos em virtude da fitotoxicidade apresentada na fase inicial do estabelecimento da alfafa.

CONCLUSÕES

1) Os herbicidas EPTC em pré-semeadura e incorporado ao solo (PSI), trifluralin em pré-emergência (PRE) e imazethapyr em pós-emergência (POS) são aqueles que apresentam melhor desempenho quando avaliados conjuntamente controle das plantas daninhas, seletividade e rendimento de forragem de alfafa.

2) O herbicida flumetsulan em pré-emergência provoca redução no estande da alfafa e afeta o desenvolvimento inicial das plantas. Entretanto, é um produto promissor, pois apresenta desempenho satisfatório no controle de plantas daninhas e no rendimento de matéria seca da alfafa.

3) Linuron e oxadiazon são tóxicos à alfafa e não permitem a obtenção de um estande satisfatório da cultura, por impedir a emergência das plântulas.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- AHRENS, W.H. (Ed.). **Herbicide handbook**. 7.ed. Champaign: Weed Science Society of America, 1994. 352 p.
- ASKARIAN, M.; HAMPTON, J.G.; HARRINGTON, K.C. Control of weeds, and particularly white clover (*Trifolium repens* L.), in lucerne (*Medicago sativa* L.) grown for seed production. **Journal of Applied Seed Production**, Palmerston North, v. 11, p.51-55, 1993.
- CAMARGO, M.N., KLAMT, E., KAUFFMAN, J.H. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, n.1, p.11-33, 1987.
- CORDS, H.P. Weeds and alfalfa hay quality. **Weed Science**, Champaign, v.21, n.5, p.400-401, 1973.

- FAWCETT, R.S.; HARVEY, R.G. Field comparison of seven dinitroaniline herbicides for alfalfa (*Medicago sativa L.*) seedling establishment. *Weed Science*, Champaign, v.26, n.2, p.123-127, 1978.
- HARVEY, R.G. Bentazon for annual weed control in newly seeded alfalfa (*Medicago sativa L.*). *Weed Technology*, Champaign, v.5, n.1, p.154-158, 1991.
- LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 3.ed. Nova Odessa: Plantarum, 1994. 336p.
- MELLO, O. de; LEMOS, R.C., de; ABRO, P.U.R.; et al. Levantamento em série dos solos do Centro Agronômico. **Revista da Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS**, Porto Alegre, v.8, p.7-155, 1966.
- PAIM, N.R. Influência de densidades e métodos de semeadura no estabelecimento de alfafa (*Medicago sativa L.*) em solo ácido recuperado da Depressão Central, no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1971. 110p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Plantas Forrageiras, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1971.
- TAYLOR, A.J. Influence of weed competition on Autumn-sown lucerne in South-eastern Australia and the field comparison of herbicides and mowing weed control. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v.27, n.6, p.825-832, 1987.
- TONKS, D.; JEFFERY, L.S.; WEBB, B.L. Response of seedling alfalfa (*Medicago sativa L.*) to four postemergence herbicides. *Weed Technology*, Champaign, v.5, n.4, p.736-738, 1991.
- WILSON, R.G. Effect of imazethapyr on legumes and effect of legumes on weeds. *Weed Technology*, Champaign, v.8, n.3, p.536-540, 1994.

INFLUÊNCIA DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE O TAMANHO DAS SEMENTES E VIGOR DAS PLÂNTULAS DE SOJA

ANDRÉ LUÍS THOMAS¹, JOSÉ ANTONIO COSTA²

RESUMO - Sementes de soja, cv. IPAGRO 21, provenientes de tratamentos irrigado e não irrigado, que produziram 3689 e 1759 kg/ha de sementes, respectivamente, foram separadas pelo tamanho em três classes. Oitenta e sete por cento das sementes provenientes de plantas irrigadas apresentaram diâmetro acima de 5,60 mm, enquanto 70% das sementes oriundas de plantas não irrigadas apresentaram diâmetro de 4,75 mm. Dentro da mesma classe, o peso das sementes provenientes de plantas irrigadas foi maior do que o peso das sementes oriundas de plantas não irrigadas. A matéria seca dos cotilédones diminuiu proporcionalmente com o decréscimo do peso das sementes. As relações da matéria seca dos tegumentos e dos eixos embrionários das sementes não foram proporcionais ao peso das sementes. O déficit hídrico provocou a diminuição do tamanho e do peso das sementes, e as plântulas originadas por essas sementes, aos sete dias de desenvolvimento, apresentaram menor vigor.

Palavras-chave: soja, irrigação, semente, vigor de semente, qualidade fisiológica, qualidade física.

WATER DEFICIT INFLUENCE ON SEED SIZE AND SOYBEAN SEEDLING VIGOR

ABSTRACT - Soybean seeds, cv. IPAGRO 21, originated from treatments irrigated and nonirrigated, that produced 3689 and 1759 kg/ha of seeds, respectively, were separated by size in three classes. Eighty seven percent of the seeds from irrigated plants had diameter greater than 5.60 mm, while 70% of seeds of nonirrigated plants had diameter of 4.75 mm. For the same class, the weight of the seeds from irrigated plants were greater than the weight of the seeds from nonirrigated plants. The cotyledons dry matter decreased proportionally to the reduction of the seed weight. The relations between the dry matter of teguments and embryonic axis of the seeds were not proportional to the seed size. The water deficit decreased the seed size and weight, and the seedlings originated from these seeds, at the seventh day of development, were less vigorous.

Key words: soybean, irrigation, seed, seed vigor, physical quality, physiological quality.

INTRODUÇÃO

Na área de produção de soja no Rio Grande do Sul frequentemente ocorre déficit hídrico durante os períodos críticos de formação e enchimento de sementes, provocando redução no rendimento e na qualidade das mesmas.

A quantidade potencial de reservas de uma semente é determinada geneticamente, enquanto que a quantidade final é influenciada pelas condições meteorológicas a que foram submetidas as plantas que as originaram. No caso da soja, a ocorrência de déficit hídrico, durante o acúmulo de matéria seca nas sementes, acelera a senescência das plantas e, dependendo da intensidade e da duração, diminui o período e a taxa de enchimento das sementes. De acordo com ISRAEL (1981), WESTGATE et al. (1989), SMICIKLAS et al. (1992) e THOMAS e COSTA (1994), isso ocorre devido a diminuição do suprimento de fotoassimilados pela planta e/ou inibição do metabolismo da própria semente. THOMAS e COSTA (1994) mostraram que plantas de área irrigada possuíam maior índice de área foliar, maior período de enchimento de semente e maior rendimento biológico aparente.

A matéria seca dos cotilédones, do eixo embrionário e do tegumento aumentam proporcionalmente com o aumento do tamanho da semente de soja, sendo que a matéria seca dos cotilédones cresce a taxas maiores do que as taxas das demais partes da semente (TEIXEIRA e COSTA, 1989). O eixo embrionário possui reservas suficientes para as atividades metabólicas nas primeiras 24 h de germinação; após esse período é necessário que ocorra a degradação das substâncias presentes nos tecidos de reserva, e o subsequente transporte dos produtos resultantes, aos pontos de crescimento do eixo embrionário (POPINIGIS, 1977). Sementes grandes apresentam maior quantidade de substâncias de reservas, proporcionando maior desenvolvimento do eixo embrionário em relação a sementes pequenas (CARLETON e COOPER, 1972).

A velocidade de emergência não é influenciada pelo tamanho da semente de soja (SMITH e CAMPER Jr., 1975; GILIOLI, 1979; TEKRONY et al., 1987), sendo esse um fenômeno que depende de outros fatores como viabilidade da semente, profundidade de semeadura, umidade e temperatura do solo. Entretanto, o tamanho da semente afeta o vigor da plântula. Nos estádios ini-

1. Eng. Agr., M.Sc. - Prof. Assistente do Dep. de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia da UFRGS, Caixa Postal 776, 90001-970 Porto Alegre - RS/BRASIL.

2. Eng. Agr., Ph.D. - Prof. Titular do Dep. de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia da UFRGS. Bolsista do CNPq.
Recebido para publicação em 23/10/1995.

ciais de desenvolvimento vegetativo da soja existe relação entre altura (SMITH e CAMPER Jr., 1975; GILIOLI, 1979; TEKRONY et al., 1987), matéria seca (TEIXEIRA e COSTA, 1989) e área foliar (BURRIS et al., 1973) da planta com o tamanho da semente. Sementes grandes produzem plântulas mais vigorosas do que sementes pequenas (WETZEL, 1979).

Este trabalho foi realizado com o objetivo de determinar o efeito do déficit hídrico sobre o tamanho das sementes de soja, bem como sobre as partes da semente (cotilédones, eixo embrionário e tegumento) e a consequente influência sobre o desenvolvimento inicial das plântulas.

MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se um ensaio na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizada no município de Eldorado do Sul, durante o ano agrícola de 1990/91, com a cultivar de soja IPAGRO 21. O rendimento de sementes foi de 3689 kg/ha e 1759 kg/ha para os tratamentos irrigado e não irrigado, respectivamente. No tratamento irrigado, a tensão de água do solo foi mantida próxima a 30 kPa a partir de 30 dias após a emergência, ou 23 dias antes do início da floração, até o máximo volume da semente. No tratamento não irrigado, o déficit hídrico calculado, em todo ciclo da cultura, foi de 481 mm, e a tensão da água do solo foi inferior a 80 kPa durante a maior parte desse período (Figura 1) THOMAS e COSTA (1994).

As sementes provenientes de 32 parcelas, com área útil de 9,6 m², dos tratamentos irrigado e não irrigado foram separadas em classes pelo tamanho, com peneiras de metal com 20 cm de diâmetro. As peneiras apresentavam malhas de 6,30, 5,60, 4,75 e 4,00 mm. As sementes retidas em cada peneira foram consideradas como uma classe. Aquelas da peneira com malha de 4,00 mm, após a determinação percentual, foram eliminadas devido a má formação. Com as três classes de sementes restantes e duas procedências, oriundas de plantas irrigadas e não irrigadas, foram estabelecidos seis tratamentos: 1) sementes da classe 6,30 mm oriundas de plantas irrigadas (6,30 I); 2) sementes da classe

6,30 mm oriundas de plantas não irrigadas (6,30 NI); 3) sementes da classe 5,60 mm oriundas de plantas irrigadas (5,60 I); 4) sementes da classe 5,60 mm oriundas de plantas não irrigadas (5,60 NI); 5) sementes da classe 4,75 mm oriundas de plantas irrigadas (4,75 I); e, 6) sementes da classe 4,75 mm oriundas de plantas não irrigadas (4,75 NI).

Foram separadas e pesadas oito amostras de 100 sementes, com 13% de umidade, de cada tratamento. Quatro amostras por tratamento foram utilizadas para determinar a matéria seca dos cotilédones, eixos embrionários e tegumentos das sementes; as outras quatro foram utilizadas para avaliar o efeito do tamanho da semente sobre o vigor da plântula (expresso como teor de matéria seca da plântula) aos sete dias de desenvolvimento.

Para avaliar o efeito do tamanho da semente sobre as suas partes, amostras de 50 sementes foram colocadas por 24 h em placas de petri com 9 cm de diâmetro e volume inicial de 15 ml de água destilada, à temperatura de 20 °C. Permaneceram imersas em água quente (80 °C) cinco minutos antes do manuseio de cada amostra. A imersão em água foi feita para facilitar a separação manual do tegumento, cotilédones e eixo embrionário das sementes. A técnica utilizada foi modificada de POWRIE et al. (1960). A matéria seca das partes das sementes foi obtida em estufa ventilada, à temperatura de 65 °C, até peso constante.

Para avaliar a influência do tamanho da semente sobre o vigor da plântula, as 100 sementes de cada amostra foram divididas em quatro sub-amostras, sendo colocadas 25 sementes entre duas folhas de papel-substrato para germinação (19 cm x 28 cm). As sementes foram dispostas em duas linhas paralelas separadas de 2 cm e o papel embrulhado em forma de rolo (19 cm de altura). Os 96 rolos foram molhados com água destilada, agrupados e colocados dentro de um germinador com uma lâmina de 3 cm de água destilada no fundo, iluminação artificial e temperatura de 30 °C durante sete dias. Após este período, as plântulas foram separadas em parte aérea e radícula. A matéria seca das plântulas foi obtida em estufa ventilada, à temperatura de 65 °C, até peso constante.

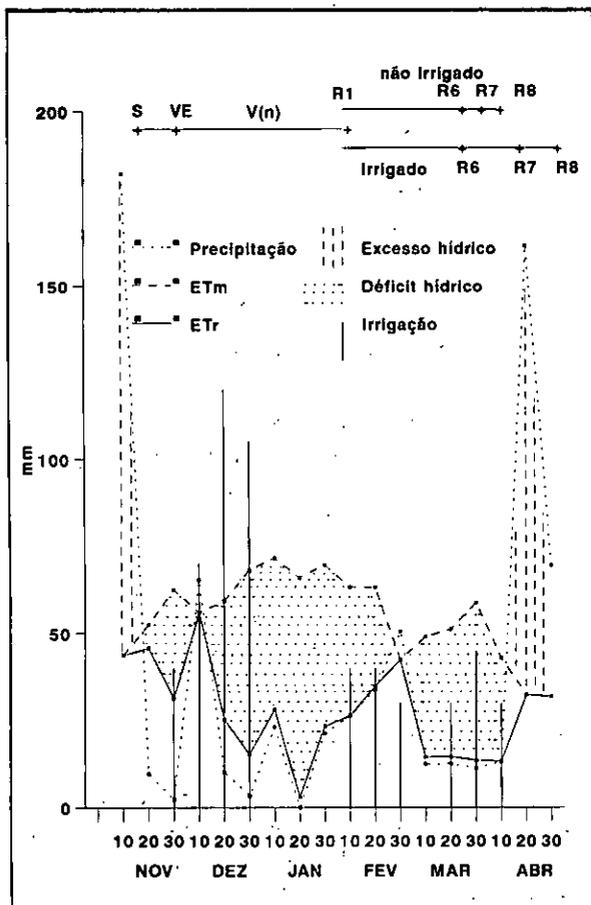


FIGURA 1 – Representação gráfica do balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather modificado, para capacidade de armazenamento de água no solo de 100 mm (THOMAS e COSTA, 1994). (Abreviações das fases do ciclo da cultura: S=semeadura, VE=emergência, V(n)=fase vegetativa, R1=início da floração, R6=máximo volume da semente, R7=maturação fisiológica e R8=maturação)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da distribuição percentual das sementes dentro de cada tratamento, do peso de 100 sementes, da matéria seca dos tegumentos, cotilédones e eixos embrionários nas 100 sementes.

O somatório das sementes das classes 6,30 e 5,60 perfizeram 87% das sementes provenientes de plantas irrigadas, não havendo sementes na classe 4,00. Por outro lado, 70% das sementes provenientes de plantas não irrigadas ficaram na classe 4,75 e 5% na classe 4,00. As plantas no tratamento irrigado apresentaram maior índice de área foliar durante a fase reprodutiva e maior

TABELA 1 – Distribuição percentual das sementes, peso de 100 sementes, matéria seca (MS) dos cotilédones, tegumentos e eixos embrionários nas 100 sementes de soja, cv. IPAGRO 21, provenientes de tratamentos irrigado (I) e não irrigado (NI), e separadas em classes

Tratamentos	Quantidade de sementes	Peso 100 sementes	Cotilédones	MS (g)	
				Tegumentos	Eixos embrionários
	%	g			
6,30 I	48	21,0 a	16,18 a	1,26 a	0,36 a
6,30 NI	4	18,3 b	14,29 b	1,24 a	0,33 b
5,60 I	39	17,3 c	13,37 c	1,08 c	0,32 b
5,60 NI	21	16,5 d	12,70 d	1,17 b	0,31 b
4,75 I	13	14,2 e	10,76 e	0,99 d	0,27 c
4,75 NI	70	13,0 f	9,73 f	1,00 d	0,26 c
4,00 I	0	-	-	-	-
4,00 NI	5	-	-	-	-

Comparações na vertical seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ($P < 0,01$).

duração dessa fase o que proporcionou maior suprimento de fotoassimilados às sementes (THOMAS e COSTA, 1994), fazendo com que essas alcançassem maior tamanho e peso.

O peso de 100 sementes diferiu entre todos os tratamentos. Dentro da mesma classe, o peso das sementes provenientes de plantas irrigadas foi maior que o daquelas originadas por plantas não irrigadas. A matéria seca dos cotilédones apresentou comportamento idêntico ao peso de 100 sementes. A densidade das sementes foi a responsável pela diferença no peso de sementes de mesmo tamanho, porém provenientes de plantas sob condições hídricas contrastantes. Isto ocorreu pelas mesmas razões aludidas no parágrafo anterior.

Na soja existe uma relação estreita entre tamanho e peso de sementes, sendo que os cotilédones representam em torno de 90% do peso da semente (THOMAS, 1992). Esta é a razão pela qual a matéria seca dos cotilédones decresceu com a diminuição do peso e do tamanho das sementes.

A matéria seca dos tegumentos das sementes decresceu à medida que a classe diminuiu. Porém, na classe 5,60 as sementes provenientes de plantas sob déficit hídrico apresentaram maior matéria seca nos tegumentos, demonstrando que ocorreu aumento na espessura ou modificação na composição dos mesmos, quando comparados com os tegumentos das sementes provenientes de plantas irrigadas. Não foi encontrada na literatura razão para justificar esse tipo de comportamento. A diferença, embora estatisticamente significativa, é pequena para que se possa avançar a discussão de sua importância biológica e/ou agrônômica. Seria necessário, ao menos, analisar a composição do tegumento, o que não foi feito neste trabalho.

Os eixos embrionários apresentaram maior maté-

ria seca nas sementes do tratamento 6,30 I, alcançando 9% a mais do que a mesma classe do tratamento não irrigado. A matéria seca dos cotilédones e dos eixos embrionários aumentaram proporcionalmente ao peso das sementes de soja. De acordo com TEIXEIRA e COSTA (1989), a taxa de crescimento da matéria seca dos cotilédones de soja é maior que a dos eixos embrionários. Em função disso, a menor diferença no peso de sementes entre os tratamentos 6,30 NI, 5,60 I e 5,60 NI deve ter contribuído para haver semelhança na matéria seca dos eixos embrionários desses tratamentos. O mesmo deve ter ocorrido para os tratamentos 4,75 I e 4,75 NI. A importância do tamanho do eixo embrionário, bem como a sua relação com a quantidade de reservas da semente, na expressão do vigor da plântula, ainda não estão bem esclarecidas em soja.

O aumento da matéria seca das partes aéreas e total das plântulas (Figura 2) e das radículas (Figura 3), aos sete dias de desenvolvimento, com o incremento do peso das sementes pode estar relacionado com a quantidade de reservas nos cotilédones. Sementes grandes apresentam maior quantidade de substâncias de reservas, proporcionando maior desenvolvimento do eixo embrionário em relação a sementes pequenas (CARLETON e COOPER, 1972). Isso também pode justificar a alta associação ($r^2 = 0,97$) entre a matéria seca das partes aéreas e do total das plântulas com o peso de sementes. Este fato torna-se importante uma vez que uma das formas de estimar a qualidade da semente é através da matéria seca da plântula e, como constatado por SMICIKLAS et al. (1992), a maior qualidade está relacionada com maior peso da semente.

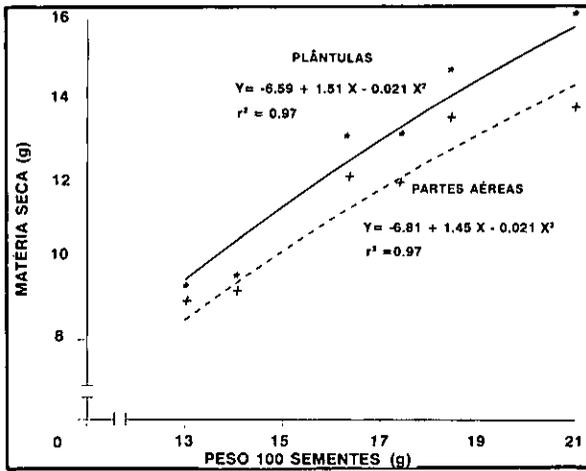


FIGURA 2 – Relação do peso de 100 sementes com a matéria seca (MS) de 100 plântulas e com as partes aéreas, da cultivar de soja IPAGRO 21, aos sete dias de desenvolvimento

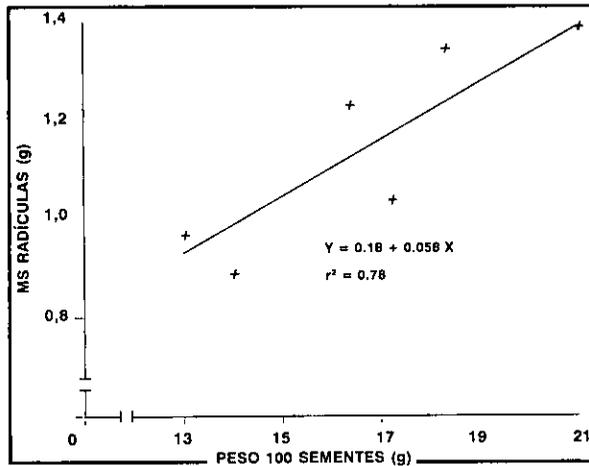


FIGURA 3 – Relação do peso de 100 sementes com a matéria seca (MS) das radículas de 100 plântulas da cultivar de soja IPAGRO 21, aos sete dias de desenvolvimento

CONCLUSÕES

- O déficit hídrico diminuiu o tamanho e o peso das sementes de soja.
- Para um mesmo tamanho de semente, a matéria seca acumulada nos cotilédones das sementes provenientes de plantas sob déficit hídrico foi menor do que nas sementes das plantas do tratamento irrigado.
- A matéria seca dos eixos embrionários diminuiu com o tamanho das sementes e a irrigação proporcionou aumento da matéria seca dessa parte nas sementes de maior tamanho (diâmetro de 6,30 mm).
- O desenvolvimento inicial das plântulas foi mais

vigoroso à medida que o tamanho das sementes aumentou.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- BURRIS, J.S.; EDJE, O.T.; WAHAB, A.H. Effects of seed size on seedling performance in soybean: II. Seedling growth and photosynthesis and field performance. *Crop Science*, Madison, v.13, p. 207-210, 1973.
- CARLETON, A.E.; COOPER, C.V. Seed size effects upon seedling vigour of three forage legumes. *Crop Science*, Madison, v. 12, p.183-186, 1972.
- GILIOI, J.L. Influência do tamanho da semente sobre algumas características agrônômicas da soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1978, Londrina. Anais... Londrina: CNPS, EMBRAPA, v. 2, p. 309-316, 1979.
- ISRAEL, D.W. Cultivar and Rhizobium strain effects on nitrogen fixation and remobilization by soybeans. *Agronomy Journal*, Madison, v.73, p. 509-516, 1981.
- POPINIGIS, F. Fisiologia da semente: metabolismo durante a germinação. Brasília: AGIPLAN, 1977. p.115-143.
- POWRIE, W.D.; ADAMS, M.W.; PFLUG, I.J. Chemical, anatomical and histochemical studies on the navy bean seed. *Agronomy Journal*, Madison, v.52, p.163-167, 1960.
- SMICIKLAS, K.D.; MULLEN, R.E.; CARLSON, R.E.; KNAPP, A.D. Soybean seed quality response to drought stress and pod position. *Agronomy Journal*, Madison, v. 84, p.166-170, 1992.
- SMITH, T.J.; CAMPER Jr., H.M. Effects of seed size on soybean performance. *Agronomy Journal*, Madison, v.67, p. 681-684, 1975.
- TEIXEIRA, M.C.C.; COSTA, J.A. Efeito do tamanho da semente de soja no vigor e na proporção tegumento, eixo embrionário e cotilédones. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.42, p.12-15, 1989.
- TEKRONY, D.M.; BUSTAMAM, T.; EGLI, D.B.; PFEIFFER, T.W. Effects of soybean seed size, vigor, and maturity on crop performance in row and hill plot. *Crop Science*, Madison, v. 27, p.1040-1045, 1987.
- THOMAS, A.L. Desenvolvimento e rendimento da soja em resposta à cobertura morta e à incorporação do gesso ao solo, com e sem irrigação. Porto Alegre, UFRGS, 1992. 91 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1992.
- THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.29, p.1389-1396, 1994.
- WESTGATE, M.E.; SCHUSSLER, J.R.; REICOSKY, D.C.; BRENNER, M.L. Effect of water deficits on seed development in soybean. II. Conservation of seed growth rate. *Plant Physiology*, Lancaster, v. 91, p.980-985, 1989.
- WETZEL, C.T. Efeito do tamanho das sementes de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1978, Londrina. Anais... Londrina: CNPS, EMBRAPA, 1979. v. 2, p.333-342.

INTERFERÊNCIA DE PAPUÃ (*Brachiaria plantaginea*) COM SOJA E GANHO DE PRODUTIVIDADE OBTIDO ATRAVÉS DO SEU CONTROLE

NILSON GILBERTO FLECK¹

RESUMO - Infestações de papuã (*Brachiaria plantaginea*) costumam ocorrer com frequência em áreas cultivadas com soja na região Sul do Brasil, causando prejuízos econômicos na produtividade dessa oleaginosa, inclusive trazendo problemas por ocasião da colheita. Este trabalho procurou investigar sua interferência na cultura da soja, dentro de níveis de média a elevada densidade. Foram utilizados dados obtidos em vários experimentos, conduzidos durante três estações de crescimento da soja no município de Eldorado do Sul, RS. Para isso, foram amostrados 35 pares de parcelas, constituídos por tratamentos mantidos capinados manualmente durante o ciclo da cultura ou infestados por populações naturais da espécie daninha. As densidades de papuã ocorrentes nas parcelas infestadas variaram de 70 a 780 plantas/m². Essa faixa de infestação ocasionou reduções de rendimento variáveis de 18 a 82%. Foi observado que, dos 35 casos comparados, em 83% deles tais reduções situaram-se entre 40 e 80%. A análise de regressão mostrou que, para as densidades de papuã avaliadas, ocorre perda de 4,8% no rendimento de grãos de soja para cada incremento de 100 plantas da erva por m² ($r^2 = 0,5$). O ganho de produtividade obtido pelo controle do papuã variou entre 675 e 3710 kg de grãos por hectare.

Palavras-chave: *Brachiaria plantaginea*, planta daninha, competição, densidade de planta daninha, rendimento de grãos.

ALEXANDERGRASS (*Brachiaria plantaginea*) INTERFERENCE WITH SOYBEANS AND YIELD GAIN ATTAINED THROUGH ITS CONTROL

ABSTRACT - Alexandergrass (*Brachiaria plantaginea*) infestations occur very frequently in soybean producing areas in the Southern region of Brazil, causing economic losses in productivity of this oil seed crop, resulting also in problems to the harvesting operation. This study searched to investigate its interference in soybean, within weed density variable from moderate to high. Data obtained in several trials, conducted during three soybean growing seasons in Eldorado do Sul, RS, Brazil, were used. In this research, 35 plot pairs were sampled, which were performed by treatments maintained weed-free throughout the growing season by hand hoeings, or infested by the weed during all crop season. Alexandergrass densities in weedy checks varied from 70 to 780 plants per m². This infestation range caused grain yield reductions which varied from 18 to 82%. It was also detected that in 83% of the cases studied, yield losses varied from 40 to 80%. Regression analysis showed that, for the weed population range investigated, soybean yield loss increases in 4.8% for each increment of 100 plants of the weed per m² ($r^2 = 0.5$). The yield gain attained through Alexandergrass control varied from 675 to 3710 kg of grains per hectare.

Key words: *Brachiaria plantaginea*, weed, weed density, competition, grain yield.

INTRODUÇÃO

Os prejuízos econômicos causados à produção de soja pela interferência de plantas daninhas, os decréscimos na qualidade dos grãos colhidos e as reduções na eficiência da operação de colheita tem sido investigados e comprovados por diversos pesquisadores em nível mundial. As plantas daninhas também causam perdas econômicas na produção de soja devido ao custo dos herbicidas e de outros métodos de controle que devem ser utilizados para sua eliminação.

A presença de plantas silvestres, que emergem espontaneamente nos ecossistemas agrícolas, podem condicionar uma série de fatores bióticos que irão atuar sobre as espécies cultivadas e afetar não só a produtividade biológica, como também a operacionalização do sistema de produção empregado (PITELLI, 1985).

Os efeitos negativos das ervas sobre a cultura não devem ser atribuídos exclusivamente à competição im-

posta por aquelas, mas são resultantes de um complexo de pressões do ambiente, que estão diretamente (através de competição, alelopatia ou interferência na operação de colheita) ou indiretamente (através de hospedeiras de pragas, moléstias ou nematóides) ligadas às suas presenças no ambiente agrícola. A esse efeito global, denomina-se interferência (PITELLI, 1985). Essa conceituação também é encontrada em STOLLER et al. (1987), que afirmam que os mecanismos de interferência entre plantas consistem de componentes de competição e de não-competição.

RADOSEVICH e HOLT (1984) esclarecem que a competição interespecífica envolve interferência negativa entre plantas de diferentes espécies. Já BLANCO (1972) conceitua que duas plantas estão competindo entre si quando, uma ou ambas, apresentam redução no seu crescimento ou modificação no seu desenvolvimento, quando comparadas com plantas vegetando isoladas. STOLLER et al. (1987), por sua vez, colocam que

1. Eng. Agr., Ph.D. - Prof. Adjunto do Departamento de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia da UFRGS, Caixa Postal 776, 90001-970 Porto Alegre - RS/BRASIL. Bolsista do CNPq.
Recebido para publicação em 12/01/1996.

a interferência por competição ocorre quando uma planta reduz o crescimento de outra por retirar uma parte desproporcional de um recurso ou recursos potencialmente disponíveis para ambas. Conforme PITELLI (1985), a competição pode ser definida como a apreensão ou recrutamento conjunto, por duas ou mais plantas, de recursos essenciais ao seu crescimento e desenvolvimento, os quais estão limitados no ecossistema comum. Assim, a competição se estabelece quando a intensidade de apreensão de recursos do ambiente pelos competidores suplanta a capacidade do meio em fornecê-los, ou quando um dos competidores impede o acesso ao recurso por parte do outro (PITELLI, 1985).

Dentre as espécies consideradas daninhas encontradas com mais frequência nos solos cultivados das regiões Centro e Sul do País, destaca-se o papuã [*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc.], espécie provavelmente originária da África e introduzida no Brasil nos tempos coloniais (KISSMANN, 1991; LORENZI, 1991). Essa gramínea vegeta durante o período quente do ano, infestando particularmente lavouras anuais, como soja e milho. Sua presença nas lavouras afeta diretamente o rendimento, pois é uma das gramíneas invasoras mais agressivas. Essa agressividade competitiva incomum a faz dominar todas as demais espécies (KISSMANN, 1991; LORENZI, 1991). Além da grande agressividade vegetativa e da elevada habilidade competitiva, o papuã também exerce interferência alelopática em soja (ALMEIDA, 1988). MARTINS (1994) enfatiza que sua agressividade é devida, entre outros fatores, à grande produção de disseminulos, à germinação distribuída ao longo do ciclo da cultura e à sua morfologia que leva à formação de um dossel vigoroso de folhas acima da soja. O autor coloca ainda que o papuã, por produzir muita biomassa e um dossel compacto de folhas sobre a soja, obstrui a passagem da luz, recurso do ambiente essencial à fotossíntese.

KISSMANN (1991) refere que em condições de solo fértil, o desenvolvimento do papuã pode ser tão vigoroso que uma planta por m^2 chega a afetar em 50% o rendimento da soja. E acrescenta que se numa lavoura com alta infestação forem eliminadas 98% das plantas, os indivíduos sobreviventes garantirão a continuidade da infestação. FLECK (1994) também constatou ser necessário que a infestação de papuã seja eliminada em alto grau para se atingir máximo rendimento de grãos de soja.

Já em 1972, BLANCO advertiu que o número de dados sobre as espécies daninhas e seu comportamento nas condições brasileiras era pequeno. O autor ainda sugeriu aos pesquisadores brasileiros a quantificação dos prejuízos sofridos pelas culturas devidos à concorrência das plantas daninhas. Contudo, transcorrido um quarto de século após essa sugestão, pode-se afirmar que,

para a maioria das situações, essa carência de dados ainda persiste.

BLANCO et al. (1973) concluíram que as plantas daninhas, ao competirem com a soja, causam quedas no potencial de produtividade na ordem de 90% quando não são controladas em nenhum momento. Seus resultados basearam-se numa população heterogênea de espécies daninhas, com predominância de gramíneas na ordem de 90%. Resultados encontrados por FLECK e CANDEMIL (1995) também mostraram que as espécies gramíneas apresentam maior potencial de dano do que as ervas dicotiledôneas, provocando maior redução no rendimento de grãos da soja. Nessas pesquisas, a espécie gramínea que ocorreu com maior frequência foi papuã (*Brachiaria plantaginea*). Contudo, nos EUA, STOLLER et al. (1987) referem que dados de pesquisa mostraram consideráveis diferenças entre as espécies daninhas quanto à sua habilidade de interferência, e indicaram que as maiores perdas de rendimento foram 80% para a maioria das espécies para as densidades máximas investigadas naquelas condições.

No Rio Grande do Sul o papuã representa a principal espécie daninha gramínea presente nas lavouras de soja. Por isso, é importante estabelecer a redução no rendimento de grãos que essa infestante pode ocasionar e também determinar qual o ganho de produtividade ou benefício econômico que medidas de controle possam trazer ao produtor. Nesse sentido, o presente trabalho procurou investigar a relação da interferência do papuã com a soja, para uma amplitude de densidade da erva considerada como média a elevada.

MATERIAL E MÉTODOS

Para alcançar o objetivo proposto, foram utilizados dados obtidos em vários experimentos conduzidos a campo durante três estações de crescimento (1992/93, 1993/94 e 1994/95) da soja na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRS), no município de Eldorado do Sul, região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Tais experimentos visavam avaliar o controle químico de gramíneas, e foram utilizados, paralelamente, para a realização deste estudo.

As cultivares de soja participantes dos ensaios foram 'BR-4', 'RS-7 Jacuí' e 'FT-Abyara'. As épocas de semeadura da soja nos ensaios variaram entre os últimos dias de outubro e os primeiros dias de dezembro. No manejo da cultura foram adotadas as práticas usuais na região e preconizadas pelas recomendações de pesquisa. Foi utilizado como padrão o espaçamento de 0,5 m entre fileiras de soja. As dimensões utilizadas para as parcelas foram de $10 m^2$ ($2 \times 5 m$). O solo encontrado na área onde foram localizados os ensaios é classifica-

do como Podzólico Vermelho-Escuro, distrófico (Paleudult), sendo de textura areno-franco-argilosa. A adubação do solo foi realizada com base nos resultados obtidos na análise química. O preparo do solo seguiu o método convencional, através de operações de aração e gradagens.

Na área experimental avaliada, a infestação de plantas daninhas era constituída essencialmente por papuã (*Brachiaria plantaginea*). A ocorrência de ervas dicotiledôneas na área foi esparsa e assumida como insuficiente para causar interferência negativa à cultura. No estudo, foram amostrados 35 pares de parcelas, constituídas por tratamentos mantidos capinados manualmente durante o ciclo da cultura ou infestados por populações naturais da espécie gramínea durante todo o ciclo da soja. Foram realizadas duas ou três capinas manuais nas parcelas com remoção das ervas afim de mantê-las livres de interferência dessas espécies durante o ciclo da cultura. As densidade de papuã ocorrentes nas parcelas infestadas variaram desde 70 até 780 plantas/m² no início do ciclo de crescimento das ervas e da soja.

As variáveis selecionadas para esse estudo foram as reduções de rendimento de grãos de soja em termos percentuais (comparando-se os tratamentos com e sem presença de papuã ou calculando-se a diferença entre testemunha capinada e infestada). Também se quantificou o ganho obtido em produtividade de grãos, o que representaria o benefício econômico alcançado pelo controle da infestação de papuã. Os dados experimentais obtidos foram submetidos à análise de regressão e de correlação linear simples.

Para análise de regressão foi adotado como pressuposição básica o modelo hiperbólico sugerido por COUSENS (1985,a ; 1985,b). O modelo da hipérbole retangular, conforme concluído por COUSENS, é um modelo simples desenvolvido para descrever a perda de rendimento da cultura como uma função da densidade de ervas e que fornece melhor descrição dos dados do que outros modelos testados. Segundo STOLLER et al. (1987), o modelo hiperbólico apresenta essencialmente dois componentes lineares: um, a baixa densidade, o qual é forçado a passar pela origem e que é o resultado do efeito aditivo da interferência interespecífica das ervas; e outro, a alta densidade, que é forçado a assumir um valor assintótico que não excede 100% de perda de rendimento.

No presente estudo, não foi adotado o modelo hiperbólico propriamente dito na análise de regressão, uma vez que as densidades de papuã constatadas foram pressupostas de se enquadrarem como de médias a altas, não se dispo de pontos em baixas densidades. Dessa forma, supôs-se que se dispunham de dados para averiguar a relação de interferência entre as espécies

apenas para a segunda parte da curva hiperbólica proposta por COUSENS (1985,a ; 1985,b), ou seja, o segundo componente linear como explicitado por STOLLER et al. (1987).

Sobre esse componente da curva foi aplicada análise de regressão, testando-se modelos polinomiais de baixa ordem de complexidade (linear e quadrático). Para o modelo linear também foram testadas transformações do tipo logarítmico, raiz quadrada e inverso para a variável independente (densidade de papuã) ou para a variável dependente (perda de rendimento ou ganho de produtividade). Todas as demais variáveis além da densidade de papuã, tal como densidade da soja, foram supostas de serem constantes, conforme sugerido por COUSENS (1985,b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os níveis de infestação de papuã ocasionaram reduções de produtividade variáveis desde um mínimo de 18% até um máximo de 82%, sendo que a média geral dos casos avaliados ficou em 58,7%. Como pode ser observado na Figura 1, verifica-se que, dos 35 casos comparados, em mais de 80% deles tais reduções de produtividade da soja situaram-se na faixa entre 40 e 80%. Ao se observar a forma de distribuição das frequências em seus respectivos intervalos, nota-se que ela se aproxima de uma curva de distribuição normal.

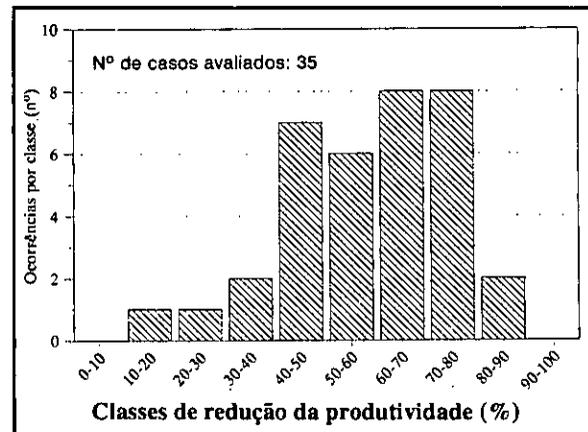


FIGURA 1 – Classes de redução da produtividade da soja e número de ocorrências por classe em experimentos de interferência de papuã, EEA/UFRS, Eldorado do Sul, RS, 1992-95

Neste trabalho não foram analisados parâmetros de crescimento da soja para explicar os mecanismos envolvidos em sua interferência com o papuã. Conforme relatado por STOLLER et al. (1987), é difícil separar e identificar os mecanismos da interferência ervas-cultura, quando eles ocorrem sob condições de campo, objetivando descobrir a contribuição relativa destes

mecanismos para a interferência global. No entanto, presume-se que, inicialmente, possam ocorrer efeitos alelopáticos, pois, segundo ALMEIDA (1988), papuã possui grande potencial alelopático. Após o início da fase reprodutiva, presume-se que a luz seja um recurso pelo qual ocorra grande competição entre essas espécies. Esse aspecto foi ressaltado por MARTINS (1994) que atribuiu grande influência do papuã em sombrear essa cultura, reduzindo sua capacidade fotossintética. Obviamente, a escassez ou a abundância de água durante a estação de crescimento pode regular a própria competição por luz entre as espécies.

Ao analisar a Figura 1, constata-se que nenhum dos casos avaliados situou-se no intervalo entre 0 e 10% ou entre 90 e 100%. Era de esperar que não ocorressem casos de baixas reduções de produtividade da soja, pois as densidades de papuã partiam de um patamar considerado ao menos como moderado. Já no extremo oposto, embora as maiores densidades não causassem reduções de rendimento próximo a 100%, pode-se especular que, do ponto de vista prático, muitos casos poderiam ser considerados como de perda total, caso fosse adotado o método mecânico de colheita. Como nesse estudo a colheita foi manual, tornou-se possível colher as poucas plantas de soja sobreviventes no final do ciclo e que cresceram em condições de altas infestações de papuã.

De outra parte, a escassa ocorrência de reduções de rendimento de grãos de soja acima de 80%, mesmo sob condições de elevadas infestações de papuã, faz supor que essa cultura, quando adequadamente manejada, exerça forte competição interespecífica. Também FLECK e CANDEMIL (1995) constataram através da análise de uma série de experimentos que envolveram infestações de gramíneas, de dicotiledôneas ou mistas, que a redução média do rendimento da soja foi da ordem de 37% em decorrência da interferência exercida por essas espécies, e que para o caso específico de gramíneas, a redução média foi de 42%. Esses resultados levam a supor que a soja apresenta elevada habilidade competitiva com as plantas daninhas. Essa hipótese é corroborada por STOLLER et al. (1987) ao concluírem que, para a maioria das espécies estudadas, as maiores perdas de rendimento de soja foram de 80% nas densidades máximas avaliadas. A coexistência e a associação de espécies dentro das comunidades vegetais é possível, porque a pressão de seleção direciona as espécies dentro de uma comunidade a utilizar diferentes partes do ambiente, resultando em menor competição (RADOSEVICH e HOLT, 1984). Ou seja, diferentes nichos podem ser ocupados no espaço e no tempo, o que permite às espécies evitarem interferência interespecífica ao menos durante parte do ciclo de crescimento (STOLLER et al., 1987).

A análise de correlação indicou uma associação positiva significativa ($r = 0,7$) entre população de plantas de papuã e redução da produtividade de grãos de soja. Já a análise de regressão mostrou que o modelo linear simples (sem qualquer transformação) foi o que melhor se ajustou aos dados estudados. Através da equação de regressão estimada (Figura 2), verifica-se que, para a faixa de populações de papuã analisada (70 a 780 por m^2), aumenta-se em 4,8% a perda de rendimento de grãos de soja para cada incremento de 100 plantas de papuã por m^2 . O modelo indica que, para densidade de papuã ao redor de 100 plantas/ m^2 , já se pode estimar uma perda do rendimento de grãos de aproximadamente 50%, e que ela pode alcançar o nível de 80% quando a densidade da erva se situar em torno de 700 plantas/ m^2 .

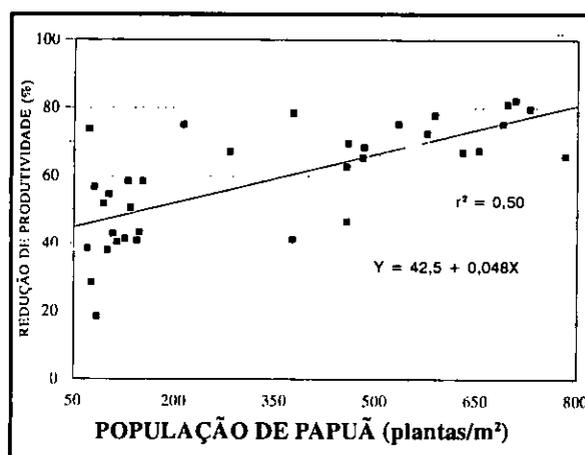


FIGURA 2 – Relação entre a produtividade de grãos de soja e a população de plantas de papuã, EEA/UFRRS, Eldorado do Sul, RS, 1992-95

Conforme verificado nesse trabalho, infestações de papuã em densidades de moderadas a elevadas ocasionaram pequeno incremento adicional na redução da produtividade da soja. Isso demonstra que nessa faixa de infestação se situa de fato a segunda parte da curva que representa o modelo da hipérbole retangular, o qual mostra uma estabilização dos efeitos interespecíficos de competição a partir de certo nível populacional, quando a ação intraespecífica das ervas passa a predominar. A baixas densidades, onde as áreas de influência de ervas individuais não se sobrepõem, cada incremento na densidade é aditivo; já quando a densidade passa de baixa para alta e as áreas de influência começam a se sobreporem, o efeito de interferência de cada erva diminui (STOLLER et al., 1987).

COUSENS (1985,a ; 1985,b) demonstrou que a perda no rendimento da cultura, causada por uma única espécie daninha, é bem descrita por uma hipérbole

retangular e que esse modelo, em média, exprimiu melhor os dados do que diversas outras equações com igual número de parâmetros. Entretanto, COUSENS (1985,a) alerta para o fato de que se deve tomar cuidado ao aplicar o modelo em situações em que a emergência das plântulas das ervas ocorra sobre um extenso período. O autor também salienta que o uso de modelos, como o hiperbólico, supõe que as ervas estejam distribuídas ao acaso em relação às plantas da cultura. Uma característica a salientar no modelo hiperbólico é que cada incremento adicional da densidade de erva causa mais perda de rendimento em baixas do que em altas densidades (STOLLER et al., 1987).

Dentre os modelos de regressão testados, o coeficiente de determinação daquele que melhor se ajustou aos dados foi bastante baixo, de apenas 50% (Figura 2). Pode-se supor que a densidade de plantas de papuã não mostrasse ser a variável mais adequada para estimar os danos de interferência causados à soja; ou, que as suposições adotadas nessa análise não tenham sido totalmente válidas para suportar a hipótese testada.

O primeiro aspecto foi bem analisado por LOTZ et al. (1993) ao referirem que as respostas da produtividade das culturas à densidade das ervas pode ser descrita satisfatoriamente pelo modelo de uma hipérbole retangular, mas que a densidade das ervas não é uma medida muito precisa para se prever os efeitos da competição, porque ela não leva em consideração o tamanho das ervas como resultado das diferenças em época de emergência em relação à cultura. Por isso, os autores propuseram um modelo que prevê a perda de rendimento baseada na cobertura foliar relativa das ervas junto às culturas. Nessa mesma linha, ALDRICH (1984) também alerta que, devido aos efeitos modificadores da época de ocorrência das ervas e de aspectos físicos do ambiente, não podem ser projetadas relações precisas dessas variáveis para condições de lavoura. Contudo, COUSENS et al. (1987) esclarecem que na verdade uma equação de regressão é um modelo, representando uma tentativa em descrever a realidade através do uso de uma equação matemática.

Outros autores (O'DONOVAN et al., 1985) também constataram que as relações entre perda de rendimento e densidade de ervas não foram significativas dentro do fator anos para a maioria dos casos que eles avaliaram. Esses autores acrescentam que os valores de R^2 relativamente baixos encontrados para alguns anos indicam que outros fatores também podem ter influenciado a relação de competição entre ervas e culturas, incluindo entre eles o uso de diferentes cultivares nos experimentos. Além disso, pode-se também incluir a variação de populações da cultura entre anos e a época relativa de emergência do papuã em relação à soja como fatores que devem ter contribuído para aumentar a vari-

abilidade e diminuir o valor do coeficiente de determinação.

Quanto ao segundo aspecto levantado, sabe-se que quando o número de ervas numa determinada área aumenta, o tamanho de cada planta diminui (ALDRICH, 1984); assim, é provável que os indivíduos afetarão de forma crescente o crescimento e a sobrevivência de cada um deles e nem todas as plantas alcançarão a maturidade (COUSENS et al., 1987). Esses autores referem que algumas plantas podem ser perdidas como resultado da competição, isto é, mortalidade dependente da densidade, enquanto outras podem ser perdidas através de fatores independentes de densidade, tais como seca ou ataque de patógenos e herbívoros. As plantas apresentam uma capacidade inata para auto-regulação (desbaste) quando o espaço (integração dos recursos do ambiente) disponível torna-se cada vez mais limitante (RADOSEVICH e HOLT, 1984).

Além disso, no presente trabalho, procedeu-se à contagem das plantas de papuã numa fase inicial do ciclo da cultura quando sua densidade espelhava a realidade de um dado momento, não se levando em consideração a possibilidade de emergência posterior de plantas, nem tampouco a das que morreram no decorrer da estação em função dos efeitos da competição mútua. Adicionalmente, a simples contagem não retrata as diferenças entre estádios de crescimento das plantas de papuã entre si ou em relação às plantas de soja.

A Figura 2 também mostra que houve considerável variação entre os pontos obtidos, indicando que, mesmo densidades de papuã bastante próximas, originaram resultados variáveis. A habilidade de interferência de ervas diversas com a soja pode diferir grandemente entre anos, mesmo sob densidade constante das ervas (STOLLER et al., 1987). Esses autores enfatizam que práticas culturais tais como seleção da cultivar, espaçamento entre fileiras, data de semeadura, sistemas de cultivo e de rotação e outras afetam diretamente a extensão em que as ervas interferem com a cultura.

As observações tem mostrado que as ervas mais competitivas parecem ser aquelas que emergem mais cedo, indicando que a época de emergência de uma população de plântulas é mais importante do que o seu arranjo espacial (RADOSEVICH e HOLT, 1984). Assim, O'DONOVAN et al. (1985), ao testarem seu modelo de regressão múltipla, incluíram o fator época relativa de emergência da cultura e das ervas, além da própria densidade dessas. A partir desse modelo, eles concluíram que quanto mais cedo as ervas emergiram em relação à cultura, maior foi a perda de rendimento. No entanto, os autores encontraram considerável variação nesses parâmetros em função das diferenças entre anos, fato que certamente também ocorreu entre os ensaios que deram origem ao trabalho em discussão.

Quanto ao ganho em produtividade da soja pela adoção do controle da infestação de papuã, ele foi bastante variável em termos quantitativos, situando-se entre 675 kg/ha e 3710 kg/ha, produzindo em média acima de 2090 kg/ha (35 sacos a mais). Neste caso, não se conseguiu obter ajustamento significativo dos dados aos modelos de regressão testados. Tampouco houve associação significativa entre ganho de produtividade e densidade de papuã.

No entanto, constatou-se uma correlação positiva ($r = 0,63$) entre ganho de produtividade obtido pelo controle do papuã e níveis de redução da produtividade da soja. Ou seja, em outras palavras isso significa que quanto maior é a redução do rendimento de grãos ocasionada pela interferência do papuã, maior é o benefício ou ganho obtido em produtividade como função do controle dessa erva.

Os dados de vários pesquisadores que foram analisados por STOLLER et al. (1987) indicaram que a interferência de ervas tende a aumentar com o incremento na disponibilidade dos fatores do meio que promovem o seu crescimento. Os resultados desse trabalho também comprovam que os maiores ganhos resultantes do controle eficiente das infestações de papuã devem advir de lavouras de soja onde sejam esperadas altas produtividades de grãos.

CONCLUSÕES

Demonstra-se que papuã é uma espécie que apresenta elevada capacidade de interferência como infestante da soja; em geral, causando reduções entre 40 e 80% à produtividade de grãos.

A adoção de medidas de controle às infestações de papuã traz ganho em produtividade de grãos de soja bastante dependente das condições de crescimento; em média, o retorno supera 2000 kg/ha.

Constata-se que a redução causada ao rendimento de grãos pela interferência do papuã é maior em condição de alta produtividade; nessa situação, obtém-se maior ganho decorrente do seu controle.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ALDRICH, R.J. *Weed-crop ecology: principles in weed management*. North Scituate: Breton Publishers, 1984. 465p.
- ALMEIDA, F.S. *A alelopatia e as plantas*. Londrina: IAPAR, 1988. 60p.

- BLANCO, H.G. A importância dos estudos ecológicos nos programas de controle das plantas daninhas. *O Biológico*, São Paulo, v.38, n.10, p.343-350, 1972.
- BLANCO, H.G.; OLIVEIRA, D.A.; ARAUJO, J.B.M.; GRASSI, N. Observações sobre o período em que as plantas daninhas competem com a soja [*Glycine max* (L.) Merr]. *O Biológico*, São Paulo, v.39, n.2, p.31-35, 1973.
- COUSENS, R. A simple model relating yield loss to weed density. *Annals of Applied Biology*, Cambridge, v.107, n.2, p.239-252, 1985,a.
- COUSENS, R. An empirical model relating crop yield to weed and crop density and a statistical comparison with other models. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v.105, n.3, p.513-521, 1985,b.
- COUSENS, R.; MOSS, S.R.; CUSSANS, G.W.; WILSON, B.J. Modeling weed populations in cereals. *Reviews of Weed Science*, Champaign, v.3, p.93-112, 1987.
- FLECK, N.G. Doses reduzidas de herbicidas de pós-emergência para controle de papuã em soja. *Planta Daninha*, Brasília, v.12, n.1, p.21-28, 1994.
- FLECK, N.G.; CANDEMIL, C.R.G. Interferência de plantas daninhas na cultura da soja [*Glycine max* (L.)Merrill]. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.25, n.1, p.27-32, 1995.
- KISSMANN, K.G. *Plantas infestantes e nocivas*. São Paulo: BASF, 1991. v.1. 603p.
- LORENZI, H. *Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais*. 2.ed. Nova Odessa: Plantarum, 1991. 440 p.
- LOTZ, L.A.P.; KROPFF, M.J.; GROENEVELD, R.M.W. The relative leaf cover model tested for practice. In: EWRS SYMPOSIUM QUANTITATIVE APPROACHES IN WEED AND HERBICIDE RESEARCH AND THEIR PRACTICAL APPLICATION, 8, 1993. Braunschweig: EWRS, 1993. *Annals...* p.793-798.
- MARTINS, D. Interferência de capim-marmelada na cultura da soja. *Planta Daninha*, Brasília, v.12, n.2, p.93-99, 1994.
- O'DONOVAN, J.T.; REMY, E.A. DE ST.; O'SULLIVAN, P.A.; DEW, D.A.; SHARMA, A.K. Influence of the relative time of emergence of wild oat (*Avena fatua*) on yield loss of barley (*Hordeum vulgare*) and wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Science*, Champaign, v.33, n.4, p.498-503, 1985.
- PITELLI, R.A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.11, n.129, p.16-27, 1985.
- RADOSEVICH, S.R.; HOLT, J.S. *Weed ecology: implications for vegetation management*. New York: Wiley-Interscience, 1984. 265p.
- STOLLER, E.W.; HARRISON, S.K.; WAX, L.M.; REGNIER, E.E.; NAFZIGER, E.D. Weed interference in soybeans (*Glycine max*). *Reviews of Weed Science*, Champaign, v.3, p.155-181, 1987.

SEÇÃO: RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS

EFEITO DE MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO E SISTEMAS DE CULTURA NA ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO E RENDIMENTO DO MILHO¹

VALDEMAR HERCÍLIO DE FREITAS², ALCIDES DE ROSSO³, CIMÉLIO BAYER⁴, JOÃO MIELNICZUK⁵

RESUMO-Com o objetivo de avaliar a influência de métodos de preparo do solo e sistemas de cultura sobre a absorção de N e rendimento do milho, instalou-se um experimento em 1985 em área da Estação Experimental Agronômica da UFRGS, Eldorado do Sul, RS. O experimento consta de três métodos de preparo do solo (convencional, reduzido e sem preparo), três sistemas de cultura ((aveia(*Avena strigosa*)/milho, aveia+trevo (*Trifolium subterraneum*)/milho e aveia+trevo/ milho+caupi (*Vigna unguiculata*)) e duas doses de N (zero e 120 kg/ha), e foi avaliado nos cinco anos após a sua instalação quanto a absorção de N e rendimento do milho. O rendimento de matéria seca das culturas de cobertura variou entre 2,6 e 6,7 t/ha, e a absorção de N, de 28 a 136 kg/ha. Em 1988, ano de melhor estabelecimento do trevo, esta pastagem continha 80 kg/ha de N e a aveia 56 kg/ha, na consorciação aveia+trevo. O milho cultivado após, sem aplicação de N, produziu 80% do rendimento obtido após a aveia e aplicação de 120 kg/ha de N. Os métodos de preparo do solo não afetaram significativamente o rendimento e a absorção de N pelo milho.

Palavras-chave: Preparos de solo, sistemas de cultura, manejo do solo, nitrogênio, rendimento, milho.

EFFECT OF SOIL TILLAGE METHODS AND CROP SYSTEMS ON NITROGEN ABSORPTION AND CORN YIELD

ABSTRACT - With the objective to evaluate the effect of soil tillage methods and crop systems on N uptake and corn yield, an experiment was established in 1985 at the University Experimental Station in Eldorado do Sul (RS), Brazil. Three soil tillage methods (conventional, reduced and no tillage), three crop systems (oats(*Avena strigosa*)/corn, oats+clover (*Trifolium subterraneum*)/corn, oats+clover/corn+cowpea (*Vigna unguiculata*)) and two levels of nitrogen (0 and 120 kg/ha) were tested. The results of the first five years of N absorption and corn yield are reported in this paper. The dry matter yield of winter cover crops and its N content above ground varied from 2.6 to 6.7 t/ha and 28 to 136 kg/ha, respectively. In 1988, the year of best clover establishment, this pasture had 80 kg/ha of N and the oats 56 kg/ha, in the oats+clover mixture. The corn grown after, without N, produced 80% of the yield obtained after oats with 120 kg/ha of N. The tillage methods did not affect the yield and N absorption by corn.

Key words: Soil tillage, crop systems, soil management, nitrogen and corn yield.

1. Parte das dissertações apresentadas pelo primeiro, segundo e terceiro autores como um dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia da UFRGS.
 2. Eng. Agr., M.Sc. - EPAGRI S.A., Caixa Postal 502, 88010-970 Florianópolis - SC/BRASIL.
 3. Eng. Agr., M.Sc. - EPAGRI S.A., Caixa Postal 44, 89700-000 Concórdia - SC/BRASIL.
 4. Eng. Agr., M.Sc. - Estudante de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS.
 5. Eng. Agr., PhD - Professor Titular do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia da UFRGS, Caixa Postal 776, 90001-970 Porto Alegre - RS/BRASIL.
- Recebido para publicação em 11/09/1995.

INTRODUÇÃO

A capacidade produtiva do solo é resultante da interação de suas características químicas, físicas e biológicas. Em solos sob condição natural, não cultivados, estas características são determinadas pelos fatores de formação do solo. Quando cultivados, ocorrem alterações, sendo estas características e, conseqüentemente, a sua capacidade produtiva, determinadas pelo sistema de manejo utilizado.

Nas regiões tropicais e subtropicais ocorrem chuvas de alta intensidade, flutuações de temperatura e umidade do solo, elevadas taxas de decomposição dos resíduos orgânicos e lixiviação de nutrientes. A atuação conjunta destes fatores determina que os solos destas regiões, quando submetidos a preparos de solo que promovem intenso revolvimento e sistemas de cultura com baixa produção de resíduos vegetais, apresentem rápida degradação de suas características químicas, físicas e biológicas, processo acelerado de erosão e declínio da produtividade (LAL, 1979; SANCHEZ, 1976). Este processo se agrava no Rio Grande do Sul, onde as chuvas de maior erosividade coincidem com as operações de preparo de solo e semeadura das culturas de primavera-verão (COGO et al., 1978).

A recuperação da capacidade produtiva de solos degradados pode ser obtida pela utilização de manejos conservacionistas do solo. Tais sistemas de manejo tem por premissa básica a cobertura do solo nos períodos críticos com plantas ou seus resíduos, o que pode ser atingido através do uso de sistemas de cultura que incluam culturas de cobertura de solo e adoção de métodos de preparo e semeadura que deixem a maior parte dos resíduos culturais sobre a superfície do solo.

A eficiência destes métodos no controle da erosão (LOPES et al., 1987), na melhoria das condições de umidade e temperatura do solo (BRAGAGNOLO e MIELNICZUK, 1990; SALTON, 1991), na estabilidade e qualidade dos agregados (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990; PALADINI e MIELNICZUK, 1991), no aumento dos teores de carbono orgânico (TESTA et al., 1992) e nitrogênio total (TEIXEIRA et al., 1994) e na biomassa e atividade microbiana (CATTELAN e VIDOR, 1990) é amplamente reconhecida. Existe no entanto, pouca informação sobre a sua eficiência no fornecimento de N e recuperação da produtividade do milho ao longo dos anos de sua utilização em solos degradados.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da utilização de três métodos de preparo de solo e três sistemas de cultura sobre a absorção de nitrogênio e rendimento do milho ao longo de cinco anos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, em um solo Podzólico Vermelho-escuro, Paleudult (BRASIL, 1973), com evidências de degradação da estrutura e presença de camada subsuperficial compactada. O solo da área,

localizada na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS, Eldorado do Sul, RS, segundo os métodos de análise de solo descritos em TEDESCO et al. (1985), apresentou pH-H₂O 5,3, necessidade de calcário de 1,0 t/ha, 2% de matéria orgânica, textura argilosa, 9 e 78 mg/l de P e K disponíveis, respectivamente.

Previamente à implantação dos tratamentos procedeu-se a uniformização da área, em abril de 1985, com aplicação de 1,0 t/ha de calcário dolomítico com PRNT de 67%, 120 kg/ha de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo, lavração e gradagem, e semeadura de aveia preta (*Avena strigosa*) em toda a área. Em novembro do mesmo ano, a aveia foi colhida para semente e parte da palha retirada do local. Em dezembro, foram efetuados os preparos de solo e, em janeiro de 1986, foram implantadas as culturas de verão referentes à safra 1985/86.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas para os métodos de preparo e sistemas de cultura. As doses de N foram aplicadas em faixas nos blocos (sub-blocos). Utilizou-se três repetições por tratamento.

As parcelas principais, com 300 m² (15 x 20 m), foram constituídas de três métodos de preparo de solo (convencional, reduzido e sem preparo) correspondendo a diferentes graus de incorporação das culturas de cobertura, sendo aplicados todos os anos antes da semeadura do milho. O preparo convencional consistiu de uma lavração seguida de uma gradagem, sendo todo o resíduo das culturas de cobertura incorporado ao solo. No preparo reduzido utilizou-se escarificador de quatro hastes, espaçadas 35 cm entre si, a uma profundidade de 30 cm. Neste sistema, os resíduos foram semi-incorporados ao solo. No sistema sem preparo, os resíduos permaneceram totalmente na superfície do solo. No preparo reduzido e sem preparo, antes da implantação da cultura do milho, as culturas de inverno foram dessecadas com herbicida a base de glyphosate, aplicando-se 820 g de princípio ativo/ha, e acamadas com grade aberta no sistema sem preparo.

As subparcelas, com 100 m² (5 x 20 m), foram constituídas pelos sistemas de cultura aveia (*Avena strigosa*)/milho, aveia+trevo (*Trifolium subterraneum*)/milho e aveia+trevo/milho+caupi (*Vigna unguiculata*). No primeiro ano da implantação, o sistema aveia+trevo/milho foi constituído de aveia/milho+lابلابل (*Dolichos lابلابل*). Para semeadura das culturas de inverno não foi realizado preparo de solo, sendo feita a lanço sobre os resíduos das culturas de verão em todos os tratamentos.

Nos sub-blocos, com 450 m² (45 x 10 m), foram aplicadas as doses de N (zero e 120 kg/ha). A aplicação foi feita em cobertura na forma de uréia, somente na cultura do milho, 1/3 aos 20-25 dias e 2/3 aos 60-70 dias após a emergência.

A adubação de manutenção de fósforo e potássio, durante o período experimental, foi feita a lanço sobre as culturas de inverno ou na instalação da cultura do milho, com excessão do primeiro ano, quando a aplicação foi feita em linha com máquina semeadora adubadora com disco cortante ondulado e sapata para

incorporação do mesmo. Aplicou-se um total de 352 e 318 kg/ha de P e K, respectivamente, distribuídos no período experimental de cinco anos. Em abril de 1988, realizou-se aplicação superficial de 2,0 t/ha de calcário (PRNT 45%).

A semeadura do milho foi realizada com máquina manual (saraquá), com espaçamento de um metro entre linhas e 20 cm entre as covas, com duas sementes cada, fazendo-se o desbaste para aproximadamente 50.000 plantas/ha.

Aproximadamente 40 dias após a emergência do milho, no sistema aveia+trevo/milho+caupi, foi semeado o caupi entre as linhas de milho em covas distanciadas 50 cm, com três sementes por cova. No primeiro ano, a semeadura do caupi e do lablab foi efetuada logo após a emergência do milho.

As culturas de inverno (aveia e trevo subterrâneo) foram semeadas a lanço após o corte e acamamento dos resíduos culturais de verão com grade totalmente aberta. Utilizou-se em média 60 kg/ha de aveia, quando cultivada isoladamente, e 40 kg/ha quando consorciada com trevo subterrâneo (variedade Trikala). O trevo foi semeado na base de 30 kg/ha de semente peletizada com fosfato de rocha e inoculante específico. Após a semeadura, foi feita nova operação com grade aberta para permitir melhor contato das sementes com o solo.

A implantação das culturas foi efetuada sempre o mais próximo possível da época recomendada, que é o mês de setembro para o milho e abril para a aveia e trevo. Durante o ciclo do milho, foi realizado o controle de invasoras (químico e mecânico) e irrigação por aspersão nos períodos de deficiência hídrica.

As culturas da aveia e do trevo foram avaliadas quanto à produção de matéria seca e absorção de nitrogênio nos anos de 1986, 1987 e 1988 com base em amostras coletadas em área de 1 m² no estádio de floração plena da aveia. O milho foi avaliado nas safras 1986/87 e 1988/89 quanto ao teor de N na folha índice (inferior e oposta a espiga) através da coleta de 10 folhas/tratamento e quanto à produção de matéria seca e absorção de N, através da coleta de 6 plantas/tratamento. Ambas avaliações foram realizadas no florescimento da cultura. O caupi foi amostrado (1 m²/tratamento) no final do seu ciclo, para avaliação de produção de matéria seca e absorção de N, nas safras 1986/87 e 1987/88. As determinações de matéria seca foram feitas com base em material seco em estufa (65°C até peso constante). As amostras foram subamostradas e moídas em moído de facas para análise de N segundo TEDESCO et al. (1985).

O rendimento de grãos do milho foi avaliado nas 5 safras (1985/86 a 1989/90), colhendo uma área útil entre 9 e 24 m², conforme o ano, sendo os resultados expressos em t/ha de grãos com 13% de umidade.

A análise estatística consistiu na análise da variância dos efeitos dos métodos de preparo de solo, sistemas de cultura e aplicação de N mineral. Seguiu-se o delineamento de blocos casualizados, com parcelas subdivididas para os métodos de preparo e sistemas de cultura e de sub-blocos para a aplicação de N mineral,

sendo as diferenças testadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Os coeficientes de determinação (r^2) foram testados pelo t-teste a 1 e 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Matéria seca e N absorvido pelas culturas de inverno

Na Figura 1a, é apresentada a produção de matéria seca produzida pela aveia e trevo em função dos sistemas de cultura e na Figura 2a, em função dos métodos de preparo do solo, ambos na média das doses de N aplicado no milho. Nas Figuras 1b e 2b, constam os resultados referentes à absorção de N pelas mesmas culturas.

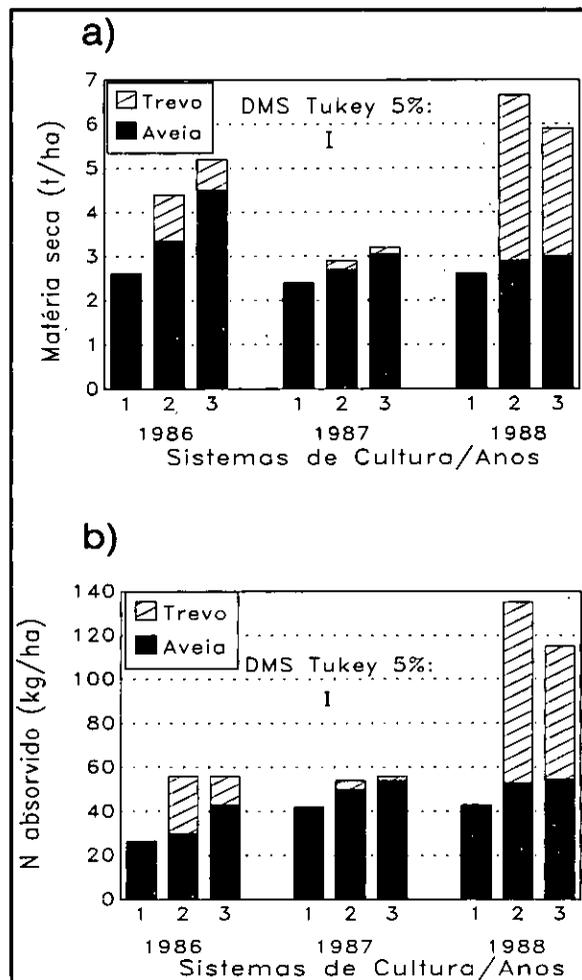


FIGURA 1 - Efeito dos sistemas de cultura (1=aveia/milho, 2=aveia+trevo/milho e 3=aveia+trevo/milho+caupi) sobre: (a) Produção de matéria seca e (b) Nitrogênio absorvido pelas culturas de cobertura de inverno. Médias de três métodos de preparo do solo, duas doses de nitrogênio e três repetições

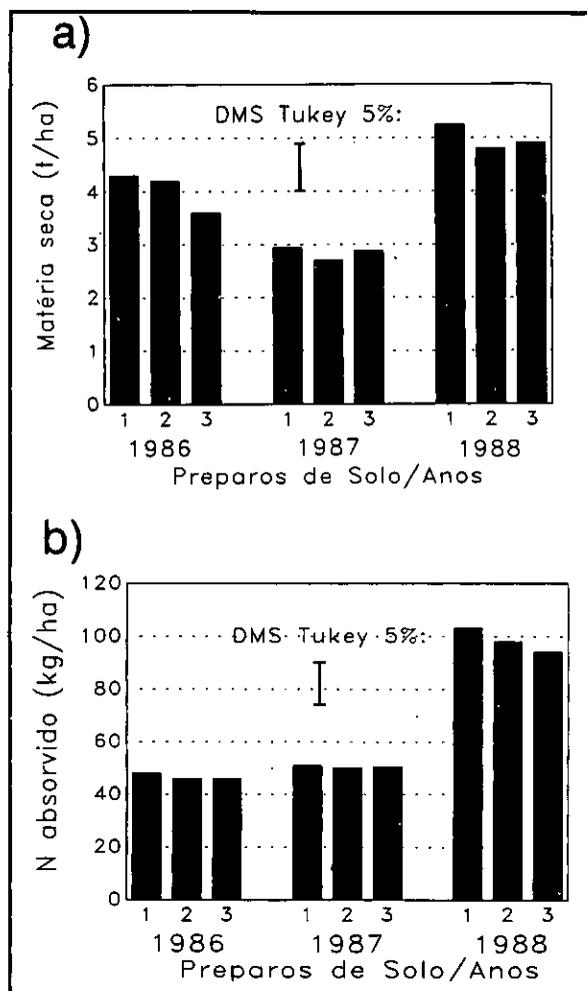


FIGURA 2 - Efeito dos métodos de preparo do solo (1=convencional,2=reduzido e 3=sem preparo) sobre: (a) Produção de matéria seca e (b) Nitrogênio absorvido pelas culturas de cobertura de inverno. Médias de três sistemas de cultura, duas doses de nitrogênio e três repetições

Em relação aos sistemas de cultura, a produção total de matéria seca variou entre 2,6 t/ha no tratamento constituído de aveia, em 1986, e 6,7 t/ha no tratamento com aveia+trevo, em 1988. O N contido na biomassa seguiu a mesma tendência da matéria seca, variando de 28 a 136 kg/ha. Os valores, tanto para matéria seca como para N absorvido estão abaixo dos relatados por MEDEIROS et al. (1987), MERTEN e MIELNICZUK (1992) e DERPSCH et al. (1985).

A contribuição das culturas de inverno, juntamente com a das culturas de verão, em relação a cobertura do solo, adição de resíduos vegetais, incorporando carbono e nitrogênio ao sistema, bem como reciclando os demais nutrientes é fundamental quanto ao entendimento dos efeitos do manejo do solo sobre a recuperação de áreas degradadas. No presente trabalho, as quantidades

de N contido na biomassa das culturas de inverno serão utilizadas para explicar os rendimentos do milho.

Os métodos de preparo de solo utilizados na implantação da cultura do milho não afetaram a produção de biomassa e a absorção de N pelas culturas de inverno (Figura 2). MERTEN e MIELNICZUK (1990) verificaram maior absorção de N pela aveia no preparo convencional precedendo a semeadura das culturas de inverno, em relação ao plantio direto, justificando este aumento pela maior oxidação da matéria orgânica e conseqüente liberação de N devido ao revolvimento do solo. Como na presente pesquisa o revolvimento do solo ocorreu em torno de oito meses antes da semeadura da aveia, os efeitos decorrentes desta prática provavelmente já cessaram no solo.

Matéria seca e N absorvido pelas culturas de verão

A produção de matéria seca e absorção de N pelo caupi consorciado com o milho variaram entre 0,9 e 2,7 t/ha e 20 e 73 kg/ha, respectivamente (Tabela 1). Estes valores estão abaixo daqueles relatados por NUTMAN (1976) para o caupi, que pode fixar entre 73 e 354 kg/ha de N. O rendimento de matéria seca e absorção de N pelo caupi foi semelhante, nos dois anos, sendo afetado somente pela aplicação de N no milho, tendo seu desenvolvimento reduzido provavelmente por sombreamento e ou competição por nutrientes, devido ao maior desenvolvimento do milho com a aplicação de N.

Por se tratar da consorciação milho+caupi, a média do rendimento de matéria seca e N absorvido pelo caupi nos três preparos de solo é aditiva aos valores de matéria seca e N absorvido pelo milho neste sistema. Isto significa aproximadamente 25 e 60 kg/ha de N a mais no sistema aveia+trevo/milho+caupi em relação ao aveia+trevo/milho, nos tratamentos com e sem N. Parte deste N está contribuindo para o aumento no rendimento e absorção de N pela aveia subsequente, sendo o restante imobilizado durante a decomposição dos resíduos do milho, de elevada relação C/N, acumulando no solo como constituinte da matéria orgânica.

As Tabelas 2 e 3, apresentam os rendimentos de matéria seca, absorção de N e N na folha índice do milho em relação aos sistemas de culturas e métodos de preparo de solo.

A produção de matéria seca e a absorção de N pelo milho foram maiores em 1988/89 do que em 1986/87, em ambas as doses de N aplicado. Em 1986/87, os sistemas de cultura não afetaram significativamente a produção de matéria seca e absorção de N pelo milho, variando a matéria seca entre 3,0 e 3,6 t/ha, e de 5,0 a 5,4 t/ha, sem e com N, respectivamente. O N contido na biomassa variou entre 26 e 32 kg/ha e de 70 a 80 kg/ha, respectivamente. Em 1988/89, a produção de matéria seca e N absorvido pelo milho sem aplicação de N foram superiores nos sistemas aveia+trevo/milho (7,2 t/ha e 78 kg/ha) e aveia+trevo/milho+caupi (8,0 t/ha e 81 kg/ha), comparados ao sistema aveia/milho (4,5 t/ha e 42 kg/ha). A maior diferença entre os sistemas de cultura

quanto à produção de matéria seca e absorção de N pelo milho em 1988/89 está relacionada com o melhor estabelecimento do trevo em 1988, comparado ao de 1986 (Figura 1), o qual propiciou além da maior quantidade de resíduos e N, provavelmente resíduos com menor relação C/N, favorecendo a liberação do nutriente pela mineralização para a cultura do milho subsequente (HEINZMANN, 1985).

O teor de N na folha índice foi afetado pelos sistemas de cultura somente na safra 1988/89 e quando não foi aplicado N, sendo superior no sistema aveia+trevo/

milho e inferior no aveia/milho, indicando o efeito dos sistemas na disponibilidade de N para o milho. Na safra 1986/87, quando o estabelecimento do trevo anterior ao milho não foi adequado (Figura 1), não houve diferenças entre os sistemas quanto ao teor de N na folha índice do milho. Segundo TESTA (1989), os teores foram baixos nos tratamentos sem N, e na faixa de suficiência com a aplicação deste nutriente.

Os preparos de solo não afetaram significativamente o rendimento de matéria seca e absorção de N pelo milho, havendo apenas tendência de menor produção

TABELA 1 – Rendimento de matéria seca e N absorvido pelo caupi em consorciação com o milho no sistema aveia+trevo/ milho+caupi em três métodos de preparo do solo e duas doses de nitrogênio aplicados na cultura do milho. Média de três repetições

Preparos de Solo	Safras			
	1986/87		1987/88	
	0 N	120 N	0 N	120 N
	-matéria seca (t/ha)-			
Convencional	2,6	1,1	2,7	1,3
Reduzido	2,3	1,1	2,7	0,9
Sem preparo	2,5	1,2	2,5	1,0
Média	2,5a	1,1b	2,6a	1,1b
	-N absorvido (kg/ha)-			
Convencional	64	23	73	28
Reduzido	58	23	71	20
Sem preparo	56	31	64	24
Média	59a	26b	66a	24b

Números seguidos de letras iguais na mesma linha não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

TABELA 2 – Rendimento de matéria seca, N absorvido e N na folha índice do milho em três sistemas de cultura e duas doses de nitrogênio. Média de três métodos de preparo do solo e três repetições

Sistemas de culturas	Safras			
	1986/87		1988/89	
	0N	120N	0N	120N
	-matéria seca (t/ha)-			
Aveia/milho	3,0 a	5,0 a	4,5 b	8,6 a
Aveia+trevo/milho	3,6 a	5,1 a	7,2 a	10,0 a
Aveia+trevo/milho+caupi	3,4 a	5,4 a	8,0 a	9,6 a
	-N absorvido (kg/ha)-			
Aveia/milho	26 a	80 a	42 b	134 b
Aveia+trevo/milho	32 a	70 a	78 a	169 a
Aveia+trevo/milho+caupi	30 a	78 a	81 a	168 a
	-N folha índice (%)			
Aveia/milho	1,1 a	2,4 a	1,3 b	2,4 a
Aveia+trevo/milho	1,2 a	2,4 a	1,6 a	2,5 a
Aveia+trevo/milho+caupi	1,1 a	2,4 a	1,5 ab	2,4 a

Números seguidos de letras iguais na mesma coluna não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

de matéria seca e de N absorvido no sistema sem preparo, comparado ao convencional e reduzido. Esta tendência deve estar relacionada à menor taxa de mineralização dos resíduos vegetais e da matéria orgânica do

solo e/ou, maior imobilização do N no sistema sem revolvimento. O teor de N na folha índice do milho não foi afetado pelos métodos de preparo sob nenhuma condição.

TABELA 3 – Rendimento de matéria seca, N absorvido e N na folha índice do milho em três métodos de preparo do solo e duas doses de nitrogênio aplicados na cultura do milho. Média de três sistemas de culturas e três repetições. EEA/UFRGS

Preparos de Solo	Safras			
	1986/87		1988/89	
	0N	120N	0N	120N
	-matéria seca (t/ha)-			
Convencional	3,9	5,7	6,6	9,7
Reduzido	3,4	5,4	7,0	10,1
Sem preparo	2,7	4,3	5,8	8,3
Média	3,3 b	5,1 a	6,5 b	9,4 a
	-N absorvido (kg/ha)-			
Convencional	31	84	70	173
Reduzido	31	81	68	170
Sem preparo	26	64	62	127
Média	29 b	76 a	67 b	157 a
	-N folha índice (%)-			
Convencional	1,1	2,3	1,5	2,6
Reduzido	1,1	2,4	1,5	2,4
Sem preparo	1,2	2,5	1,5	2,5
Média	1,1 b	2,4 a	1,5 b	2,5 a

Médias seguidas de letras iguais na mesma linha, por safra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Rendimento do milho

Os rendimentos do milho obtidos nos cinco anos em função dos preparos de solo e dos sistemas de cultura encontram-se na Figura 3.

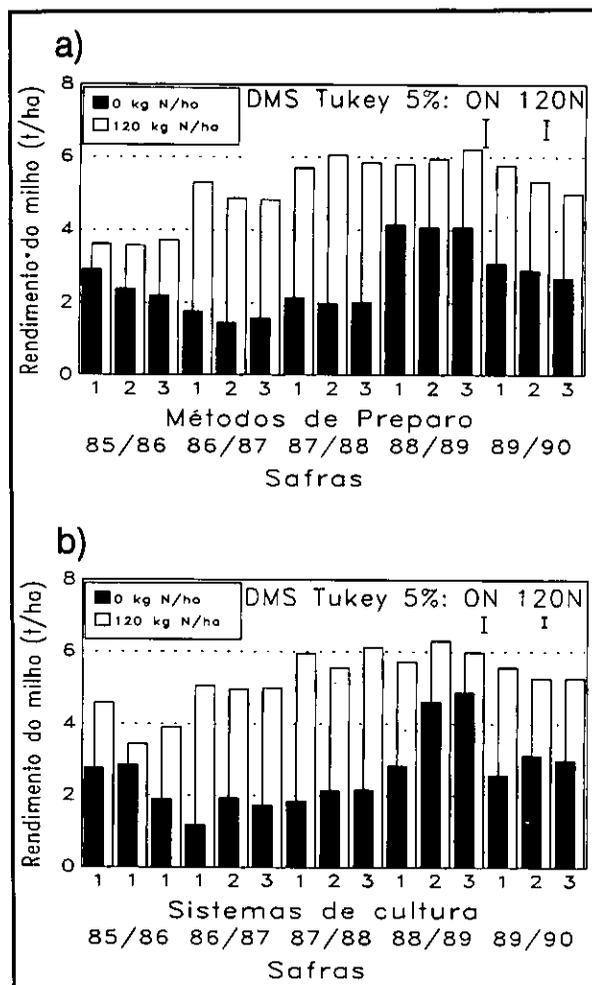


FIGURA 3 - Rendimento de grãos de milho em: a) três métodos de preparo de solo (1=convencional, 2=reduzido e 3=sem preparo) na média de três sistemas de cultura, e b) três sistemas de cultura (1=aveia/milho, 2=aveia+trevo/milho e 3=aveia+trevo/milho+caupi) na média de três métodos de preparo do solo, com e sem aplicação de N mineral. Médias de três repetições

Os métodos de preparo de solo não afetaram o rendimento do milho em nenhuma das safras, sistemas de cultura e doses de N. Apenas observou-se uma tendência de menor rendimento no método sem preparo, a semelhança do que ocorreu com a matéria seca e absorção de N. Estes resultados mostram que neste solo e sob as condições climáticas durante o período experimental de cinco anos, foi indiferente, quanto ao rendi-

mento do milho, incorporar, semi-incorporar ou deixar sobre a superfície os resíduos das culturas de cobertura de inverno. MARTIN e TOUCHTON (1983) relatam a mesma eficiência de suprimento de N por leguminosas com resíduos incorporados ou deixados sobre a superfície do solo. Segundo BLEVINS et al. (1983) a menor absorção de N e rendimento do milho em plantio direto comparado ao preparo convencional ocorre no período inicial de implantação do sistema, sendo resultante da menor mineralização do N orgânico. Com o passar dos anos ocorre um aumento gradual do rendimento e do N absorvido, conseqüência de um incremento do conteúdo de N do solo, enquanto que no preparo convencional, ocorre o contrário, ou seja, redução da disponibilidade de N decorrente da diminuição do conteúdo de N do solo. Nas primeiras cinco safras não foi possível detectar estas tendências nos respectivos métodos de preparo.

O efeito dos sistemas de cultura foi dependente do ano e da aplicação ou não de N no milho. Quando foi aplicado N, os sistemas de cultura não afetaram o rendimento do milho em nenhuma das safras, com exceção de 1985/86, em que a cultura precedente foi a aveia e as culturas consorciadas com o milho (lablab e caupi) foram implantadas logo após a emergência do milho, quando observou-se efeito negativo sobre o rendimento do milho, provavelmente devido à competição destas culturas com o milho. Nos anos seguintes, em que a semeadura do caupi foi efetuada 40 dias após a emergência do milho, não foi observado efeito negativo desta prática.

Sem aplicação de N, nas safras 1986/87 e 1988/89, o rendimento do milho foi maior quando cultivado após aveia+trevo em relação a aveia, chegando esta diferença a 2 t/ha em 1988/89 (Figura 3b), quando a absorção de N pelo trevo também foi mais alta (Figura 1b). Em experimento próximo a este, TESTA (1989) obteve rendimentos superiores em 3,0 t/ha e 4,7 t/ha de milho após aveia+trevo e gorga+trevo em relação a aveia, respectivamente.

Na safra 1988/89, a introdução do trevo juntamente com a aveia como cultura de cobertura, proporcionou no tratamento sem N, aproximadamente 80% do rendimento de grãos do milho obtido no tratamento com aveia e 120 kg/ha de N. Nestas condições, pequenas aplicações complementares de N seriam suficientes para atingir os máximos rendimentos, representando menor necessidade de capital para aquisição de adubos nitrogenados e maior lucro do agricultor. Neste sentido, a interpretação dos resultados obtidos por PONS et al. (1983), com milho e doses de N após aveia e ervilhaca, indicam que a aplicação de 55 kg/ha de N no milho após ervilhaca seriam suficientes para atingir o máximo retorno econômico, enquanto que para o milho após aveia seriam necessários 105 kg/ha, tornando o lucro

menor neste sistema.

Na Figura 4, são apresentadas as relações entre a quantidade de N absorvido (Figura 4a) e o teor de N na folha índice (Figura 4b) e o rendimento do milho. A significância dos coeficientes de determinação indica a dependência do rendimento do milho em relação a disponibilidade de N. As diferenças das curvas entre os anos são resultantes das diferentes condições climáticas anuais, variação na condução do experimento e ou diferentes cultivares utilizados.

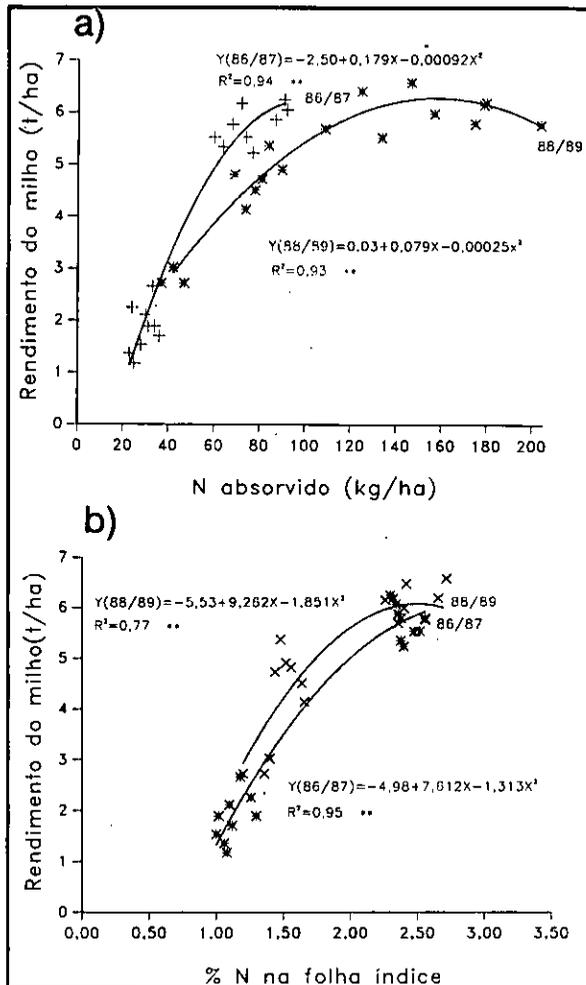


FIGURA 4 – Relações entre o rendimento de grãos de milho e a) N absorvido e b) teor de N na folha índice, do milho. Pontos no gráfico são valores médios de três repetições. * e ** indica significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente

Em relação a recuperação da capacidade produtiva do solo, pode-se observar na Figura 3, que está ocorrendo uma tendência de aumento no rendimento de grãos do milho com o passar dos anos. Este aumento observado na produtividade do milho é provavelmente decorrente da melhoria nas condições físicas, químicas e biológicas do solo, resultantes das adições periódicas de material orgânico ao solo. Entretanto, a disponibilidade de N deve ser o fator preponderante, pois na dose de 120 kg/ha de N não se observa uma tendência clara de aumento no rendimento com o passar dos anos, sendo que as diferenças observadas são devido as condições climáticas durante o ciclo do milho e, possivelmente, pelos diferentes cultivares de milho utilizados.

Para uma diferenciação entre os métodos de preparo do solo e sistemas de cultura quanto aos seus efeitos sobre o rendimento do milho, decorrentes das alterações físicas, químicas e biológicas do solo, é necessário um maior número de anos para que seus efeitos se manifestem com maior magnitude.

CONCLUSÃO

Os três métodos de preparo de solo apresentaram efeitos semelhantes sobre o suprimento de N e rendimento do milho, enquanto que estes parâmetros foram positivamente afetados pela presença de leguminosas nos sistemas de cultura.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- BLEVINS, R. L.; THOMAS, M. S.; FRYE, W. W.; CORNELIUS, P. L. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.3, p.135-146, 1983.
- BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito sequências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, p.369-374, 1990.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Serviço Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. *Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul*. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, p.99-105, 1990.
- CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, n.133-142, 1990.
- COGO, N. P.; DREWS, C. R.; GIANELLO, C. Índice de erosividade das chuvas dos municípios de Guafba, Ijuí e Passo Fundo, no Estado do Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. *Anais...* Passo Fundo: CNPT, 1978. p.145-152.

- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, p.761-73, 1985.
- HEINZMANN, F. X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, p.1021-30, 1985.
- LAL, R. Modification of soil fertility characteristics by management of soil physical properties. In: _____; GREENLAND, D. J., (Eds). **Soil physical properties and crop production in the tropics**. New York: J. Willey, 1979. Cap.7, p.397-405.
- LOPES, P. R. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p.71-75, 1987.
- MARTIN, G. W.; TOUCHTON, J. T. Legumes as a cover crop and source of nitrogen. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.38, p.214-216, 1983.
- MEDEIROS, J. C.; MIELNICZUK, J.; PEDÓ, F. Sistemas de culturas adaptadas a produtividade, recuperação e conservação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p.199-204, 1987.
- MERTEN, G. H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo roxo sob dois sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.369-374, 1992.
- NUTMAN, P. S. IBP field experiments on nitrogen fixation by nodulated legumes. In: NUTMAN, R. S., (Ed.) **Symbiotic nitrogen fixation in plants, IBP synthesis**. Cambridge: Cambridge University, 1976. v.7, p.211-217.
- PALADINI, F. L. dos S.; MIELNICZUK, J., Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.135-140, 1991.
- PONS, A. L.; DHEIN, R. A.; NUSS, C. N.; ZAMBA, J. E. G.; COELHO, C. D.; ANTONINI, A. Efeito de quatro níveis de nitrogênio sobre o rendimento de grãos de milho cultivado em sucessão a diversas espécies de inverno - 1982/83. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 28., 1983, Porto Alegre. **Ata...** Porto Alegre, IPAGRO; EMATER-RS, 1983. p.76-78.
- SANCHEZ, P. A. Nitrogen. In: _____. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: J. Wiley, 1976. Cap.6, p.184-220.
- SALTON, J. C. **Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade do solo**. Porto Alegre, 1991. 91 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1991.
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1985. 188 p. (Boletim Técnico, 5).
- TESTA, V. M. **Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro, nutrição e rendimento do milho**. Porto Alegre, 1989. 134p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1989.
- TESTA, V. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico vermelho-escuro afetadas por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.107-114, 1992.
- TEIXEIRA, L. A. J.; TESTA, V. M.; MIELNICZUK, J., Nitrogênio no solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.207-214, 1994.

MODOS DE ADUBAÇÃO, ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E RENDIMENTO DE MILHO EM DIFERENTES PREPAROS DE SOLO¹

DIRCEU KLEPKER², IBANOR ANGHINONI³

RESUMO- No segundo ano (1989) de um ensaio a campo, num solo podzólico vermelho-escuro, em Eldorado do Sul (RS), foram avaliados os efeitos de preparos do solo e modos de adubação na absorção de nutrientes e no rendimento de milho. Os tratamentos, com três repetições, consistiram de parcelas com os métodos de preparo convencional, em faixas e sem preparo, e subparcelas com os modos de adubação a lanço, na faixa e na linha. A adubação consistiu na aplicação de superfosfato triplo (80 kg de P_2O_5 /ha=35 kg de P/ha) e cloreto de potássio (40 kg de K_2O /ha=33 kg de K/ha). O N foi aplicado em cobertura, em três doses de 50 kg de N/ha, na forma de uréia. As linhas de semeadura foram estabelecidas no mesmo local daquelas do primeiro ano de cultivo. O teor e/ou a quantidade de fósforo no tecido de milho, nos diferentes estágios de crescimento, foram influenciados pelos modos de adubação e/ou métodos de preparo do solo, os quais, no entanto, não afetaram a absorção de potássio. O crescimento do milho, o rendimento e o conteúdo de fósforo nos grãos não foram afetados pelos modos de adubação e métodos de preparo do solo.

Palavras-chave: preparo do solo, modo de adubação, nutrientes, milho

FERTILIZER PLACEMENT, NUTRIENTS ABSORPTION AND CORN YIELD IN DIFFERENT SOIL TILLAGE SYSTEMS

ABSTRACT- Effects of fertilizer placement and soil tillage systems in nutrient uptake and corn yield were evaluated in the second year (1989) of a field experiment in a Rhodic Paleudult soil. The soil tillage systems, in the main plots, were conventional, strip, and no tillage; and fertilizer placements, in the plots, were broadcast, strip and row, with three repetitions. Fertilizers were applied as triple superphosphate (80 kg of P_2O_5 /ha = 35 kg P/ha) and potassium chloride (40 kg of K_2O /ha=33 kg de K/ha). Phosphorus content in the plant tissue at different corn growth stages was affected by fertilizer placement and/or soil tillage systems; however, potassium uptake was not affected. Corn growth and grain yield and nutrient content were not influenced by treatments of fertilizer placement or soil tillage.

Key words: soil tillage, fertilizer placement, nutrients, corn

INTRODUÇÃO

O sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos atualmente em uso, no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, provém de dados de pesquisas gerados em preparos convencionais de solo (COMISSÃO, 1995). Em função disto, devem ser efetuados estudos no sentido de avaliar a eficiência das recomendações atuais em sistemas de manejo envolvendo pouca ou nenhuma mobilização do solo.

A eficiência da adubação fosfatada depende, dentre outras variáveis, do nível de fertilidade do solo, da dose do adubo aplicado, do volume de solo fertilizado e da distribuição de raízes no perfil do solo. Diferentes distribuições de fósforo no perfil, resultantes dos modos de aplicação de superfosfato triplo, afetam a distribuição de raízes e o crescimento da parte aérea do milho (KLEPKER e ANGHINONI, 1993). Estes efeitos podem variar também com o estágio de crescimento da planta. Adubações em pequenos volumes de solo (5 a 10 %) tendem a favorecer a absorção de nutrientes nos estágios iniciais de crescimento da planta, quando a taxa

de absorção é maior (MENGEL e BARBER, 1974,a). Por outro lado, com o crescimento das plantas, ocorreria uma maior absorção se uma maior porção do sistema radicular fosse suprida com o nutriente. Nesse contexto, uma maior absorção de nutrientes na fase inicial de crescimento das plantas, decorrente da adubação de pequenos volumes de solo, poderá ser contrabalançada por uma maior absorção na fase posterior, decorrente da adubação em maiores volumes de solo (BARBER, 1984).

Em condições de campo, onde os métodos de preparo e modos de adubação determinam condições físicas, químicas e biológicas variadas, com ciclos alternados de umedecimento e secagem do solo, o crescimento das plantas será uma resposta a todos estes fatores, que interagem com a capacidade da planta em se aclimatar a condições específicas.

No presente trabalho, objetivou-se avaliar a influência de modos de aplicação de adubos fosfatado e potássico na absorção de nutrientes em diversos estágios da cultura e no rendimento de milho, em diferentes métodos de preparo do solo.

1. Parte da dissertação do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFRGS, Porto Alegre - RS/BRASIL.
2. Eng. Agr., M.Sc. - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Ciência do Solo, PPGA/UFRGS, Caixa Postal 776, 90001-970 Porto Alegre - RS/BRASIL.
3. Eng. Agr., Ph.D. - Prof. Adjunto, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia da UFRGS, Caixa Postal 776, 90001-970 Porto Alegre - RS/BRASIL.
Bolsista do CNPq.
Recebido para publicação em 19/09/1995.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho refere-se aos dados coletados no segundo ano de um ensaio instalado em 1988, na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Eldorado do Sul-RS. O solo utilizado, franco-argiloso de origem granítica, classificado como podzólico vermelho-escuro (ESPIRITO SANTO, 1988), continha 26 % de argila, 3 % de matéria orgânica e, 2,5 e 132 mg/kg de solo, respectivamente, de fósforo e potássio (Mehlich-1), na camada de 0-15 cm, por ocasião da instalação dos tratamentos. As análises do solo foram efetuadas conforme metodologia descrita em TEDESCO et al. (1985). O solo, no local do ensaio, esteve na condição de pastagem nativa até maio de 1988, quando foi aplicado calcário dolomítico (3,4 t/ha - PRNT 100 %), o qual foi incorporado através de uma aração e duas gradagens. De julho a setembro daquele ano foi cultivada aveia forrageira (*Avena strigosa* S.). Os tratamentos de preparo do solo e modos de aplicação de superfosfato triplo e cloreto de potássio foram aplicados em outubro de 1988. No primeiro ano do ensaio, a adubação, baseada na análise do solo referente a camada de 0-15 cm, consistiu na aplicação de 80 kg de P_2O_5 /ha=35 kg de P/ha (superfosfato triplo), 60 kg de K_2O /ha=50 kg de K/ha (cloreto de potássio) e 70 kg de N/ha (uréia). Após a colheita do milho, foi cultivada novamente aveia forrageira (maio a agosto de 1989). Detalhes e resultados obtidos no primeiro ano do ensaio encontram-se em MODEL e ANGHINONI (1992).

No presente trabalho, o delineamento experimental foi blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos, arranjados em parcelas subdivididas, consistiram de três métodos de preparo do solo, nas parcelas, e três modos de aplicação de fósforo e potássio, nas subparcelas. Os métodos de preparo do solo, convencional, em faixas e sem preparo, iniciados logo após a dessecação da aveia (agosto/89), foram os mesmos do primeiro ano de cultivo, tendo sido efetuados imediatamente antes da aplicação de fósforo e potássio (lanço, faixa e linha).

O preparo convencional consistiu de uma aração (0-15 cm) e de uma gradagem. O preparo em faixas consistiu na mobilização de uma faixa do solo de 20 cm de largura, na linha de semeadura, até 15 cm de profundidade. No método sem preparo efetuou-se a abertura de um sulco com 5 cm de largura, até 10 cm de profundidade, para simular a linha de semeadura e facilitar a adubação. A adubação a lanço consistiu na apli-

cação de P e K em toda a superfície do solo na subparcela. No preparo convencional, a incorporação do adubo foi feita através de uma gradagem, enquanto que no preparo em faixas e sem preparo, o adubo permaneceu na superfície do solo. Na adubação em faixa, aplicou-se o adubo numa faixa de 20 cm de largura na linha de semeadura, o qual foi incorporado, com sacho, nos preparos convencional e em faixa. No método sem preparo, o adubo permaneceu na superfície do solo. No modo de adubação em linha, os adubos foram aplicados no sulco de semeadura, até 8-10 cm de profundidade.

A adubação, baseada na análise do solo no método de preparo convencional e modo de adubação a lanço, consistiu na aplicação de 80 kg de P_2O_5 /ha=35 kg de P/ha (superfosfato triplo) e 40 kg de K_2O /ha=33 kg de K/ha (cloreto de potássio). O nitrogênio foi aplicado em cobertura, em três doses de 50 kg N/ha, aos 25, 61 e 67 dias após a emergência do milho. Fizeram-se duas irrigações durante o cultivo, respectivamente após a primeira e a última aplicação de uréia em cobertura.

As linhas de semeadura do segundo ano foram estabelecidas no mesmo local daquelas do primeiro ano de cultivo. O espaçamento entre linhas foi de um metro, resultando, após o desbaste, numa população aproximada de 50 000 plantas/ha.

Foram efetuadas três amostragens de plantas, aos 35, 59 e 97 dias após a emergência do milho, colhendo-se respectivamente, dez, seis e quatro plantas por subparcela, com o intuito de avaliar a produção de matéria seca e absorção de fósforo e potássio. O rendimento de grãos de milho foi avaliado através da amostragem de 24 m²/subparcela, corrigindo-se a umidade para 13 %. As análises de P e K no tecido foram efetuadas conforme metodologia descrita em TEDESCO et al. (1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As diferentes distribuições de raízes, em plantas individuais no período de florescimento do milho, submetidas aos diferentes modos de adubação e métodos de preparo do solo, relatadas por KLEPKER e ANGHINONI (1993), não se refletiram no crescimento da parte aérea da população das plantas nas parcelas (Tabela 1), uma vez que a produção de matéria seca da parte aérea aos 35, 59 e 97 dias não foi afetada por esses tratamentos.

TABELA 1 – Rendimento de matéria seca de milho aos 35, 59 e 97 dias após a emergência, em função de métodos de preparo do solo e modos de aplicação de fósforo e potássio. EEA/UFRGS - segundo ano do ensaio

Dias após emergência	Preparo ⁽¹⁾ do solo	Modo de aplicação de P e K			Média
		Lanço	Faixa	Linha	
				Mg/ha	
35	PC	0,44	0,44	0,47	0,45
	PF	0,35	0,37	0,39	0,37
	SP	0,32	0,37	0,35	0,34
	Média	0,37	0,39	0,40	
59	PC	4,17	3,92	4,30	4,13
	PF	3,65	3,91	3,64	3,74
	SP	3,75	3,41	3,60	3,58
	Média	3,86	3,74	3,85	
97	PC	14,86	14,57	14,60	14,74
	PF	15,32	15,63	13,91	14,95
	SP	15,48	14,13	15,46	15,02
	Média	15,22	14,77	14,66	

- ns (P < 0,05)

- Ausência de letras significa inexistência de diferença estatística

⁽¹⁾- PC - preparo convencional

PF - preparo em faixas

SP - sem preparo do solo

Diferenças no teor de fósforo na parte aérea do milho aos 35 e 59 dias após a emergência para diferentes métodos de preparo do solo (Tabela 2) resultaram de algumas tendências no crescimento do milho (Tabela 1). Um crescimento inicial mais rápido foi observado no preparo convencional; isto pode ser atribuído, em parte, à maior mineralização do nitrogênio neste sistema. Sistemas menos mobilizadores de solo, como cultivo mínimo (preparo em faixa) e plantio direto, tendem a imobilizar nitrogênio na biomassa microbiana do solo, mesmo aquele proveniente da adubação (SALET, 1994). Esta imobilização do nitrogênio pela microbiota do solo tende a ser mais intensa na fase inicial de decomposição dos resíduos e no início da instalação dos sistemas de cultivo que não envolvem o revolvimento do solo. Embora os teores de fósforo no tecido tenham sido menores no preparo convencional (efeito de diluição), o maior crescimento da parte aérea tende a proporcionar uma maior quantidade do nutriente acumulada na

planta (Tabela 3). Aliado a isto, temperaturas mais baixas, principalmente no sistema plantio direto, podem reduzir o crescimento de raízes e de plantas de culturas implantadas no início da época de semeadura (BARBER et al., 1988). Por outro lado, durante o desenvolvimento das plantas, a maior umidade disponível e a menor amplitude térmica, observada em solos submetidos ao sistema plantio direto (BRAGAGNOLO e MIELNICZUK, 1990), tendem a favorecer a cultura.

O crescimento inicial maior no preparo convencional foi compensado nos estágios de crescimento posteriores nos sistemas com menor revolvimento do solo. A adubação nitrogenada em cobertura, aos 25, 61 e 67 dias após a emergência do milho, pode ter proporcionado um crescimento satisfatório em todos os sistemas. Isto resultou em produções de matéria seca semelhantes (Tabela 1) e menor diminuição da concentração de fósforo na parte aérea no preparo convencional em relação aos demais sistemas (Tabela 2).

TABELA 2 – Teor de fósforo no tecido de milho aos 35, 59 e 97 dias após a emergência, em função de métodos de preparo do solo e modos de aplicação de fósforo e potássio. EEA/UFRGS - segundo ano do ensaio

Dias após emergência	Preparo ⁽¹⁾ do solo	Modo de aplicação de P e K			Média
		Lanço	Faixa	Linha	
				%	
35	PC	0,33	0,31	0,31	0,32 b
	PF	0,32	0,34	0,33	0,33 ab
	SP	0,33	0,36	0,34	0,34 a
	Média	0,32	0,34	0,33	
59	PC	0,22	0,21	0,21	0,21 b
	PF	0,21	0,21	0,22	0,21 b
	SP	0,22	0,24	0,22	0,23 a
	Média	0,22	0,22	0,22	
97	PC	0,17	0,15	0,15	0,16
	PF	0,16	0,14	0,14	0,14
	SP	0,16	0,14	0,13	0,14
	Média	0,16 a	0,14 b	0,14 b	

- Valores seguidos por letras iguais, dentro de cada período, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.
 - Ausência de letras significa inexistência de diferença estatística

⁽¹⁾ - PC - preparo convencional
 PF - preparo em faixas
 SP - sem preparo do solo

TABELA 3 – Quantidade de fósforo (P) acumulado pelo milho até 35, 59 e 97 dias após a emergência, em função de métodos de preparo do solo e modos de aplicação de fósforo e potássio. EEA/UFRGS - segundo ano do ensaio

Dias após emergência	Preparo ⁽¹⁾ do solo	Modo de aplicação de P e K			Média
		Lanço	Faixa	Linha	
				kg/ha	
35	PC	1,45	1,37	1,44	1,42
	PF	1,10	1,33	1,28	1,21
	SP	1,04	1,26	1,19	1,19
	Média	1,20	1,32	1,31	
59	PC	9,21	8,12	9,12	8,82
	PF	7,84	8,28	7,89	8,00
	SP	8,39	8,27	7,85	8,17
	Média	8,48	8,23	8,29	
97	PC	24,9	22,4	21,8	23,0
	PF	24,5	21,2	19,0	21,6
	SP	24,5	19,3	20,6	21,5
	Média	24,6 a	21,0 b	20,5 b	

- Valores seguidos por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.
 - Ausência de letras significa inexistência de diferença estatística

⁽¹⁾ - PC - preparo convencional
 PF - preparo em faixas
 SP - sem preparo do solo

A absorção de fósforo foi afetada pelo modo de adubação (Tabelas 2 e 3). Tanto o teor de P no tecido (Tabela 2) como a quantidade de P acumulada até 97 dias após a emergência do milho (Tabela 3), foram maiores quando da adubação a lanço. Isto pode ser atribuído a uma melhor distribuição do fósforo e das raízes no perfil do solo, conforme observado no presente cultivo (KLEPKER e ANGHINONI, 1993). O suprimento de fósforo a uma porção do sistema radicular apenas, resultante da aplicação do adubo a pequenos volumes do solo, pode levar a uma menor eficiência de absorção e utilização do nutriente pela planta em função da organização do sistema vascular do milho, o qual apresenta rotas específicas entre as raízes e a parte aérea (ROBERTSON et al., 1966; STRYKER et al., 1974).

Vantagens da localização de pequenas doses de fosfato solúvel têm sido relatadas em solos com alta capacidade de retenção de fósforo (FOX e KANG, 1978), e demonstradas, em ensaios de curta duração, em vasos, quer através de resultados experimentais ou pela utilização de modelos mecanísticos de predição da absorção do nutriente (ANGHINONI e BARBER, 1980; ZHANG e BARBER, 1992). No campo, no entanto, quando a cultura do milho é submetida a um período mais longo de crescimento, as vantagens da adubação localizada, observadas em vasos, tendem a diminuir (ANGHINONI, 1992). Estas vantagens podem ainda se inverter, conforme constatado no presente trabalho (Tabelas 2 e 3). No campo, um fator importante para as plantas é a disponibilidade de água, pois a demanda evapotranspirativa do milho é alta. A alta densidade superficial (0-5 cm) de raízes no solo e as adubações

localizadas (KLEPKER e ANGHINONI, 1993), provocam um secamento rápido do solo nesta camada, restringindo o processo difusivo de fósforo no solo em períodos de alta demanda hídrica.

Diferentes localizações de potássio no solo, quer pelos modos de adubação quer pelos métodos de preparo do solo, não resultam, normalmente, em diferenças na sua absorção e no crescimento das plantas (BARBER, 1984). Isto também ocorreu no presente trabalho, tanto na absorção de potássio (Tabelas 4 e 5) como no rendimento de grãos (Tabela 6). A boa disponibilidade original de potássio no solo (132 mg K/kg), a sua grande mobilidade no solo, a sua boa redistribuição na planta e a sua reincorporação ao solo através da lavagem da parte aérea das plantas (KLEPKER e ANGHINONI, 1995) justificam tal comportamento. A única exceção constatada, o maior teor aos 35 dias após a emergência do milho no preparo em faixa, pode ser atribuído, conforme MENGEL e BARBER (1974,a), a uma maior densidade de raízes neste volume de solo nesta fase, aliado a alta taxa de absorção de nutrientes pelas plantas na fase inicial de crescimento (MENGEL e BARBER, 1974,b). Pode ocorrer uma menor absorção de potássio quando da adubação na linha em relação à em faixa, devido à alta pressão osmótica naquela fração de solo (KOLAIAN e OHLROGGE, 1959). Na prática, no entanto, a magnitude destes efeitos ocasionados pela alta concentração de solutos pode ser maior quando a semeadura e a adubação são concomitantes. No presente trabalho, houve um intervalo de 14 dias entre a adubação e a semeadura, período suficiente para que ocorresse a reação do adubo no solo.

TABELA 4 – Teor de potássio (K) no tecido de milho aos 35, 59 e 97 dias após a emergência, em função de métodos de preparo do solo e modos de aplicação de fósforo e potássio. EEA/UFRGS – segundo ano do ensaio

Dias após emergência	Preparo ⁽¹⁾ do solo	Modo de aplicação de P e K			Média
		Lanço	Faixa	Linha	
				%	
35	PC	5,0	5,1	4,7	4,9
	PF	4,5	5,1	4,7	4,8
	SP	4,5	4,9	4,7	4,7
	Média	4,7 b	5,0 a	4,7 b	
59	PC	3,6	4,0	3,9	3,8
	PF	4,2	3,9	4,2	4,1
	SP	4,0	4,0	4,2	4,0
	Média	3,9	3,9	4,1	
97	PC	1,15	1,34	1,18	1,22
	PF	1,35	1,29	1,33	1,32
	SP	1,10	1,37	1,23	1,23
	Média	1,20	1,34	1,25	

- Valores seguidos por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

- Ausência de letras significa inexistência de diferença estatística

⁽¹⁾- PC - preparo convencional
 PF - preparo em faixas
 SP - sem preparo do solo

TABELA 5 – Quantidade de potássio (K) acumulado pelo milho aos 35, 59 e 97 dias após a emergência, em função de métodos de preparo do solo e modos de aplicação de fósforo e potássio. EEA/UFRGS - segundo ano do ensaio

Dias após emergência	Preparo ⁽¹⁾ do solo	Modo de aplicação de P e K			Média
		Lanço	Faixa	Linha	
		kg/ha			
35	PC	22,1	22,1	22,2	22,2
	PF	15,7	18,6	18,6	17,6
	SP	14,3	17,9	16,4	16,2
	Média	17,4	19,5	19,1	
59	PC	151	156	167	158
	PF	155	152	151	153
	SP	148	135	149	144
	Média	151	148	156	
97	PC	168	196	173	179
	PF	206	202	184	197
	SP	172	194	187	184
	Média	182	197	182	

- ns (P < 0,05)

- Ausência de letras significa inexistência de diferença estatística

⁽¹⁾ - PC - preparo convencional

PF - preparo em faixas

SP - sem preparo do solo

O rendimento de grãos de milho não foi afetado pelos métodos de preparo do solo e pelos modos de adubação (Tabela 6). Os altos rendimentos, equivalentes entre os tratamentos, permitem afirmar que os modos de aplicação dos adubos em qualquer dos métodos de preparo do solo estudados suprimiram, de forma adequada,

a demanda nutricional da cultura do milho (Tabelas 2, 4 e 7). Quando a adubação fosfatada foi omitida e o restante dos macronutrientes e a acidez deste solo corrigidos, o rendimento do milho não superou a 3,0 t/ha (ANGHINONI e VOLKWEISS, 1982).

TABELA 6 – Rendimento de grãos de milho, em função de métodos de preparo do solo e modos de aplicação de fósforo e potássio. EEA/UFRGS - segundo ano do ensaio

Preparo do solo	Modo de aplicação de P e K			Média
	Lanço	Faixa	Linha	
	Mg/ha ⁽¹⁾			
Convencional	7,7	7,5	8,0	7,7
Preparo em faixas	7,9	8,4	7,9	8,1
Sem preparo	8,0	7,6	8,0	7,9
Média	7,9	7,8	8,0	

- ns (P < 0,05)

- Ausência de letras significa inexistência de diferença estatística

⁽¹⁾ 13 % de umidade

TABELA 7 – Teor e quantidade de fósforo nos grãos de milho, em função de métodos de preparo do solo e modos de aplicação de fósforo e potássio. EEA/UFRGS - segundo ano do ensaio

Preparo do solo	Modo de aplicação de P e K						Média	
	Lanço		Faixa		Linha			
	% P	kg/ha	% P	kg/ha	% P	kg/ha	% P	kg/ha
Convencional	0,34	26,6	0,32	24,0	0,34	27,2	0,33	25,9
Preparo em faixas	0,37	29,4	0,34	28,8	0,35	28,0	0,35	28,7
Sem preparo	0,36	28,3	0,37	27,8	0,30	24,2	0,34	26,8
Média	0,36	28,1	0,34	26,8	0,33	26,5		

- ns (P < 0,05)
- Ausência de letras significa inexistência de diferença estatística

A baixa capacidade de insolubilização de fósforo deste solo (SOUZA e VOLKWEISS, 1987), aliada a sua baixa fertilidade natural, sugerem que a mistura dos adubos fosfatados solúveis a um grande volume do solo seria mais eficiente do que a aplicação localizada (Tabelas 2 e 3). Com a crescente utilização de métodos de preparo com menor revolvimento do solo, as adubações se limitam a pequenos volumes de solo e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes pelas raízes pode ser limitada pela baixa disponibilidade de água, o que tornaria tais sistemas de manejo mais suscetíveis a períodos de deficiência hídrica. Neste contexto, o preparo do solo e a adubação, ambos em faixa, além das vantagens argumentadas acima, proporcionam um melhor ambiente de desenvolvimento inicial das plantas, principalmente quando a semeadura é efetuada em períodos em que a temperatura do solo é baixa.

CONCLUSÕES

1. O método sem preparo do solo proporcionou um maior teor de fósforo no tecido de milho do que os métodos de preparo convencional e em faixas, nos estágios iniciais de crescimento do milho.
2. O modo de aplicação de superfosfato triplo a lanço proporcionou um maior teor e acúmulo de fósforo nas plantas, no estágio final de crescimento do milho, em relação às aplicações em faixa e na linha.
3. Tanto o teor como o acúmulo de potássio nos diferentes estágios de crescimento do milho, foram semelhantes para os diferentes modos de adubação e métodos de preparo do solo.
4. Apesar dos efeitos no teor e acúmulo de fósforo no milho, não foram detectados efeitos dos tratamentos de modos de adubação e de métodos de preparo do solo no crescimento do milho e no rendimento e acúmulo de fósforo nos grãos.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ANGHINONI, I. Uso do fósforo pelo milho afetado pela fração do solo fertilizada com fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, n.3, p.349-353, 1992.
- ANGHINONI, I.; BARBER, S.A. Predicting the most efficient phosphorus placement for corn. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, p.1016-1020, 1980.
- ANGHINONI, I.; VOLKWEISS, S.J. Utilização de fósforo pelo milho em função da dose e da fração de solo fertilizada com superfosfato triplo. In: RELATÓRIO DO DEPARTAMENTO DE SOLOS DA UFRGS; FINEP, 1981-1983. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1982. v.4, anexo 10.
- BARBER, S.A. *Soil-nutrient bioavailability: a mechanistic approach*. New York: John Wiley, 1984. 398p.
- BARBER, S.A.; MACKAY, A.D.; KUCHENBUCH, R.O.; BARRACLOUGH, P.B. Effects of soil temperature and water on maize root growth. *Plant and Soil*, The Hague, v.111, p.267-269, 1988.
- BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, p.91-98, 1990.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. *Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 3. ed. Passo Fundo, SBCS - Núcleo Regional Sul / EMBRAPA/CNPT, 1995. 223 p.
- ESPIRITO SANTO, F.R.C. DO. *Distribuição de óxidos de ferro em uma catena de solos derivados de granito na região fisiográfica da Depressão Central no Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 1988. 140p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1988.
- FOX, R.L.; KANG, B.T. Influence of phosphorus fertilizer placement and fertilization rate on maize nutrition. *Soil Science*, Baltimore, v.125, n.1, p.34-40, 1978.

- KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Phosphate uptake and corn root distribution as affected by fertilizer placement and soil tillage. *Agronomy (Trends in Agricultural Sciences)*, Trivandrum, v.1, p.111-115, 1993.
- KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.19, n.3, p.395-401, 1995.
- KOLAIAN, J.H.; OHLROGGE, A.J. Principles of nutrient uptake from fertilizer bands: IV. Accumulation of water around the bands. *Agronomy Journal*, Madison, v.51, p.106-108, 1959.
- MENGEL, D.B.; BARBER, S.A. Development and distribution of the corn root system under field conditions. *Agronomy Journal*, Madison, v.66, p.341-344, 1974, a.
- MENGEL, D.B.; BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. *Agronomy Journal*, Madison, v.66, p.399-402, 1974, b.
- MODEL, N.S.; ANGHINONI, I. Resposta do milho a diferentes modos de aplicação de adubos e técnicas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, p.55-59, 1992.
- ROBERTSON, J.A.; KANG, B.T.; RAMIREZ-PAZ, F.; WERKHOVEN, C.H.E.; OHLROGGE, A.J. Principles of nutrient uptake from fertilizer bands. VII. P³² uptake by brace roots of maize and its distribution within the leaves. *Agronomy Journal*, Madison, v.58, p.293-296, 1966.
- SALET, R. Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto. Porto Alegre, 1994. 110p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1994.
- SOUZA, D.M.G.; VOLKWEISS, S.J. Reações do superfosfato triplo em grânulos com solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.11, p.133-140, 1987.
- STRYKER, R.B.; GILLIAM, J.W.; JACKSON, W.A. Nonuniform transport of phosphorus from single roots to the leaves of *Zea mays*. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v.30, p.231-239, 1974.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1985. 188p. (Boletim Técnico de Solos, 5)
- ZHANG, J.; BARBER, S.A. Maize root distribution between phosphorus fertilized and unfertilized soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.56, n.5, p.819-822, 1992.

INFLUÊNCIA DOS SULCADORES DE SEMEADURA NO DIÂMETRO MÉDIO GEOMÉTRICO (DMG) DOS AGREGADOS E NA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DO SOLO APÓS ESCARIFICAÇÃO¹

OROMAR JOÃO BERTOL², JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER³

RESUMO - Uma alta rugosidade superficial e adequado diâmetro médio geométrico (DMG) dos torrões do solo são propriedades de superfície desejáveis para o controle da erosão hídrica. Por outro lado, ainda é pouco conhecido o efeito da operação de semeadura sobre estas propriedades. Em um solo Podzólico Vermelho Amarelo, avaliou-se o efeito dos sulcadores de semeadura duplo disco defasado, duplo disco e cinzel sobre a rugosidade superficial e a distribuição média geométrica dos torrões a seco, induzidas por uma escarificação na presença de três doses de resíduos vegetais de ervilhaca e aveia. O DMG dos torrões induzidos pelo escarificador não foi alterado pelos sulcadores de semeadura. A rugosidade superficial remanescente da escarificação foi alterada apenas pelo sulcador de cinzel.

Palavras-chave: solo, rugosidade de superfície, torrão de solo, sulcadores, semeadura, preparo do solo

INFLUENCE OF PLANTING FURROWS OPENERS ON AGGREGATES GEOMETRIC MEAN DIAMETER AND SURFACE ROUGHNESS AFTER SOIL TILLAGE BY CHIESELLING

ABSTRACT - A high surface roughness and appropriate Geometric Means Diameter (GMD) of soil clods are a desirable surface property to control soil erosion. However, the effect of seeding operation over these properties are not much known. In a Podzolic Vermelho-Amarelo soil, the effect of three planting furrow openers (modified double disk, double disk, chisel) on the surface roughness and the GMD of the clods was evaluated. Surface roughness and GMD were induced by chiselling operation in the presence of three amount of vegetal residues of vetch and oat. GMD of clods induced by scarifier was not affected by planting furrow openers. Surface roughness that remains from chiselling operation was affected by chisel furrow.

Key words: soil, surface roughness, planting, furrow, clod, soil tillage.

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica do solo é um processo dependente da combinação da capacidade erosiva da chuva com a habilidade do solo em resistir a ela (CARVALHO, 1986). As medidas mais eficazes para o seu controle são, entre outras, aquelas que visam aumentar a infiltração da água no solo e diminuir o escoamento superficial. Vários trabalhos tem evidenciado que um aumento da rugosidade superficial (SADEGHIAN e MITCHELL, 1990) e uma melhor distribuição do tamanho médio geométrico dos torrões do solo (BRAUNACK e DEXTER, 1988), são condições desejáveis para o alcance destes objetivos.

Os métodos de preparo reduzido do solo, especialmente aqueles executados com escarificadores, produzem superfícies mais rugosas (BERTOL et al., 1989). A operação de escarificação forma torrões que condicionam a criação de micro-depressões na superfície do solo, as quais armazenam temporariamente a água das chuvas permitindo, assim, controlar o escoamento superficial. Ocorre também um retardamento do movimento superficial da enxurrada e uma diminuição da sua turbulência a qual é gerada pelo impacto das gotas da chuva sobre o

fluxo (SADEGHIAN e MITCHELL, 1990), bem como um aumento na condutividade hidráulica saturada, ocasionada pela alteração na distribuição de tamanho dos poros (UNGER e CASSEL, 1991). A alteração na macroporosidade facilita a infiltração da água retida na superfície, bem como sua transmissão e estocagem no perfil do solo. Em decorrência, ALLMARAS et al. (1966), sugerem que é conveniente aumentar a rugosidade superficial e o tamanho dos torrões no solo, para manter elevada a taxa de infiltração da água da chuva.

Os resíduos culturais quando presentes na superfície do solo, semi-incorporados ou não, também podem participar da rugosidade superficial (McGREGOR et al., 1990). Nestas condições, os resíduos culturais formam pequenas bacias que, pelo efeito depressional semelhante a um grande número de pequenos lagos, têm um efeito substancial sobre o controle das perdas de água e solo (LAFLEN e COLVIN, 1981).

A rugosidade está associada ao encrostamento superficial do solo e este, por sua vez, regula as trocas de ar, água e calor entre o solo e a atmosfera (WISCHMEIER, 1973). Assim pode-se inferir que, indiretamente,

1. Parte da dissertação de Mestrado do primeiro autor, UFSM - Departamento de Engenharia Agrícola, em 1993.
2. Eng. Agr., M.Sc. - EMATER-PR, Caixa Postal 4328, 80035-270 Curitiba - PR/BRASIL.
3. Eng. Agr., M.Sc. - Professor Assistente do Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Rurais da UFSM, Caixa Postal 221, 97119-900 Santa Maria - RS/BRASIL.
Recebido para publicação em 27/11/1995.

a rugosidade superficial do solo interfere sobre estas trocas. Superfícies de solo mais rugosas normalmente necessitam maior energia de chuva para criar uma crosta superficial (FREEBAIRN e GUPTA, 1990). A rugosidade superficial participa, ainda, da transferência de energia radiante para o solo, por influir na reflectância da radiação solar (POTTER, 1990).

A distribuição de tamanho dos agregados do solo está também relacionada com a formação de crosta superficial (BRAUNACK e DEXTER, 1988). Estes autores sugerem que o aumento e a variação do tamanho dos torrões, corresponde a formação de uma crosta superficial mais fraca.

Em seus estudos JOHNSON e MOLDENHAUER (1979), mostraram que o preparo reduzido com escarificação, foi mais eficaz na redução do escoamento, do que a semeadura direta. Atribuíram os resultados ao aumento da rugosidade superficial pelo escarificador, ao aumento do macroporos e a formação de canais contínuos pela interligação dos mesmos.

Em outros estudos, RIGHES et al. (1990), observaram que o cinzel foi o mecanismo que mobilizou o maior volume de solo e, ainda, apresentou a maior suscetibilidade ao embuchamento e grande largura de faixa de semeadura, dentre todos os mecanismos sulcadores testados. O sulcador de disco duplo apresentou pequena largura da faixa de semeadura e, em consequência, mobilizou menor volume de solo, sendo o mecanismo sulcador de semeadura mais indicado do ponto de vista conservacionista.

Parece estar suficientemente comprovado que superfícies rugosas e com boa distribuição de torrões e poros, controlam eficazmente as perdas de solo e água. Porém, os efeitos da operação de semeadura sobre estas condições de superfície de solo, parece não serem ainda suficientemente conhecidos. Os sulcadores são, provavelmente, os dispositivos que melhor estabelecem a relação solo/máquina de semeadura. Assim, justifica-se a necessidade de avaliar o efeito que tais mecanismos produzem sobre a rugosidade superficial e a diâmetro médio geométrico dos torrões deixados pelo preparo do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho, foi conduzido no Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), sobre um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, com profundidade e drenagem moderados e textura franca no horizonte A. A área experimental havia sido ocupada pelas culturas de aveia e milho nos últimos 2 anos, sob preparo do solo convencional. O clima da região se enquadra como Cfa 2 na classificação de Koeppen e a precipitação média anual varia de 1404 a 1769 mm, com chuvas de até 156 mm em 24 horas, segundo dados meteorológicos do serviço de meteorologia da UFSM.

Os tratamentos estudados consistiram de três diferentes mecanismos sulcadores: duplo disco defasado (DDD), duplo disco (DD) e cinzel (CZ) operando sobre resíduos culturais de ervilhaca (*Vicia vilosa*), nas doses de 3 e 6 t/ha e de aveia (*Avena strigosa*), nas doses de 4 e 8 t/ha, os quais foram semi-incorporados ao solo por preparo reduzido executado com uma escarificação. Nas parcelas, com dimensão de 20 x 3 m, foram estudadas as diferentes doses e tipos de resíduos vegetais e nas sub-parcelas, com dimensão de 20 x 1 m, foram estudados os diferentes mecanismos sulcadores de semeadura.

Os resíduos culturais de aveia e ervilhaca utilizados no experimento foram colhidos de lavouras da região e distribuídos uniformemente sobre as parcelas experimentais. O resíduo da aveia foi fracionado pelo picador de palha da colhedora automotriz, previamente à sua distribuição.

O preparo do solo foi executado utilizando um trator MASSEY FERGUSON modelo MF 275, com 54 kW (73 cv) de potência no motor, operando a 2.200 rotações por minuto. O escarificador utilizado era de levante hidráulico contendo 5 hastes espaçadas 250 mm entre si, dispostas em duas linhas, na distribuição 2-3. O ângulo de ataque das hastes com o plano horizontal, era de 46° e a profundidade de trabalho de 220 mm. As ponteiras, do tipo cinzel, possuíam largura de 80 mm.

Os diferentes mecanismos sulcadores de semeadura utilizados, foram colocados simultaneamente a uma semeadora-adubadora de precisão marca IMASA, modelo PHD, ligada aos 3 pontos do sistema hidráulico. As linhas de semeadura foram espaçadas 500 mm entre si, perfazendo três linhas em cada passada da semeadora de tal forma que cada linha continha, um sulcador diferente estudado.

Após a operação de escarificação, executada em 21/01/92, a uma velocidade de trabalho de 5,4 km/h, foi executada a operação de semeadura, com os três diferentes mecanismos sulcadores a velocidade média de trabalho de 6,6 km/h. Nesta data a umidade gravimétrica do solo era de 9,6 % na camada de 0 a 12 cm.

A rugosidade superficial do solo foi determinada através de um perfilógrafo, construído conforme descrição de DALLMEYER (1986).

As amostragens foram feitas antes do preparo e após preparo do solo, com três repetições por parcela e, ainda, após semeadura, com uma repetição por sub-parcela. Para possibilitar a comparação entre tratamento, as amostragens foram feitas sempre nos mesmos locais em cada determinação. A interpretação dos gráficos da rugosidade foi feita conforme descrito por SCHLOSSER (1987).

O índice de rugosidade superficial do solo foi calculado conforme proposto por ALLMARAS et al. (1966), sem a correção estatística proposta para exclu-

são de pontos extremos. O índice (IR) foi calculado pela fórmula:

$IR = \frac{h}{\bar{h}}$, onde:

IR = erro padrão das alturas, em centímetros,

\bar{h} = média aritmética das alturas, em centímetros, e

h = desvio padrão do logaritmo neperiano das alturas.

O diâmetro médio geométrico (DMG) dos torrões a seco foi determinado por uma peneira rotativa, conforme descrito por KRÜGER (1977). As amostragens foram feitas após o preparo e após a semeadura, em três repetições. Os valores foram calculados através da seguinte expressão matemática citada por HILLEL (1980):

$DMG = e^{S \frac{\sum (M_i \cdot \ln D_i)}{\sum M_i}}$, onde:

DMG = diâmetro médio geométrico dos torrões, em centímetros,

M_i = Massa dos torrões de cada classe, em gramas,

D_i = diâmetro intermediário de cada classe, em centímetros

A massa dos torrões em cada classe foi também usada para calcular a sua distribuição percentual.

O delineamento experimental utilizado, foi um bifatorial com blocos ao acaso em três repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição da massa dos torrões por classe de diâmetro, produzidos pelo escarificador na operação de preparo do solo, e o DMG, estão representados na Tabela 1. A escarificação produziu torrões com diâmetro médio geométrico (determinação à seco) de 8 mm. Esta operação gerou maior massa de torrões para as classe de menor diâmetro (0 a 3 e 3 a 5 mm), comparado a massa destes nas classes maiores (50 a 75, 75 a 100 e maior do que 100 mm). Este efeito pode ser atribuído a dois fatores: a) O histórico de ocupação da área experimental é de preparo intensivo para culturas temporárias, através de sistema convencional de preparo do solo. Tal sistema de manejo, colocou a camada arável, no momento da escarificação, com uma camada superficial já desestruturada, o que facilitou a formação de grande quantidade de pequenos torrões; b) A umidade gravimétrica do solo, no momento do preparo (15,39 %), propiciou boa friabilidade ao solo. Em decorrência, o implemento teve facilidade para desagregar a camada de solo mobilizada em um grande número de pequenos torrões.

TABELA 1 – Diâmetro Médio Geométrico (DMG), dos torrões determinados à seco e distribuição do percentual da massa dos torrões nas diferentes classes de diâmetro, existentes após a escarificação (PE) e após a semeadura, realizada por disco duplo defasado (DDD), cinzel (CZ), e duplo disco (DD)

ETAPA	% DOS TORRÕES POR CLASSE DE DIÂMETRO (mm)									DMG (mm)
	0-3	3-5	5-10	10-15	15-25	25-50	50-75	75-100	>100	
PE	21,7	23,4	14,6	9,2	9,7	14,4	2,6	2,0	2,5	8,01 a
DDD	22,2	28,0	15,4	9,9	9,6	8,5	1,5	5,0	0	7,24 a
CZ	30,0	14,0	11,6	7,5	8,5	15,0	4,5	7,9	0	9,16 a
DD	37,1	13,5	11,5	7,8	7,2	13,3	4,4	5,1	0	6,92 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente para o teste "T" ao nível de 95% de significância, e fazem comparação na coluna.

A operação de semeadura não alterou significativamente a distribuição do tamanho dos torrões produzidos pela escarificação, por nenhum dos mecanismos sulcadores de semeadura utilizados. Houve porém, tendência do cinzel produzir maior valor de DMG (9,16), em relação aos dois outros sulcadores testados (7,24 e 6,92). Esta tendência pode ser explicada pela forma de ação dos mecanismos sulcadores. O cinzel, ao se movimentar no interior do solo, rompe a camada mobilizada sem promover corte dos torrões existentes. Estes, são afastados para a lateral do sulco aberto pelo cinzel. Assim, os torrões foram preservados de um fracionamento

mais intenso. Já o duplo disco defasado e o duplo disco, em virtude de romperem o solo por pressão e pelo efeito do maior poder de corte que possuem, em relação ao cinzel, fracionaram os torrões formados pelo preparo do solo, contribuindo para diminuir o tamanho destes, alterando assim, a distribuição do tamanho dos torrões existentes anterior a semeadura.

Outro fator que favoreceu a manutenção quase inalterada na distribuição do tamanho dos torrões produzidos na escarificação foi a baixa umidade gravimétrica do solo no momento da semeadura (9,6%). A maior consistência dos torrões por efeito da baixa

umidade, protegeu-os de uma desagregação mais intensa.

Os resultados permitem inferir que os mecanismos sulcadores de semeadura testados, ao preservarem a distribuição do diâmetro médio geométrico dos torrões formados pelo escarificador, mantiveram uma situação desejável do ponto de vista da conservação da água e do solo. BRAUNACK e DEXTER (1988), afirmam que um leito de semeadura constituído de grandes agregados próximo ou na superfície será capaz de resistir a chuva por um longo período antes de gerar escoamento, em relação a um leito de semeadura formado apenas de finos agregados.

Os dados permitem ainda deduzir que o tipo de órgão ativo que compõe os mecanismos sulcadores e a sua forma de ação no solo podem influir na distribuição do tamanho dos torrões (determinados à seco) produzidos na semeadura. Todavia, outros trabalhos se fazem necessários para comprovar tal tendência.

O índice de rugosidade da superfície do solo com as diferentes doses e tipos de resíduo testados, e para as etapas anterior a escarificação (inicial) e pós-preparo, está representado na Figura 1. Os valores da rugosidade superficial inicial do solo, não foram influenciados pelo tipo nem pelas diferentes dosagens de resteva utilizadas. No entanto foram significativamente alterados pela operação de escarificação. O incremento obtido na rugosidade pelo trabalho do escarificador, foi próximo ou superior a 100 %. Na ausência de resíduos ou com 3 t/ha de ervilhaca, 6 t/ha de ervilhaca, 4 t/ha de aveia e 8 t/ha de aveia, para 173, 178, 80 e 200 % respectivamente. COGO et al. (1984) encontraram aumento no índice de rugosidade, por efeito da escarificação, de 5 vezes o valor inicial. Os resultados obtidos neste trabalho, não são tão elevados quanto os encontrados por aqueles autores, possivelmente pelas seguintes razões: a) a escarificação foi utilizada como operação de preparo primário, e para tanto foi executada a uma menor profundidade média (22 cm). Operando a esta profundidade, as hastes do implemento mobilizaram uma camada de solo cuja espessura não permitiu a formação de grandes torrões, por consequência uma elevada alteração no micro-relevo da superfície; b) para o resultado obtido colaboraram a textura do solo e a umidade gravimétrica no momento do preparo. Tais condições permitiram ao implemento desagregar a camada do solo mobilizada, predominantemente em torrões de médio a pequeno diâmetro, conforme constatado na discussão do DMG. Para LEHRSCHE et al. (1988), a rugosidade do solo após o seu preparo é uma função não apenas dos fatores do solo, tais como textura, agregação, histórico de ocupação da área e conteúdo de água no solo no momento em que é mobilizado, mas também dos fatores do preparo, tais como, método, implemento utilizado e profundidade de

operação. Segundo os autores, muitos desses fatores estão correlacionados entre si.

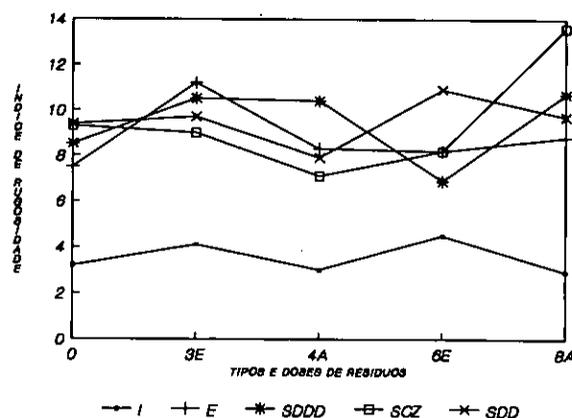


FIGURA 1 - Rugosidade superficial do solo nas etapas inicial (I), pós-escarificação (E) e E + semeadura (S) realizada pelos sulcadores testados (DDD, CZ e DD), sobre ausência de resíduos superficiais e na presença de 3 t/ha de ervilhaca (3E), 4 t/ha de aveia (4A), 6 t/ha de ervilhaca (6E) e, 8 t/ha de aveia (8A) semi-incorporados

Na operação de semeadura, os diferentes sulcadores não alteraram a rugosidade superficial do solo produzida pelo escarificador. Embora o cinzel tenha produzido uma maior largura e profundidade de trabalho em relação aos outros dois sulcadores testados, não foi suficiente para alterar significativamente a rugosidade superficial produzida pelo escarificador. Isto provavelmente se deve a distância entre sulco de semeadura ser de 50 cm, o que propiciou pouca alteração na configuração total do micro relevo superficial.

Quando os valores de rugosidade produzidos na etapa de semeadura, pelos diferentes sulcadores testados, são correlacionados com as diferentes doses e tipos de resteva utilizados, observa-se que estes afetaram significativamente os índices obtidos pelo sulcador de cinzel, não influenciando no entanto os demais. Para aquele sulcador, o valor mais alto de rugosidade foi produzido quando operou sobre 8 t/ha de resíduo de aveia. A maior rugosidade produzida pelo sulcador de cinzel em relação aos demais, pode ser explicado pela forma como age para formar o sulco. Por ter movimento deslizante, propicia o acúmulo de resíduo, que somado a maior largura e profundidade do sulco, produz maior rugosidade. Já os sulcadores cujo órgão ativo se constituem de discos (disco duplo defasado e disco duplo), rompem o solo por corte através do movimento giratório que possuem. Assim estão menos sujeitos a modificar acentuadamente o micro-relevo do solo pelo acúmulo de resíduos, por efeito do deslocamento.

Por ser a rugosidade superficial importante para o ambiente no leito de semeadura e controle das perdas de água e solo, pode-se afirmar que a não alteração por parte da semeadura, da rugosidade obtida pela escarificação, é desejável e altamente benéfica do ponto de vista conservacionista. LEHRSCHE et al. (1988), explicam que a rugosidade afeta, entre outros fatores, a infiltração e estocagem de água nas depressões da superfície, e a velocidade de escoamento da água da chuva. Para CARVALHO (1986), quanto maior for o índice de rugosidade superficial, menor será a quantidade total de enxurrada resultante das chuvas.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- A rugosidade foi significativamente aumentada pela operação de escarificação porém, não foi modificada pelos sulcadores de semeadura, com exceção do sulcador de cinzel que a acresceu significativamente na condição de 8 t/ha de resíduos de aveia. A quantidade de resíduos não influenciou significativamente no resultado.

- O diâmetro médio geométrico dos torrões produzido pela operação de escarificação não foi alterado por nenhum dos mecanismo sulcadores de semeadura testados.

- Recomenda-se avaliar a influência do espaçamento dos sulcadores de semeadura no DMG e na rugosidade superficial, induzidos na etapa de preparo do solo.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ALLMARAS, R.R.; BURWELL, R.E.; LARSON, W.E. et al. **Total porosity and random roughness the interrow zone as influenced by tillage**. Washington: USDA, 1966. 22p.
- BRAUNACK, M.V.; DEXTER, A.R. The effect of aggregate size in the seedbed on surface crusting and growth and yield of wheat under dryland conditions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, n.11, p.133-145, 1988.
- BRASIL. Ministerio da Agricultura. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 439p. (Boletim Técnico, 30).
- CARVALHO, F.L.C. **Relação da erosão hídrica do solo com doses e formas de manejo do resíduo cultural de trigo**. Porto Alegre, 1986. p.135. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986.
- COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C.; FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil**

- Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n.2, p.368-373, 1984.
- DALLMEYER, A.U. et al. Mobilização do solo por mecanismos de semeadura direta: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15., Botucatu, 1986. **Anais...** p.14.
- FREEBAIRN, D.M.; GUPTA, S.C. Microrelief, rainfall and cover effects on infiltration. **Sols & Tillage Research**, Amsterdam, n.16, p.307-327, 1990.
- HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 413p.
- JOHNSON, C.B.; MOLDENHAUER, W.C. Effect of chisel versus moldboard plowing on soil erosion by water. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.43, p.177-179, 1979.
- KRÜGER, E.J. **Relação entre os tratamentos dos agregados do solo e o modelo teórico de espessura de corte de enxada rotativa**. Santa Maria, 1977. 45p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Agronomia, UFSM, 1977.
- LAFLEN, J.M.; COLVIN, T.S. Effect of crop residue on soil loss from continuous row cropping. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, p.605-609, 1981.
- LEHRSCHE, G.A.; WHISLER, F.D.; RÖMKENS, M.J.M. Spatial variation of parameters describing soil surface roughness. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.311-319, 1988.
- MCGREGOR, K.C.; MUTHLER, C.K.; RÖMKENS, M.J.M. Effectes of tillage whit different crop residue on runoff and loss. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v.3, n.5, p.1551 - 1555, 1990.
- POTTER K.N. Soil Properties effect on random roughness decay by rainfall. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.33, n.6, p.1889-1892, 1990.
- RIGES, A. A.; DALLMEYER, A. U.; SILVEIRA, D. R. et al. **Semeadura direta: comparação entre diferentes organismos sulcadores**. São Paulo: NSI/MA, 1990. 43p.
- SADEGHIAN, M.R.; MITCHELL, J.K. Response of surface roughness storage to rainfall on tilled soil. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.33, n.6, p.1875-1881, 1990.
- SCHLOSSER, J.F. **Comparação entre duas técnicas de aração: trator dentro e fora do sulco**. Santa Maria, 1987. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Agronomia, UFSM, 1987.
- UNGER, P.W.; CASSEL, D.K. Tillage implement disturbance effects on soil properties related to soil and water conservation: a literature review. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.19, p.363-382, 1991.
- WISCHMEIER, W.H. Conservation tillage to control water erosion. In: NATIONAL CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE. **Soil Conservation America Society**, Ankeny, p.133-141, 1973.

DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS DO SEDIMENTO DETERMINADA A CAMPO E EM LABORATÓRIO¹

JOÃO ALFREDO BRAIDA², ELEMAR ANTONINO CASSOL³

RESUMO - O tamanho e a densidade das partículas de solo desagregadas determinam a transportabilidade das mesmas durante o processo de erosão hídrica. O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a distribuição do tamanho de partículas do sedimento, em amostras de enxurrada de duas procedências, efetuada a campo e em laboratório, e avaliar o efeito do tempo de armazenamento e do tempo de agitação na peneiração das amostras no laboratório. A partir de dois experimentos de campo foram coletadas amostras de enxurrada produzida, no primeiro, por fluxo concentrado em sulcos e, no segundo, por fluxo laminar raso sob chuva simulada. Nos dois casos o solo, um Plintossolo de textura média, foi preparado pouco antes dos testes. As partículas foram separadas em oito classes de tamanho e calculou-se o tamanho médio das partículas, dado pelo índice D_{50} . Para amostras de enxurrada produzida por fluxo concentrado em sulcos, o índice D_{50} obtido com a peneiração no campo foi superior ao obtido com a peneiração em laboratório (0,509 e 0,305 mm, respectivamente) e não se observou efeitos do tempo de armazenamento e de agitação das amostras na peneiração no laboratório. Para amostras de enxurrada produzida por fluxo laminar raso sob chuva simulada, não se observou diferenças significativas no tamanho médio de partículas, entre os diferentes tratamentos.

Palavras-chave: solo, erosão hídrica, sedimento, tamanho de partículas.

UNDISPERSED SEDIMENT PARTICLE SIZE DISTRIBUTION DETERMINED BY FIELD AND LABORATORY SAMPLES PROCESSING

ABSTRACT - Size and density of sediment particles determines its transportability by erosive agents. This work was conducted with the objective of to evaluate the sediment particle size distribution of runoff samples originated from two different surface flow types, processed at the field and in laboratory, and to evaluate the effect of the laboratory samples storage time and the oscillation time during the wet sieving on the sediment particle size distribution. From two field experiments two kinds of runoff samples were collected, the first from rill concentrated flow without rainfall and the second from broad sheet flow under simulated rainfall. In the two cases, a freshly tilled Paleudult sandy loam soil was used. The sediment particles were splitted into eight size classes and a median size was determined by the D_{50} index. For the samples originated by rill concentrated flow, the D_{50} index from samples sieved at field was greater than the D_{50} index from samples sieved in the laboratory (0.509 and 0.305 mm, respectively) and there was no effect for the laboratory samples time storage and time oscillation during the wet sieving. For the runoff samples originated by broad sheet flow under simulated rainfall, there was no difference in the median particle size among all different treatments.

Key words: soil, water erosion, sediment, particle size

INTRODUÇÃO

A carga de sedimentos transportada pelo fluxo de água na superfície do solo, durante a erosão hídrica, depende de variáveis hidráulicas tais como a taxa de descarga, a velocidade e a profundidade do fluxo e, ainda, de características das partículas que compõem o sedimento, como o tamanho e a densidade (FOSTER et al., 1985). Essas características das partículas determinam sua transportabilidade, influenciando os processos de transporte e deposição dos sedimentos (YOUNG, 1980).

Nas últimas décadas, vários trabalhos foram desenvolvidos para estudar as relações entre o tamanho de partículas do sedimento e as características do solo, do processo erosivo, dos agentes erosivos, do manejo e das condições superficiais do solo (SWANSON e DEDRICK,

1967; GABRIELS e MOLDENHAUER, 1978; ALBERTS et al., 1980; MEYER et al., 1980; LOPES, 1984; AMADO, 1985; GIASSON, 1992; ROCKENBACH, 1992).

De maneira geral, nos trabalhos de avaliação do tamanho de partículas do sedimento realiza-se a peneiração de amostras de enxurrada, separando-se as partículas em várias classes de tamanho. Essa peneiração pode ser parcial ou totalmente realizada no campo, diretamente sob o fluxo de descarga da enxurrada das parcelas experimentais (ALBERTS et al., 1980; LOPES, 1984; AMADO, 1985) ou então no laboratório, para onde as amostras de enxurrada são transportadas e armazenadas até que possam ser processadas (MEYER e SCOTT, 1983; GIASSON, 1992; ROCKENBACH, 1992).

1. Trabalho apresentado na X Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, realizada em Florianópolis - SC, de 24 a 29 de julho de 1994, promovida pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e EPAGRI-SC.
2. Eng. Agr., M.Sc., Prof. do Curso de Agronomia do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR), Rodovia PR 469 - km 1, Caixa Postal 571, 85503-390 Pato Branco - PR/BRASIL. e-mail: "B.BRAIDA@CEFET.ANPR.BR"
3. Eng. Agr., Ph.D., Pesquisador da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - Fepagro, Rua Gonçalves Dias 570, 90130-060 Porto Alegre - RS/BRASIL, e Prof. Adjunto do Depto. de Solos da FA-UFRGS, Caixa Postal 776, 90001-970 Porto Alegre - RS/BRASIL. Bolsista de Pesquisa do CNPq. e-mail: "CASSOLEA@VORTEX.UFRGS.BR"

Recebido para publicação em 01/02/1996.

Quando a peneiração é realizada no campo, pode haver obstrução das peneiras e sobreposição de partículas que, assim, podem ficar retidas por uma peneira com abertura de malha maior que o seu diâmetro (ALBERTS et al., 1983). Além disso, o tempo de peneiração pode ser muito curto, principalmente se a taxa de descarga da parcela for alta, não havendo tempo para que todas as partículas tenham igual oportunidade de atravessar a peneira cuja abertura da malha é maior que seu diâmetro. Nesta situação, o tamanho médio das partículas do sedimento pode ser superestimado.

Quando a peneiração é realizada no laboratório, podem ocorrer condições que venham resultar na floculação ou na dispersão das partículas do sedimento, durante o transporte, manuseio ou armazenamento das amostras de enxurrada (MEYER e SCOTT, 1983). Entretanto, ALBERTS et al. (1981) não observaram efeitos do manuseio, do tempo e das condições de armazenamento de amostras de enxurrada, sobre o tamanho de partículas do sedimento. NEIBLING et al. (1983), também não verificaram influência do armazenamento em períodos de até 30 dias. Para períodos maiores que 30 dias, houve variação do tamanho de partícula do sedimento, dependendo do tipo de solo.

O presente estudo foi realizado com o objetivo de verificar o efeito do método de peneiração, executada no campo ou no laboratório, do tempo de armazenamento e do tempo de agitação de amostras de enxurrada durante a peneiração no laboratório, sobre o tamanho de partículas do sedimento.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com amostras de enxurrada coletadas em dois experimentos conduzidos na Estação Experimental Agronômica da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizada no município de Eldorado do Sul - RS. O solo da área experimental é um Plintossolo com textura média (MELLO et al., 1966).

No primeiro experimento, foram estudadas as relações da erosão em sulcos com doses de palha de trigo picada e incorporada ao solo, utilizando-se o trabalho de GIASSON (1992). Água limpa foi aplicada em vazões de 10, 20, 30 e 40 L/min em sulcos pré-formados, com 5 m de comprimento, durante 40 minutos. Para o presente estudo foram coletadas amostras de enxurrada nas parcelas que receberam a dose zero de palha e as vazões de 20 e 30 L/min. Essas amostras são referidas como sendo procedentes de escoamento concentrado em sulcos sem chuva (ECSSC), onde tanto o transporte como a desagregação das partículas são realizados pelo fluxo concentrado.

No segundo experimento, utilizaram-se amostras provenientes do trabalho conduzido a campo por BERTOL (1995), onde esse autor estudou as relações entre a erosão hídrica e o preparo do solo na presença e ausência de resíduos culturais de milho e trigo. Nesse caso, foi aplicada chuva simulada utilizando-se um aparelho simulador de chuvas de braços rotativos, descrito por CASSOL e GUERRA (1978) e parcelas com dimensões de 3,5x11,0 m (IAPAR-EMBRAPA, 1975). Foi aplicada uma chuva inicial com intensidade média de 64 mm/h e duração suficiente para que a taxa de enxurrada se tornasse constante. Para o presente estudo, amostras de enxurrada foram coletadas, após a taxa de enxurrada tornar-se constante, em intervalos de 5 minutos, nas parcelas sem resíduos culturais. Essas amostras são referidas como sendo procedentes de escoamento laminar raso com chuva (ELRCC), onde a desagregação é realizada predominantemente pelo impacto das gotas da chuva e, o transporte, pelo fluxo laminar raso.

Nos dois experimentos o solo da área experimental foi preparado através de arações e gradagens no sentido paralelo ao declive, efetuadas pouco antes da realização dos testes.

Para o presente estudo as amostras de enxurrada foram submetidas aos seguintes tratamentos:

T₁ - CAMPO - Peneiração no campo da fração > 0,250 mm, efetuada diretamente sob o fluxo de descarga das parcelas experimentais, e peneiração no laboratório da fração < 0,250 mm, um dia após a coleta;

T₂ - 2D - Peneiração de toda a amostra no laboratório, 2 dias após a coleta, com agitação mecânica de 10 minutos (amostras de ECSSC) e 5 minutos (amostras de ELRCC) para a fração > 0,250 mm;

T₃ - 20D - Peneiração de toda a amostra no laboratório, 20 dias após a coleta, com agitação mecânica de 10 minutos (amostras de ECSSC) e 5 minutos (amostras de ELRCC) para a fração > 0,250 mm; e,

T₄ - Amostras de ECSSC: Peneiração de toda a amostra no laboratório, 20 dias após a coleta, com agitação de 5 minutos para a fração > 0,250 mm; Amostras de ELRCC: Peneiração de toda a amostra no laboratório, 2 dias após a coleta, com agitação de 10 minutos para a fração > 0,250 mm.

Os tratamentos foram aplicados em oito repetições nas amostras de ECSSC e em seis repetições nas amostras de ELRCC. O delineamento experimental utilizado foi o completamente casualizado.

A separação das partículas, em oito classes de tamanho, foi realizada com o uso de peneiras de 12,7 cm (5 polegadas) de diâmetro e malha com abertura de 2,00, 1,00, 0,50, 0,25, 0,105, 0,053 e 0,037 mm.

Para o tratamento T₁, as peneiras com malha de abertura > 0,250 mm foram acopladas sobre um balde plástico. Esse conjunto foi mantido sob o fluxo de descarga da parcela experimental, até coletar-se cerca de 1,5 litros de material. Para facilitar a peneiração, o conjunto foi agitado suavemente com movimentos circulares. O material que passava pelo conjunto de peneiras era coletado no balde plástico, sendo encaminhado para o laboratório onde, no dia seguinte, era feita a separa-

ção das frações < 0,250 mm, através da passagem do material pelas peneiras sobrepostas. A fração < 0,037 mm era recolhida em um balde plástico onde adicionava-se alumínio de potássio à 3%, para acelerar a deposição.

As amostras para os tratamentos onde toda a peneiração foi realizada no laboratório (T_2 , T_3 e T_4), foram coletadas em potes plásticos com capacidade de 1000 ml, acoplados nas laterais do conjunto de peneiras, usadas no tratamento T_1 . Assim, ao agitar o conjunto com movimentos circulares, permitia-se que a enxurrada caísse, ora sobre as peneiras, ora dentro dos potes, de maneira que o momento de coleta das amostras fosse o mesmo, tanto para as amostras fracionadas no campo, quanto para aquelas fracionadas no laboratório. As amostras contidas nos potes plásticos foram transportadas para o laboratório, onde foram armazenadas até que fossem processadas. No laboratório, a fração > 0,250 mm foi separada por peneiração úmida com agitação mecânica e, a fração < 0,250 mm, foi separada por processo semelhante ao adotado no tratamento T_1 .

No caso das amostras de ECSSC, a agitação mecânica durante a peneiração foi de 10 minutos nos tratamentos T_2 e T_3 e de 5 minutos em amostras armazenadas por 20 dias para o tratamento T_4 . Nas amostras de ELRCC, a agitação mecânica durante a peneiração foi de 5 minutos nos tratamentos T_2 e T_3 e de 10 minutos em amostras armazenadas por 2 dias para o tratamento T_4 .

O material retido em cada peneira foi transferido para latas de alumínio e posto para secar em estufa à 105°C por 48 horas, quando foi pesado determinando-se a quantidade de material em cada classe de tamanho. A partir da quantidade de material em cada classe de tamanho calculou-se a distribuição de tamanho das par-

tículas, dividindo-se a massa de partículas em determinada classe pela massa total de solo seco da amostra original, expressando-se os resultados em percentagem. Com esses dados, calculou-se o índice D_{50} , através da utilização de um programa computacional desenvolvido pelos autores. O índice D_{50} representa o tamanho para o qual 50% da massa das partículas tem diâmetro maior e 50% diâmetro menor.

A análise estatística dos dados constituiu-se da análise de variância e, para as variáveis em que houve variação significativa, utilizou-se o teste Duncan à 5% e análise de correlação simples, como complementação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Amostras de escoamento concentrado em Sulcos Sem Chuva - ECSSC

A distribuição de tamanho de partículas do sedimento, expressa em percentagem, é apresentada na Figura 1. Nesta figura, observa-se que a curva correspondente ao tratamento com peneiração no campo está sempre abaixo das demais curvas. Isto demonstra que, com a peneiração no campo há uma menor concentração de partículas nas classes de menor tamanho.

A partir das curvas da Figura 1, determinou-se o índice D_{50} das partículas, para cada tratamento. Este índice é apresentado na Tabela 1, juntamente com o peso médio das amostras analisadas. Observa-se que o índice D_{50} foi significativamente alterado pelo método empregado na peneiração das amostras, porém não foi alterado pelo tempo de armazenamento e tempo de agitação na peneiração de laboratório. Também, observa-se que o tamanho das amostras peneiradas no campo foi maior que aquelas peneiradas no laboratório.

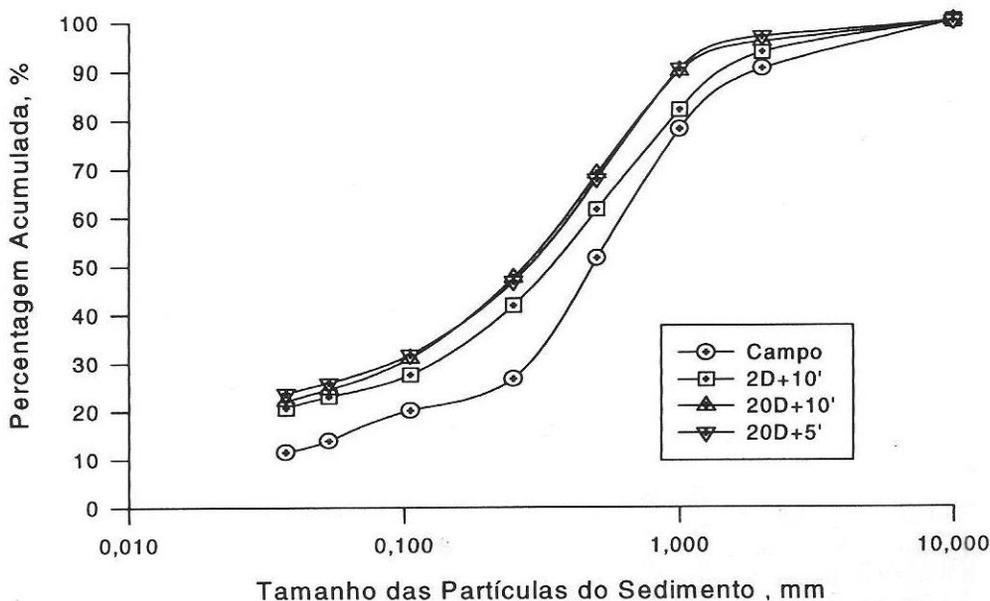


FIGURA 1 - Distribuição do tamanho de partículas do sedimento de amostras de enxurrada produzida por fluxo concentrado em sulcos sem chuva (ECSSC) determinada a campo e em laboratório, com dois dias (2D) e 20 dias (20D) de armazenamento e com 5 minutos (5') e 10 minutos (10') de agitação mecânica. Média de oito repetições

TABELA 1 – Tamanho médio de partículas do sedimento, de amostras de enxurrada produzida por fluxo concentrado em sulcos sem chuva (ECSSC), dado pelo índice D_{50} , e tamanho médio das amostras analisadas, com as partículas separadas no campo e em laboratório, com dois dias (2D) e 20 dias (20D) de armazenamento e com 5 minutos (5') e 10 minutos (10') de agitação mecânica. Média de oito repetições

Tratamento	Índice D_{50} mm	Amostra g
Campo	0,507a ^{1/}	68,9a
2D + 10'	0,331b	39,2b
20D + 10'	0,278b	30,0b
20D + 5'	0,292b	33,5b
CV (%)	18,86	21,97

1/ Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan à 1%.

O índice D_{50} , refletindo o que se observou nas curvas da Figura 1, foi maior para o tratamento com peneiração no campo, ou seja, esse tratamento continha mais partículas nas classes de maior tamanho. Isso ocorreu talvez por que, como sugerem MEYER e SCOTT (1983), as operações de transporte, manuseio e agitação durante o processamento das amostras peneiradas no laboratório, podem ter produzido a quebra das partículas secundárias. Assim, a peneiração no laboratório produziria partículas de menor tamanho em relação à peneiração no campo. Por outro lado, ALBERTS et al. (1983) dizem que quando a peneiração é feita no campo, pode ocorrer a obstrução das peneiras, produzindo um acúmulo de partículas nas peneiras superiores do conjunto, ou seja, nas classes de maior tamanho, resultando em uma superestimação do índice D_{50} .

No presente estudo, as amostras foram coletadas em sulcos com vazões de 20 e 30 L/min. Assim, amostras com cerca de 1,5 litros, como as peneiradas no campo, foram obtidas em apenas 4 a 6 segundos. Além disso, a grande quantidade de sedimentos nas amostras e as condições pouco apropriadas para uma agitação efi-

ciente das peneiras, são fatores que aumentam a ocorrência de obstrução das peneiras. Essa obstrução, foi observada durante a peneiração de algumas amostras a campo.

Para verificar se a obstrução das peneiras realmente ocorreu e, nesse caso, se foi suficiente para afetar a distribuição de tamanho de partículas, foi feita a análise de correlação linear entre o índice D_{50} e o peso das amostras utilizadas. Considerou-se que, havendo obstrução das peneiras, quanto maior a massa da amostra, maior a quantidade de material retido nas peneiras superiores e, conseqüentemente, maior o índice D_{50} da amostra.

Observando a Tabela 2, verifica-se que para o tratamento com peneiração no campo, o coeficiente de correlação linear, entre o índice D_{50} e o peso das amostras, é muito significativo, o que não é observado para os demais tratamentos. Assim, é muito provável, que com a peneiração no campo, tenha havido obstrução das peneiras, alterando a distribuição de tamanho de partículas das amostras estudadas, aumentando o índice D_{50} .

TABELA 2 – Coeficientes de correlação simples (r) e probabilidade de significância, entre o tamanho médio das partículas do sedimento, produzido por fluxo concentrado em sulcos sem chuva (ECSSC), e o tamanho médio das amostras, com as partículas separadas no campo e em laboratório, com dois dias (2D) e 20 dias (20D) de armazenamento e com 5 minutos (5') e 10 minutos (10') de agitação mecânica

Tratamento	Valor de r	Probabilidade > F
Campo	0,92	0,001
2D + 10'	0,03	0,940
20D + 10'	0,58	0,133
20D + 5'	0,61	0,105

Quando avaliou-se o efeito do tempo de armazenamento das amostras processadas no laboratório e do tempo de agitação, não se observaram diferenças significativas para os diferentes tratamentos (Tabela 1). Esses resultados estão de acordo com o observado por ALBERTS et al. (1981) e NEIBLING et al. (1983). Apesar disso, houve uma tendência de redução do índice D_{50} com o aumento do tempo de armazenamento e do tempo de agitação durante o processamento das amostras.

Amostras de Escoamento Laminar Raso com Chuva - ELRCC

A distribuição de tamanho de partículas do sedimento de amostras de enxurrada produzida por chuva simulada, expressa em percentagem, é apresentada na Figura 2. Nesta figura observa-se que houve pouca diferenciação entre os tratamentos, no que se refere à distribuição do tamanho de partículas das amostras analisadas.

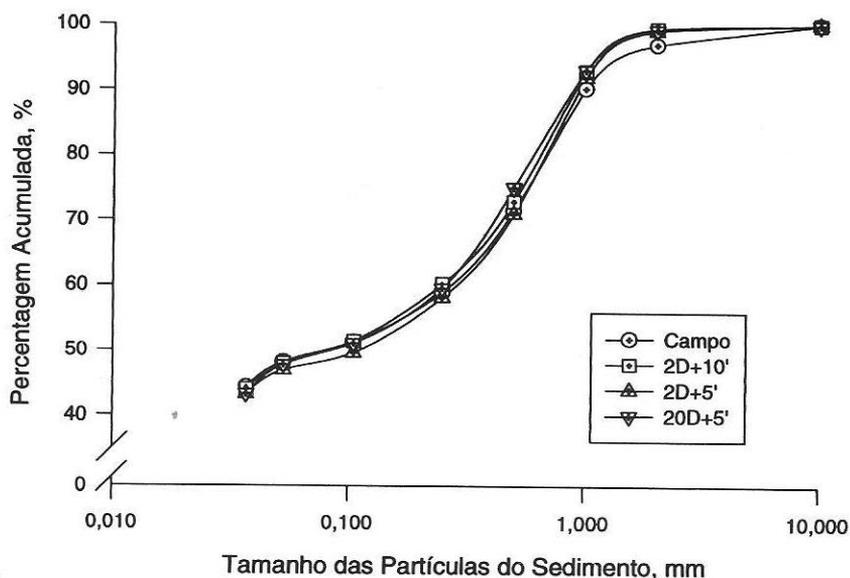


FIGURA 2 – Distribuição do tamanho de partículas do sedimento de amostras de enxurrada produzida por chuva simulada (ELRCC) determinada a campo e em laboratório, com dois dias (2D) e 20 dias (20D) de armazenamento e com 5 minutos (5') e 10 minutos (10') de agitação mecânica. Média de seis repetições

Os índices D_{50} , calculados a partir das curvas da Figura 2, são apresentados na Tabela 3, juntamente com o tamanho médio das amostras estudadas. Observa-se nesta tabela, que não houveram diferenças significativas entre o D_{50} obtido com os diferentes tratamentos.

TABELA 3 - Tamanho médio de partículas do sedimento, de amostras de enxurrada produzida por chuva simulada (ELRCC), dado pelo índice D_{50} , e tamanho médio das amostras analisadas, com as partículas separadas no campo e em laboratório, com dois dias (2D) e 20 dias (20D) de armazenamento e com 5 minutos (5') e 10 minutos (10') de agitação mecânica. Média de seis repetições

Tratamento	Índice D_{50} mm	Amostra g
Campo	0,088a ^{1/}	21,8a
2D + 10'	0,088a	9,6b
2D + 5'	0,115a	9,6b
20D + 5'	0,092a	10,8b
CV (%)	26,10	45,21

1/ Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan à 1%.

Nesse caso, mesmo que a amostra peneirada no campo tenha sido maior que aquela peneirada no laboratório, a quantidade de material foi pequena o suficiente para que não fossem observados indícios de obs-

trução das peneiras durante a peneiração no campo. Além disso, o tempo para coleta da amostra foi maior que no caso das amostras de erosão em sulcos, em função da menor taxa de descarga das parcelas.

A análise de correlação entre o índice D_{50} e o peso das amostras, mostrou existir correlação linear significativa entre essas variáveis para três dos quatro tratamentos estudados (Tabela 4). Para a enxurrada de ELRCC, onde não se observaram indícios de obstrução de peneiras durante o peneiramento, a existência de correlação significativa entre o D_{50} e o peso das amostras está, provavelmente, relacionada a capacidade de transporte do fluxo laminar raso. Esse tipo de fluxo tem uma capacidade de transporte muito limitada, assim, durante a amostragem as variações nas taxas de descarga das parcelas podem ter proporcionado variações na capacidade de transporte do fluxo. Então, naquelas parcelas e/ou momentos em que o fluxo laminar raso apresentava maior capacidade de transporte, houve o transporte de partículas maiores e, também, de amostras maiores.

A variação no tempo de armazenamento das amostras e do tempo de agitação na peneiração no laboratório, não produziram alterações significativas no índice D_{50} . Nesse caso, também, foi observada uma tendência de redução no valor do índice D_{50} com o aumento do tempo de armazenamento e de agitação.

No caso das amostras produzidas pela chuva simulada, onde a desagregação é produzida essencialmente pelo impacto repetido das gotas, é possível que poucas partículas secundárias tenham sido carregadas pelo fluxo laminar raso, que tem uma capacidade de transporte relativamente pequena. Portanto, haveriam muito poucas partículas para serem quebradas durante o transporte, o armazenamento e o manuseio das amostras no laboratório.

TABELA 4 - Coeficientes de correlação simples (r) e probabilidade de significância, entre o tamanho médio das partículas do sedimento, produzido por chuva simulada (ELRCC), e o tamanho médio das amostras, com as partículas separadas no campo e em laboratório, com dois dias (2D) e 20 dias (20D) de armazenamento e com 5 minutos (5') e 10 minutos (10') de agitação mecânica

Tratamento	Valor de r	Probabilidade > F
Campo	0,95	0,005
2D + 5'	0,82	0,048
2D + 10'	0,58	0,229
20D + 5'	0,95	0,005

CONCLUSÕES

Amostras de Escoamento Concentrado em Sulcos Sem Chuva - ECSSC

O armazenamento das amostras de enxurrada, até 20 dias, não alterou o tamanho médio das partículas do sedimento dado pelo índice D_{50} .

Na separação das classes de tamanho de partículas por peneiração em laboratório, a variação no tempo de agitação mecânica não provocou alteração significativa no tamanho médio das partículas do sedimento, dado pelo índice D_{50} .

O método com peneiração no campo produziu um índice D_{50} superior ao obtido com a peneiração em laboratório.

No caso da peneiração no campo, observou-se uma correlação linear significativa entre o índice D_{50} e o tamanho da amostra.

Para amostras volumosas, como nesse caso, a peneiração no campo exige cuidados especiais para evitar a obstrução das peneiras e, conseqüentemente, a superestimação do tamanho médio das partículas do sedimento. No caso de peneiração no laboratório, a mesma deve ser feita imediatamente após a coleta e com agitação mecânica de cinco minutos.

Amostras de Escoamento Laminar Raso com Chuva - ELRCC

Da mesma forma que para as amostras de ECSSC, não houve efeito significativo do tempo de armazenamento das amostras (até 20 dias) e do tempo de agitação mecânica durante a peneiração no laboratório.

Não se observaram diferenças significativas no tamanho médio das partículas do sedimento, dado pelo índice D_{50} , quando se comparou a peneiração no campo com a peneiração em laboratório.

Para amostras pouco volumosas, como no presente caso, a peneiração para separação das partículas do sedimento, para determinação do tamanho médio, tanto pode ser realizada a campo como em laboratório. A peneiração no laboratório deve ser feita com o menor tempo de armazenamento possível e com agitação mecânica de cinco minutos.

BIBLIOGRAFIA CITADA

ALBERTS, E.E.; MOLDENHAUER, W.C.; FOSTER, G.R. Soil aggregates and particles transported in rill and interrill flow. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 44, p.590-595, 1980.

ALBERTS, E.E.; NEIBLING, W.H.; MOLDENHAUER, W.C. Transport the sediment nitrogen and phosphorus in runoff through cornstalk strips. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 45, p.1177- 1184, 1981.

ALBERTS, E.E.; WENDT, R.C.; PIEST, R.F. Physical and chemical properties of eroded soil aggregates. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, v. 26, p.465-471, 1983.

AMADO, T.J.C. **Relações da erosão hídrica do solo com doses e formas de manejo do resíduo cultural de soja**. Porto Alegre, 1985. 104p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1985.

BERTOL, I.; **Comprimento crítico de declive para preparamos conservacionistas de solo**. Porto Alegre, 1995. 185p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Ciência do Solo. Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1995.

CASSOL, E.A. ; GUERRA, M. Calibração do primeiro aparelho simulador de chuvas de braços rotativos do Estado do Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2, Passo Fundo, 1978. *Anais ... Passo Fundo: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa do Trigo*. p.29-39. 1978.

FOSTER, G.R.; YOUNG, R.A.; ROMKENS, M.J.M.; ONSTAD, C.A. Processes of soil erosion by water. In: FOLLET, R.F.; STEWART, B.A (Eds.) **Soil erosion and crop productivity**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. Cap.9, p.137-162.

GABRIELS, D.A.; MOLDENHAUER, W.C. Size distribution of eroded material from simulated rainfall: effect over a range of texture. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 42, p.954-958, 1978.

GIASSON, E. **Relações da erosão em sulcos com vazões e doses de resíduos vegetais incorporados ao solo**. Porto Alegre, 1992. 108p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1992.

IAPAR; EMBRAPA. **Recomendações gerais do encontro sobre o uso de simulador de chuva em pesquisa de conservação do solo no Brasil**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROSIÃO COM SIMULADORES DE CHUVA. Londrina, 1975. p.107-120.

LOPES, P.R.C. **Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente na superfície do solo**. Porto Alegre, 1984. 116p. Dis-

- sertação (Mestrado em Agronomia) - Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1984.
- MELLO, O.; LEMOS, R.C.; ABRÃO, P.U.R.; AZOLIN, M.A.D.; SANTOS, M.C.L.; CARVALHO, A.P. Levantamento em série dos solos do Centro Agronômico. **Revista da Faculdade de Agronomia e Veterinária da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 8, p. 7-155, 1966.
- MEYER, L.D.; SCOTT, S.H. Possible errors during field evaluations of sediment size distributions. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 26, p.481-485, 1983.
- MEYER, L.D.; HARMON, W.C.; McDOWELL, L.L. Sediment sizes eroded from crop row sideslopes. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 23, p.891-898, 1980.
- NEIBLING, W.H.; MOLDENHAUER, W.C.; HOLMES, B.M. Evaluation and comparison of two methods for characterization of sediment distribution. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 26, p.472-480, 1983.
- ROCKENBACH, C.A. **Erosão em entressulcos sob diferentes coberturas por resíduos de trigo em um solo Podzólico Vermelho Amarelo sob chuva simulada**. Porto Alegre, 1992. 108p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1992.
- SWANSON, N.P.; DEDRICK, A.R. Soil particles and aggregates transported in water runoff under various slope conditions using simulated rainfall. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 10, p.246-247, 1967.
- YOUNG, R.A. Characteristics of eroded sediment. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 23, p.1139-1142, 1980.

AGRADECIMENTOS

Aos colegas Élvio Giasson e Ildegardis Bertol, que permitiram a coleta do material utilizado neste trabalho nos experimentos conduzidos sob suas responsabilidades.

EFEITO DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA, MINERAL E CALAGEM NO ACÚMULO DE FERRO PELO ARROZ IRRIGADO¹

ADEMAR BRANCHER², FLÁVIO A. DE O. CAMARGO³, GABRIEL DE A. SANTOS⁴

RESUMO - O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adição de esterco bovino, palha de arroz, adubação mineral e calagem no acúmulo de ferro no arroz irrigado. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da UFRRJ, utilizando-se amostras dos horizontes A e Cg de um solo glei pouco húmico, coletado no Vale do rio São João, município de Casemiro de Abreu (RJ), e cultivado o arroz (cv. BR IRGA 409). Os tratamentos utilizados foram os dois horizontes (A e Cg) com e sem esterco bovino, palha de arroz, NPK e calagem com as devidas combinações, mais o tratamento testemunha. Os resultados mostraram que a adubação NPK e/ou calagem na presença, ou não, dos materiais orgânicos reduziu as concentrações de ferro na matéria seca da parte aérea do arroz no horizonte Cg; enquanto que a adição dos materiais orgânicos, isoladamente, promoveram a elevação das concentrações de ferro.

Palavras-chave: Palha de arroz, esterco bovino, nitrogênio, fósforo e potássio.

EFFECT OF ORGANIC AND MINERAL FERTILIZATION AND LIMING ON THE ACCUMULATION OF IRON BY IRRIGATED RICE PLANTS

ABSTRACT - The objective of this work was to determine the effects of cow manure, rice straw, fertilizers and lime additions on iron uptake by irrigated rice. Samples were collected from two soil horizons (A and Cg) in a low humic grey soil of São João River Valley, Casemiro de Abreu, RJ, Brazil, and mixed with cow manure, rice straw, NPK, or lime in various combinations. Rice seeds of BR IRGA 409 cultivar were sowed in pots and rice was cultivated in a greenhouse of the Depto. de Solos, UFRRJ. The results show that addition of NPK and/or lime, with or without organic manure reduced iron concentration in the aerial parts of the rice plants grown in horizon Cg, while organic manure alone caused an increase in iron concentration.

Key words: Rice straw, cow manure, nitrogen, phosphorus and potassium.

INTRODUÇÃO

Uma das mais importantes alterações que ocorrem nos solos inundados é verificada a partir do decréscimo no potencial de oxi-redução, com o aumento do teor de Fe^{++} na solução do solo (TIAN-YEN, 1985). Quando o solo é inundado, o oxigênio livre presente no solo, desaparece rapidamente, em função da necessidade de energia para os processos biológicos envolvendo transferência de elétrons do substrato utilizado como fonte de energia para as reações bioquímicas. Obedecendo a seqüência termodinâmica, após o Mn, os oxi-hidróxidos de Fe^{+++} , são reduzidos a Fe^{++} , pois na ausência de O_2 , NO_3^- e Mn_4^+ , o Fe^{+++} pode receber elétrons da oxidação da matéria orgânica, uma vez que esta é a principal fonte de elétrons para as reações de redução do solo. (PONNAMPERUMA, 1984).

O ferro, sob forma reduzida (Fe^{++}), é preferencialmente absorvido pelas raízes das plantas, entretanto, prin-

cipalmente em solos ácidos, a concentração do Fe^{++} na solução pode atingir níveis tóxicos para a cultura do arroz. O distúrbio fisiológico atribuído a essa toxicidade vem sendo constatado como uma das principais limitações de micronutrientes ao cultivo do arroz em solos submersos. A minimização da toxicidade do Fe^{++} pode ser obtida através de práticas como a calagem, drenagem, pré-submersão, aplicação de MnO_2 e eliminação de matéria orgânica, embora somente a drenagem e a calagem tenham mostrado bons resultados (BARBOSA FILHO, 1987). Em muitos casos, a calagem pode não ser viável economicamente, sendo então recomendado o plantio de cultivares tolerantes ou resistentes a toxidez por ferro.

Considerando-se a importância desta cultura, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adição de esterco bovino, palha de arroz, adubação mineral e calagem no acúmulo de ferro no arroz irrigado.

1. Trabalho apresentado no XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Viçosa, 23 a 29 de julho de 1995.

2. Eng. Agr., M.Sc. - Pesquisador da EPAGRI, Estação Experimental de Urussanga, Rod. SC 446 - km 16, Caixa Postal 49, 88840-000 Urussanga - SC/BRASIL.

3. Eng. Agr., M.Sc., Dr. - Professor do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia da UFRGS, Caixa Postal 776, 90001-970 Porto Alegre - RS/BRASIL.

4. Eng. Agr., M.Sc., Ph.D. - Professor do Departamento de Solos, Instituto de Agronomia UFRRJ, 23850-970 Itaguaí -RJ/BRASIL.

Recebido para publicação em 26/01/1996.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da UFRRJ, utilizando-se amostras dos horizontes A e Cg de um solo glei pouco húmico, coletado no Vale do rio São João, muni-

cípio de Casemiro de Abreu (RJ), cujas características físicas e químicas são apresentadas na Tabela 1. Foram utilizados vasos de 10 L contendo 6 L de solo. Como planta-teste, empregou-se a cultivar BR IRGA 409, com duas plantas por vaso.

TABELA 1 - Análise física e química dos horizontes A e Cg do solo Glei em estudo¹¹

Hori- zonte	Argila	Silte	Areia	K	Al	Ca+Mg	P	Fe	C	N	C/N	pH
	g/kg			mmol/kg			mg/kg	g/kg	g/kg			
A	690	250	60	3,3	15	100	5	15	63	5,2	12,1	4,8
Cg	790	200	10	1,0	53	25	3	23	11	1,6	6,9	4,7

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em um fatorial completo 2⁴x2 com quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram solos de dois horizontes (A e Cg) em presença e ausência de esterco bovino, palha de arroz, NPK e calagem, com as devidas combinações, mais o tratamento testemunha. Os materiais orgânicos, cuja análise química encontra-se na Tabela 2, foram aplicados na base de 40 t/ha de matéria orgânica (C% x 1,72). Estes materiais foram incorporados após moagem, sendo que nos tratamentos com mistura de materiais orgânicos, foi utilizado a metade da dose de cada um. A adubação mineral NPK

correspondeu a recomendação para este solo [120 (20, 40 e 60), 80 e 54], aplicada por ocasião da semeadura. A calagem, na forma de CaCO₃ (produto p.a.), foi efetuada 20 dias antes da semeadura, na proporção de 4 a 8 t/ha, respectivamente para o horizonte superficial (A) e subsuperficial (Cg). Estas quantidades foram determinadas num experimento de incubação em condições de inundação, no laboratório, de tal forma que o pH atingisse 6,5 unidades. A complementação da adubação foi realizada com micronutrientes na base de 25, 25, 5, e 0,5 kg/ha de sulfato de zinco, sulfato de cobre, ácido bórico e molibdato de amônio, respectivamente.

TABELA 2 - Análise química dos materiais orgânicos utilizados

Materiais	C	N	P	K	Ca	Mg	C/N	pH(H ₂ O)
	g/kg							
Esterco bovino	395	17	9	9	11	6	23	8,0
Palha de arroz	413	8	3	15	2	1	49	8,2

No final do período experimental (aproximadamente 140 dias após o plantio), as plantas foram coletadas e determinou-se o teor total de ferro na matéria seca da parte aérea, utilizando a digestão nitro-perclórica descrita por BATAGLIA et al. (1983). A partir dos procedimentos normais da análise de variância compararam-se as médias entre tratamentos e horizontes utilizando-se o teste Tukey a 5% de probabilidade. O desdobramento das interações estatísticas foram feitas segundo COCHRAN e COX (1975).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que todos os tratamentos utilizados, exceção do esterco bovino, influenciaram o teor de ferro na parte aérea do arroz (Tabela 3). A adubação mineral NPK diminuiu o teor de ferro tanto isoladamente (Tabela 4a) como na presença e ausência de esterco (Tabelas 5b e 6a) e/ou palha (Tabelas 5c e 6e). Na presença do corretivo (Tabela 5a e 6e) estes efeitos foram mais acentuados no horizonte subsuperficial Cg,

mostrando valores superiores quando comparados ao A. Possivelmente, a adubação NPK, principalmente devido a presença de potássio, favoreceu uma melhor oxidação da rizosfera, diminuindo a absorção do ferro na

forma reduzida. Outro fator que pode ter contribuído para a redução da concentração do ferro, foi o efeito da diluição ocorrida em função da maior quantidade de matéria seca produzida (Tabela 3, entre parênteses).

TABELA 3 -- Efeito dos tratamentos sobre o teor de ferro na matéria seca da parte aérea do arroz irrigado cultivado nos horizontes superficial (A) e subsuperficial (Cg) de um solo glei pouco húmico

Tratamentos	Horizontes	
	A	Cg
	mg/kg	
Testemunha	384 (25,3)	187 (1,1)
NPK	408 (40,6)	302 (15,5)
Calagem (C)	284 (22,9)	159 (2,8)
Esterco (E)	386 (37,3)	1305 (10,5)
Palha (P)	210 (39,6)	3508 (0,2)
NPK + C	320 (36,2)	169 (16,7)
NPK + E	428 (51,2)	656 (27,8)
NPK + P	263 (47,7)	998 (15,3)
C + E	325 (39,5)	360 (11,9)
C + P	199 (52,3)	270 (5,6)
E + P	326 (37,1)	1795 (1,1)
NPK + C + E	260 (56,0)	191 (33,1)
NPK + C + P	230 (54,6)	293 (24,5)
NPK + E + P	349 (47,3)	795 (28,1)
C + E + P	214 (55,2)	229 (11,1)
NPK + C + E + P	305 (55,0)	349 (31,9)

Entre parênteses, a produção de matéria seca da parte aérea (g/vaso).

TABELA 4 - Efeito das interações duplas entre NPK, calagem (C), esterco (E) palha (P) e horizontes sobre a concentração de ferro (mg/kg) na parte aérea do arroz irrigado, em um solo glei pouco húmico

a	Interação NPK X Horizontes		b	Interação C X Horizontes	
	Com NPK	Sem NPK		Com C	Sem C
Hor. A	320 c	291 c	Hor. A	267 c	344 b
Hor. Cg	469 b	977 a	Hor. Cg	253 c	1193 a

c	Interação E X Horizontes		d	Interação P X Horizontes	
	Com E	Sem E		Com P	Sem P
Hor. A	324 b	287 b	Hor. A	262 d	349c
Hor. Cg	710 a	736 a	Hor. Cg	1030 a	416 b

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente a nível de 5% do teste Tukey.

TABELA 5 – Efeito das interações duplas entre NPK, calagem (C), esterco (E) e palha (P) sobre a concentração de ferro (mg/kg) na palha do arroz irrigado, em um solo glei pouco húmico

a	Interação NPK X C		b	Interação NPK X E		c	Interação NPK X P	
	Com NPK	Sem NPK		Com NPK	Sem NPK		Com NPK	Sem NPK
Com C	265 c	255 c	Com E	417 b	618 a	Com P	448 b	844 a
Sem C	525 b	1013 a	Sem E	373 b	650 a	Sem P	342 c	424 b

d	Interação C X E		e	Interação C X P		f	Interação E X P	
	Com E	Sem E		Com P	Sem P		Com E	Sem E
Com C	279 b	241 b	Com C	261 c	259 c	Com P	545 b	746 a
Sem C	755 a	783 a	Sem C	1031 a	507 b	Sem P	489 b	277 c

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente a nível de 5% do teste Tukey.

TABELA 6 – Efeito das interações triplas entre NPK, calagem (C), esterco (E), palha (P) e horizontes sobre a concentração de ferro (mg/kg) na palha do arroz irrigado, em um solo glei pouco húmico

a	Interação C X E X Horizontes				b	Interação C X P X Horizontes			
	A	Cg	A	Cg		A	Cg	A	Cg
Com E	Com E	Sem E	Com E	Sem E	Com P	Sem P	Com P	Sem P	
Com C	276 cd	258 d	282 cd	223 d	Com C	237 d	297 d	285 d	220 d
Sem C	372 c	316 cd	1138 b	1249 a	Sem C	287 d	402 c	1774 a	613 b

c	Interação NPK X E X Horizontes				d	Interação NPK X P X Horizontes			
	A	Cg	A	Cg		A	Cg	A	Cg
Com E	Com NPK	Sem NPK	Com NPK	Sem NPK	Com P	Sem NPK	Com NPK	Sem NPK	
Com E	336 d	313 d	498 c	1031 a	Com P	287 de	237 e	609 b	1451 a
Sem E	305 d	269 d	441 c	922 b	Sem P	354 d	345 d	330 de	503 c

e	Interação NPK X C X Horizontes				f	Interação E X P X Horizontes			
	A	Cg	A	Cg		A	Cg	A	Cg
Com C	Com NPK	Sem NPK	Sem NPK	Com NPK	Com P	Sem P	Com P	Sem P	
Com C	279 cd	256 d	251 d	255 d	Com E	299 de	350 d	792 b	628 c
Sem C	362 c	327 cd	688 b	1699 a	Sem E	226 e	349 d	1267 a	204 e

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente a nível de 5% do teste Tukey.

Em geral, ocorre elevação do potencial redox (E_H) quando se adiciona adubação mineral, pois conduz a uma maior oxidação das raízes, e a ausência, principalmente do potássio, leva a quedas no E_H , aumentando assim, a concentração de Fe^{2+} na solução. A deficiência de potássio reduz a capacidade de oxidação da rizosfera, ficando estas sujeitas, a toxidez por ferro, pela incapacidade de excluí-lo (POTAFOS, 1990). TADANO e TANAKA citado por TROLLDENIER (1977), trabalhando com um solo sulfatado ácido, observaram menores teores de ferro na planta e maiores valores de E_H com a aplicação de potássio. TROLLDENIER (1977) também verificou que o potencial redox era mais alto em presença de NPK, indicando uma maior energia de

oxidação nas raízes e, que a falta de K causou uma maior queda no E_H e aumentou o Fe^{2+} em solução. LOPES (1987) trabalhando com a cultivar BR IRGA 409, considerada suscetível a toxidez indireta por ferro (BACHA e ISHIY, 1987), mostrou a possibilidade de minimizar o efeito tóxico através da adubação NPK e calagem.

A presença, ou ausência do esterco isoladamente dentro de um mesmo horizonte não teve efeito, apesar de aumentar os teores de ferro no horizonte subsuperficial Cg (Tabela 4c). Em relação a palha houve diminuição na concentração de ferro no horizonte A e aumento no Cg (Tabela 4d). Também, a aplicação de esterco na presença da palha reduziu os teores de ferro nos horizontes (Tabela 5f), principalmente no horizon-

te Cg (Tabela 6f). O decréscimo nos teores de ferro no horizonte A, deve-se ao efeito de diluição, já que a incorporação de palha aumentou o peso da matéria seca da parte aérea, enquanto que no horizonte Cg, diminuiu.

A aplicação de palha isoladamente no horizonte Cg promoveu um acúmulo de ferro no tecido do caule, confirmado pela cor avermelhada e análise química do tecido vegetal (3508 mg/kg). Este valor está bem acima daquele considerado tóxico (300 mg/kg) no tecido foliar, no estágio de florescimento do arroz irrigado (FAGERIA, 1984). CLARK et al. (1957) e MOTOMURA (1962), observaram que a adição de palha de arroz aumentou a concentração de Fe⁺⁺ na solução do solo e na planta e reduziu a produção de matéria seca do arroz. Resultado semelhante, ocorreu com o uso do esterco no horizonte subsuperficial Cg, onde verificou-se também alta concentração de ferro (1305 mg/kg). Tal situação levou a paralisação do perfilhamento, redução do peso radicular e a presença de raízes grossas e poucos pelos radiculares. Por outro lado, BARBOSA FILHO et al. (1983), relatam que a relação entre macro e micronutrientes e o teor de ferro na parte aérea das plantas é mais importante do que a quantidade absoluta de ferro no tecido e que, o nível tóxico de ferro depende do balanço nutricional da planta. HOWELER (1973), também sugere que a severidade da toxicidade de ferro está associada, principalmente, aos teores de P, K, Ca e Mg nas folhas.

A adição isolada do corretivo diminuiu a concentração de ferro na matéria seca da parte aérea das plantas cultivadas nos dois horizontes (Tabela 4b), enquanto que na sua ausência, promoveu elevação na concentração de ferro no Cg. Verificou-se que a calagem, na presença e/ou ausência de esterco e/ou palha, diminuiu as concentrações de ferro na planta de arroz (Tabela 5de), sendo mais acentuada, principalmente no horizonte Cg (Tabela 6ab). Vários trabalhos tem mostrado que a calagem é uma das práticas mais eficientes no controle da toxicidade de ferro e as concentrações de Fe⁺⁺ na solução do solo podem ser elevadas, apenas em função do pH (HOWELER, 1973; De DATTA, 1981; SOARES, 1987).

PONNAMPERUMA e SOLIVAS (1980) verificaram efeitos positivos da calagem (5 t/ha) no controle da toxicidade de ferro e produção do arroz irrigado, resultado também observado por FREIRE et al. (1984). LOPES (1987) mostrou que o calcário diminuiu o efeito tóxico do ferro e que os compostos formados nestas condições são de baixa solubilidade e mesmo ocorrendo a redução do ferro após o alagamento, com conseqüente aumento na disponibilidade, este aumento na solução é lento.

CONCLUSÃO

- A adubação NPK e/ou calagem na presença, ou não, dos materiais orgânicos, reduziu as concentrações de ferro na matéria seca da parte aérea do arroz no horizonte Cg, enquanto que o uso destes materiais orgânicos, isoladamente promoveu, a elevação da concentração de ferro.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- BACHA, R.E.; ISHIY, T. Seleção de genótipos de arroz irrigado para resistência a toxidez de ferro. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v. 40, p.20-21, 1987.
- BARBOSA FILHO, M.P. Toxicidade de ferro em arroz irrigado. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1987, Goiânia. *Anais...* Goiânia: CNPAF, 1987. p.13-33.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Manejo d'água e calagem em relação a produtividade e toxicidade do ferro em arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.18, p.903-910, 1983.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 94p. (Boletim Técnico, 4).
- CLARK, F.; NEARPASS, D.C.; SPECHT, A.W. Influence of organic additions and flooding on iron and manganese uptake by rice. *Agronomy Journal*, Madison, v.49, p.586-589, 1957.
- COCHRAN, W.S.; COX, G.M. *Experimentals designs*. New York: Wiley, 1975. 458p.
- De DATTA, S.K. *Principles and practices of rice production*. New York: J. Willey, 1981. 618p.
- FAGERIA, N.K. *Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz*. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 341p.
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F. de; SOARES, P. C.; COSTA, L. M. da. Toxicidade de ferro e seu controle em arroz irrigado. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.10, p.45-51, 1984.
- HOWELER, R.H. Iron-induced orangng disease of rice in relation to physico-chemical changes in a flooded oxisol. *Soil Science Society American Proceedings*, Madison, v.37, p.898-903, 1973.
- LOPES, M.S. Ocorrência de alaranjamento na cultura de arroz irrigado. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.40, p.28-29, 1987.
- MOTOMURA, S. Effects of organic matters on the formations of ferrous iron in soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v.8, p.20-29, 1962.
- PONNAMPERUMA, F.N. Straw as a source of nutrients for wetland rice. In: IRRI. *Organic matter and rice*. Manila, 1984. p.117-136.
- PONNAMPERUMA, F.N.; SOLIVAS, J.C. Field amelioration of acid sulfate soil for rice with manganese dioxide and lime. *International Rice Research Newsletter*, Manila, v.5, n.6, p.20, 1980.
- POTAFOS. *Potássio: necessidade e uso na agricultura moderna*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1990. 45p.

SOARES, S.F. Manejo de água, calagem, aplicação de fósforo e potássio em arroz irrigado em solos com problemas de toxidez de ferro. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1987, Goiânia. *Anais...* Goiânia: CNPAF, 1987. p.148-163.

TIAN-YEN, Y. **Physical chemistry of paddy soils.** Berlin:Springer Verlag, 1985. 218p.

TROLLDENIER, G. Mineral nutrition and reduction processes in the rhizosphere of rice. *Plant and Soil*, The Hague, v. 47, p.193-202, 1977.

SEÇÃO: VETERINÁRIA

AVALIAÇÃO DE UM TESTE DE ELISA INDIRETO PARA DETECTAR E TIPIFICAR VIRUS DA FEBRE AFTOSA

JOSÉ ANTONIO PIRES PRADO¹, JOÃO CARLOS FREITAS TEIXEIRA², PAULO ESTANISLÁO RECKZIEGEL³,
SYLIO ALFREDO PETZHOLD⁴

RESUMO - Um kit de elisa indireto foi usado para diagnosticar o vírus da febre aftosa para os tipos O1, A24, C3 incidentes no Estado do Rio Grande do Sul no período 1984 - 1993. As amostras foram selecionadas ao acaso e testadas por elisa, fixação do complemento(FC) e em cultura de tecido. De um total de 106 amostras de suspensões originais, 78(73,5%) foram positivas em elisa e 39(36,8%) foram positivas por fixação do complemento. Quando estas amostras foram inoculadas em culturas de células, ambos os testes tiveram idêntica performance, embora o teste de elisa tenha sido capaz de detectar mais amostras positivas que o teste de fixação de complemento durante a 1ª passagem em cultura de tecido. Todas as amostras negativas(16) incluídas no experimento se mostraram negativas em todos os testes e durante toda a investigação. O teste de elisa foi mais sensível que FC; elisa e FC tiveram a mesma especificidade. Elisa e cultura de tecidos se mostraram o melhor sistema para detectar o antígeno de febre aftosa que o teste de FC.

Palavras-chave: febre aftosa; elisa indireto, fixação de complemento, cultura de tecidos.

EVALUATION OF AN INDIRECT ELISA FOR DETECTION AND TYPING OF FOOT AND MOUTH DISEASE VIRUS

ABSTRACT - A Indirect enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) kit was used for diagnosis of foot and mouth disease virus (FMDV) types O1, A24, C3 which occurred in Rio Grande do Sul State, Southern Brazil during 1984-1993. The samples were randomly selected and tested by Elisa, Complement Fixation Test (CFT) and in tissue culture. Out of 106 samples 78 (73.5%) were positive by Elisa and 39 (36.8 %) were found positive in CFT, when original suspensions were used. Once those samples were inoculated onto tissue culture both tests gave similar results, although Elisa picked up more positive samples during the 1st passage in tissue culture. The negative samples (16) included in this study were negative in all tests. The Elisa was more sensitive than and as specific as CFT. Elisa and tissue culture together were shown to be a better system for detection of Foot and Mouth Disease (FMD) antigen than CFT.

Key words: Foot and Mouth Disease; Indirect Elisa; Complement Fixation; Tissue Culture.

1. Méd. Vet., Dip. TVSc/M.Sc. - FEPAGRO/Centro de Pesquisa Veterinária Desidério Finamor, Rod. BR-116(Sul) - km 291, 92990-000 Eldorado do Sul - RS/BRASIL.
 2. Biol. - FEPAGRO/Centro de Pesquisa Veterinária Desidério Finamor.
 3. Méd. Vet., M.Sc. - FEPAGRO/Centro de Pesquisa Veterinária Desidério Finamor.
 4. Med. Vet., M.Sc. - FEPAGRO/Centro de Pesquisa Veterinária Desidério Finamor.
- Recebido para publicação em 08/01/1996.

INTRODUCTION

Foot and Mouth Diseases (FMD) is a highly contagious disease of cloven-hoofed animals and is one of the most important viral disease affecting livestock. Its major effect is as a constraint to international trade (export/import) between FMD-free countries and those in which FMD is endemic (South America, Africa and Asia). As Rio Grande do Sul State, Brazil, is involved in the Programm of Control and Eradication of FMD in the River Plate Basin Area, involving Argentina, Brazil, Paraguay and Uruguay (COSALFA, 1993) it is very important to have early notification of outbreaks and rapid diagnosis. Any failure in diagnosis will affect disease control and will favour the spread of infection. All strategies of control and eradication of FMD in this area rely on effective vaccination of cattle, a network of veterinary officers and efficient diagnostic laboratories. Thus, it is necessary that laboratory tests for FMD should have very good sensitivity, specificity and reliability. In most countries of South America detection and typing of FMDV has been carried by CFT (ALONSO, 1986), however, CFT has many disadvantages such as: low sensitivity, it is cumbersome, time consuming, and requires a good laboratory structure to set up the technique. The advantages of indirect Elisa for typing of FMDV have been described (HAMBLIN et al., 1984; FERRIS and DOWSON, 1988; GOMES et al., 1989; ROEDER and LEBLANC SMITH, 1987; KITCHING, 1992). Thus, the purpose of this investigation was to evaluate an Elisa Kit for FMD antigen detection and compare it with CFT and tissue culture, using the virus collection of IPVDF's FMD Unit and samples submitted from outbreaks, at IPVDF-Regional Diagnosis Laboratory, Rio Grande do Sul State.

MATERIAL AND METHODS

Field Samples

Epithelial samples collected from 1984 up to 1994 were sent to IPVDF, Regional Diagnosis Laboratory. A total of 90 positive samples (Type O1:25; type A24; type C3:19) and 16 known negative samples were stored at -20° C in PBS, pH 7.4 with 50 % glicerol. All samples were tested by ELISA, CFT and inoculated onto tissue culture (roller bottles) either as original suspensions or as tissue culture supernatants.

CF Test

The CF test used was a tube test (CF 50%) standardized by the Panamerican Foot and Mouth Disease Centre (PAFMDC) for FMDV (ALONSO, 1986).

Elisa procedure

Elisa Kit provided by Joint Division FAO/IAEA-Vienna, Austria was used. It is based on an indirect sandwich Elisa. Briefly, rabbit antisera specific for the different types and subtypes of FMDV and Vesicular Stomatitis Virus (VSV) are adsorbed to polystyrene plates. Following the addition of the test sample, the antigen is trapped by the immobilized antibodies. Specific guinea pig antisera are added to react with the trapped antigen. The reaction is detected by the addition of antiguinea pig antibody conjugated to HRP. After the addition of substrate/chromogen a coloured reaction develops allowing identification of the antigen (JOINT FAO/IAEA Elisa Manual, v.1.1, 1992).

Virus Isolation

One ml of the original suspensions were inoculated into cultures of IBRS-2 cells grown in 1 litre disposable plastics bottles. The monolayers were washed with 50 ml of maintenance medium and subsequently 100 ml of the same medium was added. After inoculation these bottles were incubated at 37C in roller apparatus for 48 hs or harvested earlier if citopathic effect was observed.

RESULTS AND DISCUSSION

The results obtained by Elisa and CFT with original suspensions are shown in Table 1. Elisa was positive in 73.5% while 36.8% were positive by CFT. All samples (positives and negatives) were inoculated onto tissue culture (three passages) and results are shown in Table 2. Both tests successfully detected virus in the tissue culture supernatants but Elisa identified more positive results than CFT at the 1st passage. In these cases the samples were inoculated (2nd and 3rd passages) to increase the virus titre and subsequently CFT gave a positive typing. Elisa was not able to detect FMDV in 28 original suspensions (26.5%) and CFT failed to detect virus in 67 original suspensions (63.2%). The results with negative samples (16), included in this experiment, had complete agreement in all tests. The sensitivity and specificity of Elisa and CFT are shown in Tables 3 and 4.

TABLE 1 - Typing of FMDV by Elisa and CFT using original suspensions of field samples

	CFT	ELISA
Positive	39(36.8%)	78(73.5%)
Negative	67(63.2%)	28(26.5%)
Total	106	106

TABLE 2 - Typing of FMDV by Elisa and CFT on cell culture harvests

		1st passage	2nd passage	3rd passage
CFT	Positive	79(75.5%)	90(85.0%)	
	Negative	27(25.5%)	16(15.5%)	16
ELISA	Positive	90(85.0%)		
	Negative	16(15.0%)	16	16

TABLE 3 - Sensitivity and Specificity of Elisa for detecting FMDV in epithelial samples(original suspensions)

		Positive	Negative	Total
ELISA	Positive	78	78	78
	Negative	12	16	28
	Total	90	16	106

Sensitivity:86.6% - Specificity: 100%

TABLE 4 - Sensitivity and Specificity of CFT for detecting FMDV in epithelial samples(original suspensions)

		Positive	Negative	Total
CFT	Positive	39	0	9
	Negative	51	16	67
	Total	90	16	106

Sensitivity: 43.3% - Specificity: 100%

CFT has been used in South America as the standard test for diagnosis of FMD and other vesicular diseases since 1960 and recommended by the PAFMDC to be used at diagnostic laboratories in all countries in this continent(ALONSO,1986). Since Elisa has been shown to be a sensitive test for diagnosis of FMD(ABU-ELZEIN and CROWTHER,1978; CROWTHER and ABU-ELZEIN, 1979) it is now in use in a majority of laboratories throughout the world for antigen and antibody detection. In this study was possible to confirm once more the disadvantages of CFT in relation to Elisa(Tables 1,2,3 and 4) for detection and typing of FMD. One disadvantage of Elisa Kit tested was the short shelf life of the reconstituted Positive Controls(inactivated antigens). Once diluted they kept acceptable activity for no more than three months as an average between the two batches received for this investigation. It is an aspect that will need additional studies with diluents that may improve antigen stability. Cross reactions were not a problem. When they occurred(four tissue culture samples:O/C) they were probably due to high antigen contents since it was not detected when original suspensions were typed.

CONCLUSIONS

Elisa is simple to perform, rapid and with high sensitivity it has good application in FMD control and diagnosis in any country or areas under eradication programmes.

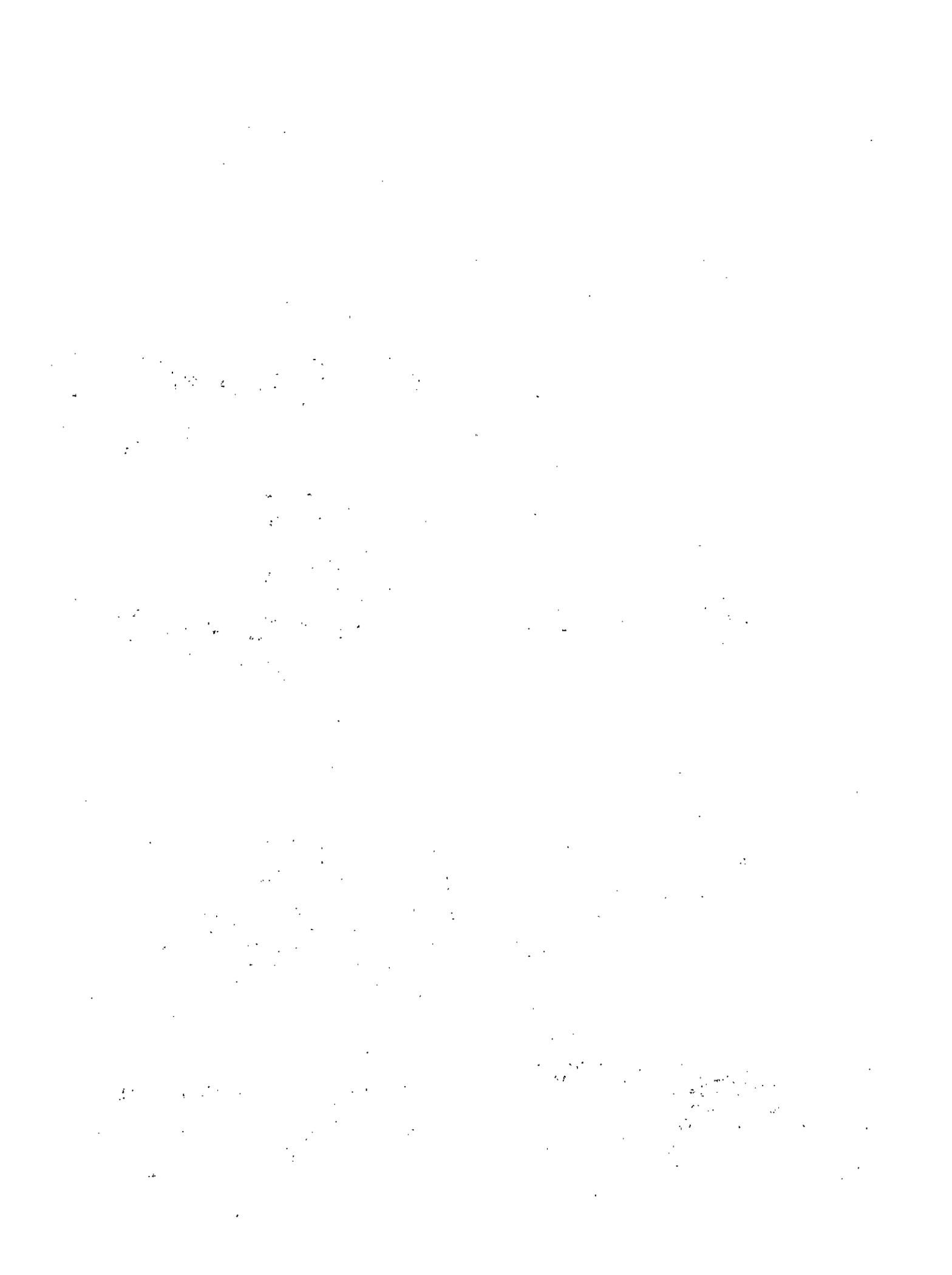
Elisa and tissue culture showed to be the best system for detection and diagnosis of FMD virus.

REFERENCES

- ABU-EL ZEIN,E.M.E.; CROWTHER,J.R. Enzyme-labelled immunosorbent assay techniques in foot and mouth disease virus research. *Journal of Hygiene*, Cambridge, v.80, p.391-400, 1978.
- ALONSO,A.F. *Diagnostico de las enfermedades vesiculares*. Rio de Janeiro: CPFA, 1986. 40p. (Manuales Tecnicos, 15).
- COMISION DE LA LUCHA CONTRA LA FIEBRE AFTOSA. Reunion Ordinaria, 20., Montevideo, 1993. *Informe Final*. p.25-26.
- CROWTHER,J.R.; ABU-EL ZEIN,E.M.E. Detection and quantification of foot and mouth disease virus by enzyme-labelled immunosorbent assay techniques. *Journal of General Virology*, London, v. 42, p.597-602, 1979.
- FERRIS,N.P.; DOWSON,M. Routine application of enzyme-linked immunosorbent assay in comparison with complement fixation for the diagnosis of foot and mouth and swine vesicular disease. *Veterinary Microbiology*, Neetherlands, v.16, p.201- 209, 1988.
- GOMES,M.P.D; SÖNDAHL,M.S; MARTINS,M.A; CASAS OLASCOAGA,R; ALONSO,A.F. Application of enzyme-linked immunosorbent assay for the diagnosis of foot and mouth disease virus and vesicular stomatitis in comparison with the complement fixation. *Boletin del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa*, Rio de Janeiro, v.55, p.21-25, 1989.
- HAMBLIN, C; ARMSTRONG,R.M; HEDGER, R.S. A rapid enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of foot and mouth disease virus in epithelial tissues. *Veterinary Microbiology*, Neetherlands, v.9, p.435-443, 1987.
- JOINT FAO, IAEA. *Elisa Manual for Detection of FMD/ VSV*; Bench Protocol; Version FMD 1.1, Vienna, 1992.
- KITCHING, R.P. Current status for the standardisation and supply of reagents for FAO/IAEA FMD Elisa kits. In: *IMMUNOASSAY METHODS FOR THE DIAGNOSIS AND EPIDEMIOLOGY OF ANIMAL DISEASES IN LATIN AMERICA*. Bogota, 1992. *Proceedings...* p.4-5.
- ROEDER, P.L; Le BLANC SMITH,P.M. Detection and typing of FMD virus by enzyme-linked immunosorbent assay: a sensitive, rapid and reliable technique for primary diagnosis. *Research in Veterinary Science*, v.43, p.225-232, 1987.

Acknowledgments

I would like to thank Dr. Paul Kitching(WRL-Pirbright, England) for his support and criticism during the investigation and for advice given in the preparation of this paper and to Mr. Davi Borba for his technical assistance. Finally I thank the Joint FAO/IAEA - Animal Health Section for providing the Elisa Kit, consumables and equipment to carry out this study under Research Contract no. 6520/SD.



VACINAS ANTIAFTOSA OLEOSAS COM E SEM ANTÍGENOS CONCENTRADOS POR HIDRÓXIDO DE ALUMÍNIO: RESPOSTA IMUNE DE BOVINOS PRIMOVACINADOS¹

SYLIO ALFREDO PETZHOLD², JOSÉ ANTÔNIO PIRES PRADO², PAULO ESTANISLÃO RECKZIEGEL², JOÃO CARLOS FREITAS TEIXEIRA³, VERA BEATRIZ WALD⁴

RESUMO - A resposta imune, induzida por três diferentes vacinas antiaftosa oleosas, foi comparada em bovinos primovacinados. As vacinas utilizadas foram: 1) vacina oleosa referência (VOR) sem hidróxido de alumínio; 2) VOR com hidróxido de alumínio (VOAl) e 3) vacina oleosa com antígeno 10 vezes concentrado por hidróxido de alumínio (VO10x). Cada vacina experimental foi aplicada em um grupo de 9 bovinos, recebendo cada animal a dose de 5 ml por via intramuscular. Os anticorpos neutralizantes induzidos pelas vacinas foram quantificados ao zero dia, e aos 30, 90 e 180 dias pós-vacinação através de testes de vírusneutralização (VN). Todos os animais foram testados previamente por VN e para a presença de anticorpos contra antígenos associados à infecção viral (VIA), sendo considerados sensíveis à febre aftosa e permanecendo VIA negativos por todo o período do experimento. Os resultados obtidos revelaram que, isoladamente, a concentração do antígeno 10 vezes ou a adição de hidróxido de alumínio (HAL), não foram suficientes para incrementar significativamente ($P>0,05$) os índices de anticorpos neutralizantes. A concentração do antígeno 10 vezes e a concomitante adição de HAL estimularam significativamente ($P<0,05$) os níveis de anticorpos circulantes detectados.

Palavras-chave: imunologia, vacina bovina, aftosa, hidróxido de alumínio, vacina oleosa.

FOOT-AND-MOUTH DISEASE OIL VACCINES WITH OR WITHOUT ALUMINUM HYDROXIDE CONCENTRATION OF ANTIGEN: IMMUNE RESPONSE IN VACCINATED CATTLE

ABSTRACT - The immune response of three different formulations of foot-and-mouth disease (FMD) oil vaccines in vaccinated cattle was compared. The vaccines used were: 1) standard oil vaccine (VOR) without aluminum hydroxide; 2) VOR with aluminum hydroxide (VOAl) and 3) oil vaccine containing antigen 10x concentrated by aluminum hydroxide (VO10x). Each vaccine was used in a group of 9 animals, and each animal received a 5ml dose of vaccine by intramuscular route. Neutralizing antibodies were evaluated by virus neutralization test (VN) at day 0 and at 30, 90 and 180 days post vaccination. All animals were shown previously to be free of either neutralizing or anti-VIA (viral infection associated antigen) antibodies and were considered to be susceptible to FMD. Serology for anti-VIA antibodies was carried out and the tests were negative during the experiment. The results obtained showed that concentrating antigen (10x) was not enough to increase significantly ($P>0.05$) the levels of neutralizing antibodies, and also that the aluminum hydroxide (HAL) included in VOR did not increase significantly the level of these antibodies. Antigen concentration (10x) plus the addition of HAL increased significantly ($P<0.05$) the antibody levels of vaccinated animals.

Key words: Immunology, cattle vaccines, foot-and-mouth disease, aluminum hydroxide, oil vaccines.

INTRODUÇÃO

A febre aftosa (FA) é uma enfermidade vesicular, infecto contagiosa, com grande poder de difusão, que afeta em forma natural os animais biungulados domésticos e selvagens. O agente etiológico é um vírus pertencente à família Picornaviridae, gênero *Aftovirus* ou vírus da febre aftosa (TALBOT e BROWN, 1972; COOPER et al., 1978).

É uma das mais temidas e prejudiciais enfermidades que afetam a pecuária, devido às graves perdas diretas e indiretas que causa à comunidade rural e a todos os

segmentos a ela relacionados, com conseqüente impacto político e sócio-econômico negativo. Os efeitos danosos refletem-se não só na produção animal, mas na economia de uma maneira geral, pois atingem a comercialização nacional e internacional de animais, seus produtos e subprodutos. As maiores perdas são devidas às profundas repercussões internacionais onde ocorrem as principais implicações políticas e restrições comerciais.

A FA há mais de 450 anos ameaça a saúde da pecuária (HYSLOP, 1972), deixando sob risco todas as áreas do planeta (BROWN, 1981). É considerada como

01. Parte da tese apresentada pelo autor no 1º CONGRESSO DE MEDICINA VETERINÁRIA DO CONE SUL, 1994.

02. Méd. Vet., M.Sc. - FEPAGRO/Centro de Pesquisa Veterinária Desidério Finamor, BR 116 (Sul) km 291, 92990-000 Eldorado do Sul - RS/BRASIL.

03. Biol. - FEPAGRO/Centro de Pesquisa Veterinária Desidério Finamor.

04. Méd. Vet., M.Sc. - Prof. da Faculdade de Veterinária da UFRGS, Av. Bento Gonçalves 9090, 91540-000 Porto Alegre - RS/BRASIL.

Recebido para publicação em 26/01/1996.

a mais importante das afecções transmissíveis dos animais (HYSLOP, 1972; BROWN, 1981).

As vacinas tiveram extraordinário sucesso e constituem-se em uma das grandes estratégias para o controle e erradicação de enfermidades infecciosas como a FA (BROWN, 1984; CASAS OLASCOAGA et al., 1988), principalmente quando associadas a medidas sanitárias adequadas.

Desde o início de sua utilização, as vacinas antiaftosa oleosas (CUNLIFFE e GRAVES 1963) mostraram-se superiores às vacinas aquosas constituídas por adjuvante a base de hidróxido de alumínio (HAL) associado ou não à saponina (RIVENSON et al., 1972; AUGÉ DE MELLO et al., 1975; BARTELING e VREESWIJK, 1991). Esta diferença torna-se ainda mais evidente, em bovinos jovens (AUGÉ DE MELLO et al., 1975).

O HAL é um gel com poder adsorvente e de fácil sedimentação, o que permite por simples eliminação do sobrenadante, manter no sedimento o gel com o antígeno desejado (ABARACÓN, 1974; ABARACÓN et al., 1982,a). Por estas propriedades o HAL foi utilizado para concentrar antígenos destinados a vacinas oleosas (VO). Desta associação entre veículo oleoso e HAL surgiram vacinas antiaftosa oleosas que foram avaliadas em diferentes espécies animais e analisadas sob diversos aspectos como: diferentes proporções entre fase oleosa e fase aquosa; distintas concentrações de antígeno ou ainda com doses reduzidas (SÓLIOM et al., 1977; RIVENSON et al., 1982,a; ABARACÓN et al., 1982,a; ABARACÓN et al., 1982,b; MARCOVECCHIO et al., 1983). Assim, o uso concomitante de veículos oleosos e HAL deu origem a VO visando principalmente o incremento de sua potência, a obtenção de formulações que produziram uma melhor imunidade, ou ainda a redução de sua dose.

Os experimentos supra citados tiveram por objetivos: comparar adjuvantes, concentrar vírus, reduzir a dose da vacina e avaliar a melhor proporção entre fases aquosa e oleosa, havendo em algumas conclusões a "sugestão" de efeito sinérgico entre o HAL e o veículo oleoso, não sendo suficientemente esclarecido se a concentração do antígeno por HAL influi na eficácia da vacina antiaftosa oleosa para bovinos quando utilizada a dose usual de 5 ml.

Observou-se que, em animais primovacinados com vacinas antiaftosa, concentrações antigênicas de até 20 vezes não modificam significativamente a resposta imune (INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA e CENTRO DE ENFERMEDADES ANIMALES DE PLUM ISLAND, 1978), a qual só é aumentada quando as concentrações antigênicas oscilam entre 25 e 47000 vezes (PAY, 1973; RWEYEMAMU et al., 1984).

O presente experimento dá seqüência aos anteriormente citados, adicionando mais informações a respeito da utilização do HAL concomitantemente ao adjuvante oleoso, tendo como objetivos: 1) testar a eficácia da concentração antigênica (10 vezes) por HAL, em bovinos primovacinados com vacina antiaftosa oleosa; 2) verificar se há efeito aditivo adjuvante entre o veículo oleoso e o HAL e 3) verificar se a concentração antigênica (10 vezes) mais a adição de HAL incrementa o nível de anticorpos neutralizantes de bovinos primovacinados.

MATERIAL E MÉTODOS

Local

Os experimentos a campo e provas laboratoriais foram executados no Centro de Pesquisa Veterinária Desidério Finamor (CPVDF) - Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) - Secretaria da Ciência e Tecnologia - RS/Brasil.

Animais

Utilizaram-se bovinos, oriundos do rebanho do CPVDF, com 15 a 24 meses de idade, sem contato prévio com os antígenos do vírus da FA, segundo o descrito em CENTRO PANAMERICANO DE FEBRE AFTOSA (1980) e por VIANNA FILHO et al. (1993). Antes do início do experimento, não se detectou no soro desses animais, anticorpos anti VIA (ALONSO FERNÁNDEZ et al., 1984) ou anticorpos neutralizantes para o vírus da FA (FERREIRA, 1976).

Suspensões Víricas

Elaboraram-se suspensões monovalentes, replicando-se o vírus em células BHK 21 Clone 13 cultivadas em monocamadas (ABARACÓN et al., 1979; OPS, 1987; ALONSO et al., 1994). Utilizaram-se os vírus: O₁ Campos-Br/58, A₂₄ Cruzeiro-Br/55, A Venceslau-Br/76 e C₃ Indaial-Br/71 (ALONSO FERNÁNDEZ et al., 1981), do cepário do laboratório de produção de vacinas antiaftosa do CPVDF.

Inativação

As suspensões víricas foram inativadas com 3 mM de etilenoimina binária (BEI), a 26 °C por 24 horas. A BEI foi obtida a partir de uma solução a 0,1 M de bromohidrato de bromoetilamina (BEA) em hidróxido de sódio a 0,2 N, mantida a 37 °C por uma hora (BAHNEMANN et al., 1974; BAHNEMANN, 1975; GIRARD et al., 1977).

Avaliação e Controles das Etapas de Produção

Com as suspensões destinadas à produção das vacinas foram realizados testes de esterilidade, titulação de infectividade, provas sorológicas de fixação do

complemento (tipificação, subtipificação e titulação), controles de inativação ou não infecciosidade (OPS, 1987), bem como determinação da concentração da partícula 146 S por densidade em gradiente de cloreto de cério⁵ (CENTENO e OBIAGA, 1982; OPS, 1987) e integridade da partícula VP1⁶ (OPS, 1987).

Formulação das Vacinas Oleosas

Produziram-se três vacinas oleosas em forma de emulsão primária (AUGÉ DE MELLO et al., 1975; AUGÉ DE MELLO et al., 1980; OPS, 1987; BAHNEMANN e MESQUITA, 1987), utilizando-se o

Montanide 888^{®7} como emulsificante (ABARACÓN et al., 1982,b). Todas as vacinas oleosas experimentais estavam constituídas por 50% de fase oleosa e 50% de fase aquosa.

a) Fase Aquosa:

As suspensões víricas monovalentes foram mescladas, homogeneizadas e, após, divididas em três alíquotas que deram origem às diferentes fases aquosas das vacinas experimentais. As características e proporções dos antígenos utilizados na elaboração das vacinas constam na Tabela 1.

TABELA 1 - Composição e características da mescla de antígenos que deu origem às diferentes fases aquosas das vacinas antiaftosa oleosas experimentais, aplicadas em bovinos

Vírus ^a	MONOVALENTES					Vírus	MESCLA FINAL		
	ml	TFC	TI	MAg ^d	I ^e		ml	TFC	MAg/dose ^f
O ₁	2900	1/25	6,71	5902	ND	O1	5700	1/11	5,094
O ₁	850	1/51	6,50	4986	ND				
O ₁	1950	1/19	6,38	3679	ND				
A ₂₄	2500	1/25	7,68	4783	CC	A24	2500	1/6	2,135
A _v	2700	1/16	6,89	4198	MR	AV	3200	1/6	2,283
A _v	500	1/19	7,67	2900	CC				
C ₃ I	2600	1/59	6,71	8021	MR	C3I	2600	1/7	3,724

^a - Vírus: O₁ Campos, A₂₄ Cruzeiro, A Venceslau e C₃ Indaial.

^b - Título fixador de complemento 50% - 4 unidades hemolíticas - 90 minutos.

^c - Título infeccioso 50%. Índices em log. base 10.

^d - Massa antigênica em ug por ml.

^e - Integridade da partícula VP1: ND = não determinado; CC = 100% clivado e MR = 75% clivado.

^f - Massa antigênica em ug, estimada a partir das monovalentes, contida em 2,5 ml da mescla antigênica.

b) Fase Oleosa

Composta por 90% de óleo branco refinado (Marcol 52^{®8}) e 10% de emulsificante (Montanide 888).

Características das Vacinas Oleosas Experimentais

Estas vacinas diferenciaram-se apenas na constituição da fase aquosa.

1 - Vacina Oleosa Referência (VOR)

Fase aquosa = mescla das suspensões monovalentes.

2 - VOR com Hidróxido de Alumínio⁹ (VOAI)

Fase aquosa adicionada de HAI a 2,5% de óxido de alumínio. Proporções: 100 partes de fase aquosa e 50 partes de HAI. Após suave agitação por 2 h e repouso por 24 h a 4°C, retirou-se 50 partes de sobrenadante, para manter-se a mesma massa antigênica da VOR.

3 - Vacina Oleosa com Antígeno 10 Vezes Concentrado (VO10x)

A partir de uma alíquota do mesmo HAI utilizado em 1 e procedendo-se da mesma maneira, concentrou-

05. Provas executadas no CPFA.

06. Provas executadas no CPFA.

07. Octadecenoato de anidromanitol - HLB = 5,0, SEPPIC, Paris, França.

08. EXXON CORPORATION, USA. Produto aprovado pelo CODEX Europeu, Farmacopéia e Food and Drug Administration dos Estados Unidos.

09. Hidróxido de alumínio gentilmente cedido pelo Laboratório Bayer S.A. - Porto Alegre.

se o antígeno contido na fase aquosa por eliminação do sobrenadante, após sedimentação do complexo antígeno - HAI (ABARACÓN, 1974).

Proporções: 1000 partes de fase aquosa e 50 partes de HAI com a retirada de 950 partes de sobrenadante. Assim obteve-se uma fase aquosa com a mesma concentração de HAI que a VOAI, porém com 10 vezes mais massa antigênica (MAg).

Os líquidos sobrenadantes oriundos das preparações 2 e 3 foram submetidos a provas sorológicas de tipificação por fixação do complemento (OPS, 1987), apresentando resultados negativos. O HAI utilizado foi submetido a provas biológicas do poder adsorvente (ABREU MARTINS, 1971; ABARACÓN, 1974), na proporção utilizada em 3 (5%), mantendo um índice de adsorção de 2,0 log. 10.

Para a preparação das vacinas oleosas experimentais, utilizou-se um emulsificador de mesa Silverson¹⁰.

Controles do Produto Final

Com as VO finais, realizaram-se testes de pureza bacteriológica, não infectividade, tipo de emulsão, condutividade e estabilidade, cujos resultados foram normais e dentro dos padrões estabelecidos (OPS, 1987).

Vacinações

Ao acaso, separaram-se os animais em três grupos de nove, reservando-se um tipo de vacina para cada grupo; cada bovino recebeu individualmente a dose de 5 ml por via intramuscular profunda no terço cranial do pescoço.

Colheitas de Sangue

Ao dia zero e aos 30, 90 e 180 dias pós-vacinação (DPV), os animais foram sangrados. Em todos estes tempos de sangria, foi pesquisada a presença de anticorpos anti VIA (proteína associada à infecção viral) nos soros dos bovinos, não sendo detectada a sua presença (ALONSO FERNÁNDEZ et al., 1984).

Imunidade Conferida

Acompanhou-se a indução, duração e queda dos níveis de anticorpos circulantes estimulados pelas três vacinas experimentais. Quantificaram-se estes anticorpos frente aos vírus utilizados na produção das vacinas, por vírusneutralização (VN), através da prova de microneutralização (FERREIRA, 1976), calculando-se seus índices pelo método de SPEARMANN - KÄRBER apud OPS (1987).

Delineamento Experimental

Para cada vacina (VO; VOAI; VO10x) foram sorteados 9 animais. Os soros de cada animal foram avaliados quanto a níveis de anticorpos circulantes, frente aos quatro vírus já citados.

Utilizou-se o delineamento em parcela subdividida, sendo consideradas como parcela principal as vacinas e subparcelas os tempos de sangria.

Análise Estatística

Os índices de VN obtidos são apresentados através da média aritmética e desvio padrão. Para fins de análise estatística, foram transformados em $1/\sqrt{y}$, com o objetivo de diminuir a heterogeneidade da variância e assimetria da distribuição dos dados.

A análise dos índices de VN foi feita empregando-se o Modelo Linear Generalizado de acordo com o seguinte modelo matemático:

$$Y_i = \mu + V_i + B_j(i) + \delta_{ij} + T_k + VT_{ik} + e_{ijk}$$

onde:

Y = índice de VN.

μ = média geral da característica na população.

V_i = efeito das vacinas.

$B_j(i)$ = efeito dos bovinos dentro de cada vacina.

δ_{ij} = erro pela variação dos bovinos dentro das vacinas.

T_k = efeito dos dias.

VT_{ik} = efeito da interação das vacinas com os dias.

e_{ijk} = erro experimental (aleatório).

No dia zero atribuiu-se o valor de 0,9 para o índice de VN de todos os animais.

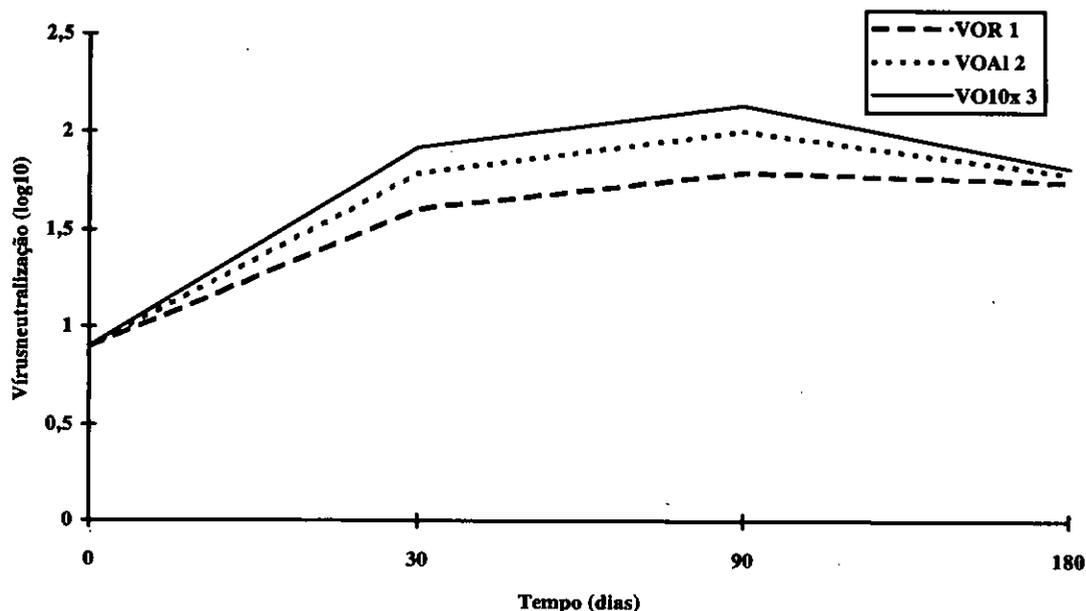
RESULTADOS E DISCUSSÃO

As avaliações das diferentes vacinas foram efetuadas levando-se em conta os índices de VN dos soros frente a todas as amostras de vírus (O₁ Campos, A₂₄ Cruzeiro, A Venceslau e C₃ Indaial), em todos os tempos de sangria, ou seja, aos 30, 90 e 180 DPV.

Os resultados evidenciaram uma superioridade ($P < 0,05$) da VO10x em relação à VOR, não se observando esta diferença comparativamente à VOAI. Embora aparente, não houve superioridade da VOAI em relação à VOR, pois não caracterizou-se diferença significativa ($P > 0,05$) entre ambas.

Através da Figura 1 visualiza-se o resultado das vacinações ao longo do tempo.

10. Silverson Machines Ltda. Waterside, Chesham, Bucks, Machine Serial n°18827 England.



¹ VOR = vacina oleosa referência.

² VOAl = vacina oleosa com hidróxido de alumínio.

³ VO10x = vacina oleosa com antígeno 10 vezes concentrado por hidróxido de alumínio.

FIGURA 1 – Índices de virusneutralização de bovinos primovacinados com vacinas antiaftosa oleosas experimentais, contendo os vírus O₁ Campos, A₂₄ Cruzeiro, A Venceslau e C₃ Indaial

O Anexo I fornece os valores referentes às vacinas e suas respectivas significâncias.

Analisando a Figura 1, verifica-se aos 90 DPV uma superioridade nos índices de anticorpos neutralizantes de todas as VO, em relação àqueles encontrados aos 30 DPV. Estes resultados coincidem com os dados da primeira publicação sobre vacinas antiaftosa oleosas (CUNLIFFE e GRAVES, 1963) e com os resultados de algumas publicações posteriores (CENTRO PANAMERICANO DE FIEBRE AFTOSA e DIRECCIÓN DE LUCHA CONTRA LA FIEBRE AFTOSA, 1978; RIVENSON et al., 1982,a; RIVENSON et al., 1982,b; ROCHA et al., 1983), indicando que em bovinos primovacinados com VO antiaftosa, os níveis de anticorpos continuam subindo após os 30 dias de aplicação da vacina.

Inúmeras variáveis podem influenciar a qualidade das vacinas. O presente trabalho concentrou-se no exame de duas destas variáveis: a massa antigênica e a ação adjuvante. Em vacinas contra a FA estas influências vêm sendo estudadas desde que se observou a necessidade de aumentar o poder imunogênico de tais imunobiológicos.

A ação simultânea de dois adjuvantes foi aqui testada. Um deles, o HAI, vem sendo utilizado desde 1937, quando surgiu a primeira vacina eficaz contra a FA

(WALDMANN et al., 1937), tornando-se desde então o principal e mais utilizado adjuvante destas vacinas. O outro, o adjuvante oleoso, só começou a ser utilizado em FA a partir de 1963 (CUNLIFFE e GRAVES, 1963).

No presente estudo, comparando-se as três VO experimentais produzidas, foi possível avaliar, em vacinas antiaftosa oleosas, a influência das variáveis presença de HAI, concentração antigênica ou ação simultânea destes dois fatores na indução da resposta imune de bovinos primovacinados.

Em animais submetidos a primovacinação, não foi constatada diferença significativa entre a resposta induzida pela VOAl e a resposta induzida pelas demais vacinas testadas (VOR e VO10x). Entretanto observou-se diferença significativa entre as respostas induzidas pela VOR e VO10x.

Os resultados indicaram que a simples adição do HAI, apesar de sugerir, não alterou significativamente os índices de anticorpos neutralizantes detectados em bovinos primovacinados. A concentração de antígeno 10 vezes também não foi suficiente para alterar significativamente os títulos dos anticorpos induzidos pelas vacinas.

Em relação à concentração antigênica, os resultados aqui obtidos foram similares às observações de outros autores. Estes, em outros experimentos, constata-

ram que VO antiaftosa concentradas 20 vezes (INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA e CENTRO DE ENFERMEDADES ANIMALES DE PLUM ISLAND, 1978) não induziram em bovinos primovacinados e revacinados resposta imune significativamente diferente de vacinas oleosas não concentradas. Igualmente os estudos do CENTRO PANAMERICANO DE FIEBRE AFTOSA e DIRECCIÓN DE LUCHA CONTRA LA FIEBRE AFTOSA (1978) são coerentes com os resultados aqui obtidos. Seus experimentos constataram que a diluição de VO antiaftosa oscilando entre 1/10 e 1/160 ocasionou apenas uma "relativa e pequena redução" na média dos títulos de anticorpos em bovinos, evidenciando que alterações de até 16 vezes na concentração do antígeno não modificam significativamente a resposta induzida em bovinos. PAY (1973); RWEYEMAMU et al.(1982); RWEYEMAMU et al.(1984); BLACK et al.(1984) e PAY e HINGLEY (1987) constataram em FA que a relação entre a dose de antígeno aplicada e a resposta imune caracterizou-se por intervalos entre doses de antígeno que oscilaram entre 25 e cerca de 47.000 vezes. Com base nestas conclusões, são necessárias diferenças antigênicas entre vacinas, similares ou superiores a 25 vezes, para que se obtenha diferença significativa na indução da resposta imune de bovinos primovacinados.

As observações do presente estudo dão suporte às conclusões dos pesquisadores anteriormente citados,

pois as vacinas com MAg 10 vezes diferentes não induziram níveis significativamente diferentes de anticorpos circulantes detectáveis.

Como a simples inclusão do HAI na VO, também não foi suficiente para implementar significativamente os títulos de anticorpos circulantes, é bastante sugestivo que a razão da diferença significativa entre a VO10x e a VOR tenha ocorrido devido a um efeito somatório entre os adjuvantes, complementado pela concentração antigênica, como sugerido por RIVENSON et al. (1982,a) e MARCOVECCHIO et al. (1983).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, concluiu-se que, em bovinos primovacinados:

1) A concentração do antígeno (10 vezes) não foi suficiente para incrementar significativamente os níveis de anticorpos neutralizantes detectados.

2) A adição do hidróxido de alumínio na VO não incrementou significativamente os índices de anticorpos neutralizantes detectados, embora houvesse a indicação sugestiva de efeito somatório entre este gel e o adjuvante oleoso.

3) A concentração do antígeno (10 vezes) e a concomitante adição de hidróxido de alumínio, incrementaram significativamente o título de anticorpos neutralizantes detectados.

ANEXO I

Índices de virusneutralização (log₁₀) de bovinos primovacinados obtidos a partir de vacinas oleosas experimentais elaboradas com os vírus O₁ Campos, A₂₄ Cruzeiro, A Venceslau e C₃ Indaial

VACINA	n	30 DPV ¹		90 DPV		180 DPV		TOTAL	
		\bar{y}^5	s	\bar{y}	s ⁶	\bar{y}	s	\bar{y}	s
VOR ²	36	1,61	0,26	1,80	0,34	1,75	0,36	1,72 ^a	0,33
VOAI ³	36	1,79	0,60	2,01	0,49	1,79	0,40	1,86 ^{ab}	0,51
VO 10x ⁴	36	1,92	0,44	2,14	0,49	1,82	0,29	1,96 ^b	0,43

Letras minúsculas desiguais indicam diferença significativa (P < 0,05).

¹ DPV = dias pós vacinação.

² VOR = vacina oleosa.

³ VOAI = vacina oleosa com hidróxido de alumínio.

⁴ VO10x = vacina oleosa com antígeno 10 vezes concentrado por hidróxido de alumínio.

⁵ Média geral dos índices de virusneutralização dos quatro vírus utilizados.

⁶ Desvio padrão.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ABARACÓN, D. Algunos ensayos sobre producción de vacunas antiaftosas inactivadas a partir de virus multiplicado en conejos neonatos. *Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa*, Rio de Janeiro, v.13-16, p.30-49, 1974.
- ABARACÓN, D.; GIACOMETTI, H.; MESQUITA, J. A. El uso de la etilenimina binaria (BEI) como inactivante de virus de la fiebre aftosa producido por diferentes técnicas semi-industriales. *Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa*, Rio de Janeiro, v.33-34, p.1-5, 1979.
- ABARACÓN, D.; MESQUITA, J.A.; GIACOMETTI, H.; SALLÚA, S.; PÉREZ RAMA, R. Preparación de vacuna antiaftosa con adyuvante oleoso usando antígenos adsorbidos sobre hidróxido de aluminio. *Boletín Centro Panamericano de Fiebre Aftosa*, Rio de Janeiro, v.45-46, p.43-46, 1982,a.
- ABARACÓN, D.; MESQUITA, J.A.; SALLÚA, S.; PÉREZ RAMA, R. Emulsificante montanide 888 para preparación de vacuna antiaftosa con adyuvante oleoso. *Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa*, Rio de Janeiro, v.45-46, p.51-53, 1982,b.
- ABREU MARTINS, I. Vacunas antiaftosas hidróxido saponinadas inactivadas por el formol. *Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa*, Rio de Janeiro, v.1, p.1-19, 1971.
- ALONSO, A.; DARSIE, G.C.; TEIXEIRA A.C.; REIS, J.L.; MESQUITA, J.A. Application of monoclonal antibodies to quality control of foot-and-mouth disease vaccines. *Vaccine*, Surrey, v.12, n.8, p.682-686, 1994.
- ALONSO FERNÁNDEZ, A.; VIANNA FILHO, Y.L.; DURINI, L.A.E.; SUTMÖLLER, P. Los virus de fiebre aftosa usados en la producción y control de vacunas en América del Sur. *Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa*, Rio de Janeiro, v.43-44, p.21-28, 1981.
- ALONSO FERNÁNDEZ, A.; SÖNDAHL, M.S.; GIACOMETTI, H.; FERREIRA, M.E.V. *Identification of foot-and-mouth disease via antibodies*. Rio de Janeiro: Centro Panamericano de Fiebre Aftosa, 1984. 31 p. (Manuales Tecnicos, 6).
- AUGÉ DE MELLO, P.; ASTUDILLO, V.; GOMES, I.; CAMPOS GARCIA, J.T. Aplicación en el campo de vacuna antiaftosa oleosa e inactivada: vacunación y revacunación de bovinos jóvenes. *Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa*, Rio de Janeiro, v.19-20, p.31-38, 1975.
- AUGÉ DE MELLO, P.; FREITAS COSTA, K.; ALONSO FERNÁNDEZ, A.; SUTMÖLLER, P.; POLLAK, A.; MILLÁN, A. Influencia del grado de dispersión en la fase acuosa sobre la inmunogenicidad de vacuna antiaftosa con adyuvante oleoso. *Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa*, Rio de Janeiro, v. 37-38, p. 5-9, 1980.
- BAHNEMANN, H.G. Binary ethylenimine as an inactivant for foot-and-mouth disease virus and its application for vaccine production. *Archives of Virology*, New York, v. 47, p. 47-56, 1975.
- BAHNEMANN, H.G.; MESQUITA, J.A. Vacuna antiaftosa con adyuvante oleoso. *Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa*, Rio de Janeiro, v.53, p.19-24, 1987.
- BAHNEMANN, H.G.; AUGÉ DE MELLO, P.; ABARACÓN, D.; GOMES, I. Immunogenicity in cattle of foot-and-mouth disease vaccines inactivated with binary ethylenimine. *Bulletin Office International des Epizooties*, Paris, v.81, n.11-12, p.1335-1343, 1974.
- BARTELING, S.J.; VREESWIJK, J. Developments in foot-and-mouth disease vaccines. *Vaccine*, Surrey, v. 9, p. 75-88, 1991.
- BLACK, L.; RWEYEMAMU, M.; BOGE, A. Revaccination response of cattle as a function of the 140 S foot-and-mouth disease antigen dose. *Journal of Comparative Pathology*, Edinburgh, v. 94, n. 3, p. 417-424, 1984.
- BROWN, F. Foot-and-mouth disease virus. *Biochemical Sciences*, v. 6, n. 12, p. 325-327, 1981.
- BROWN, F. Synthetic viral vaccines. *Annual Review of Microbiology*, Palo Alto, v. 3, p. 221-235, 1984.
- CASAS OLASCOGA, R.; AUGÉ DE MELLO, P.; BERGMANN, I. Perspectivas para nuevas vacunas en América Latina y en el Caribe. *Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa*, Rio de Janeiro, v. 54, p. 7-20, 1988.
- CENTENO, E.R.; OBIAGA, J.A. Determination of antigenic mass in vaccines prepared with foot-and-mouth disease virus. A comparative study using sepharose 4 B chromatographic columns and isodensity centrifugation in a gradient of cesium chloride. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE O IMPACTO DAS DOENÇAS VIRAIS NO DESENVOLVIMENTO DOS PAÍSES LATINO-AMERICANOS E DA REGIÃO DO CARIBE, 1982, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 1982. v. 2.
- CENTRO PANAMERICANO DE FEBRE AFTOSA. (CPFA) *Manual de procedimientos para el control de vacuna antiaftosa*. Rio de Janeiro: Centro Panamericano de Fiebre Aftosa, 1980. 47p. (Manuales Tecnicos, 2).
- CENTRO PANAMERICANO DE FEBRE AFTOSA; DIRECCIÓN DE LUCHA CONTRA LA FIEBRE AFTOSA. Prueba de potencia para vacunas contra la fiebre aftosa de adyuvante oleoso: ensayos de DP₅₀ en cobayos y en bovinos de una vacuna preparada en forma semi-industrial con una emulsion del tipo agua en aceite. *Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa*, Rio de Janeiro, v. 29-30, p. 55-59, 1978.
- COOPER, P.D.; AGOL, V.I.; BACHRACH, H.L.; BROWN, F.; GHENDON, Y.; GIBBS, A.J.; GILLESPIE, J.H.; LONBERG-HOLM, K.; MANDEL, B.; MELNICK, J.L.; MOHANTY, S.B.; POVEY, R.C.; RUECKERT, R.R.; SCHAFFER, F.L.; TYRREL, D.A.J. *Picornaviridae. Intervirology*, Basel, v. 10, p. 165-180, 1978.
- CUNLIFFE, H.R.; GRAVES, J.H. Formalin-treated foot-and-mouth disease virus: comparison of two adjuvants in cattle. *Canadian Journal of Comparative Medicine and Veterinary Science*, Ottawa, v. 27, p. 193-197, 1963.
- FERREIRA, M.E.V. Prueba de microneutralización para estudios de anticuerpos de la fiebre aftosa. *Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa*, Rio de Janeiro, v. 21-22, p. 17-29, 1976.
- GIRARD, H.C.; BAYRAMOGLU, O.; EROL, N.; BURGUT, A. Inactivation of O₁ FMD virus by the Binary Ethylene Imine (BEI). *Bulletin Office International des Epizooties*, Paris, v. 87, n. 3-4, p. 201-217, 1977.

- HYSLOP, N. St. G. La epizootiología y epidemiología de la fiebre aftosa. **Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa**, Rio de Janeiro, v.5, p.1-48,1972.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA ; CENTRO DE ENFERMEDADES ANIMALES DE PLUM ISLAND. Vacuna antiaftosa con adyuvante oleoso: estudio cooperativo. **Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa**, Rio de Janeiro, v. 31-32, p. 29-34, 1978.
- MARCOVECCHIO, F.E.; RIVENSON, S.; BORCA, M.V.; GAGGINO, O. Selección de emulsiones por su poder inmunogénico contra la fiebre aftosa en cobayos. **Revista de Medicina Veterinaria**, Santiago do Chile, v.64, n.5/6, p.337-339, 1983.
- ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD; ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD; BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. **Producción, control de calidad y uso de vacunas con adyuvante oleoso contra la fiebre aftosa**. Washington D.C.: Terra Nova, 1987. 260p.
- PAY, T.W.F. The effect of the antigen dose on the immune responses following primary and secondary foot and mouth disease vaccination of cattle. **Foot and Mouth Disease Bulletin**, Surrey, v.12, p.3, 1973.
- PAY, T.W.F.; HINGLEY, P.J. Correlation of 140 S antigen dose with the serum neutralizing antibody response and the level of protection induced in cattle by foot-and-mouth disease vaccines. **Vaccine**, Surrey, v.5, p.60-64,1987.
- RIVENSON, S.; IBARRA, O.; GAGGINO, O.P.; LAPORTE, O.; GARCIA OLANO, H.; PIZZI, J.C.; MARANGUNICH, L. Estudio comparativo con un nuevo tipo de vacuna antiaftosa oleosa en bovinos. **Revista de Investigaciones Agropecuarias**, Buenos Aires, Série 4, v.9, n.2, p.53-80, 1972.
- RIVENSON, S.; MARCOVECCHIO, F.E.; ZABAL, O.; SADIR, A.M.; BORCA, M.V.; LAPORTE, O. Ensayos comparativos en cobayos y bovinos de una vacuna antiaftosa emulsionada con adyuvante oleoso sintético y hidróxido de aluminio. **Gaceta Veterinaria**, Buenos Aires, v. 44, n.367, p.74-83, 1982,a.
- RIVENSON, S.; SADIR, A.M.; GAGGINO, O.P.; MARCOVECCHIO, F.E.; ZABAL, O.P.; LAPORTE, O. Estudio comparativo en bovinos de vacunas antiaftosas: oleosa e hidroxidosaponinada. **Revista Médica**, Buenos Aires, v.63, n.5, p.364-370, 1982,b.
- ROCHA, J. R.; BARRERA, J. D. C.; BUSTOS, M. Q. Respuesta inmunitaria inducida por vacuna antiaftosa oleosa en bovinos de áreas tropicales de Colombia. **Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa**, Rio de Janeiro, v.47-48, p.35-44, 1983.
- RWEYEMAMU, M.M.; BLACK, L.; NICHOLLES, M.J.; BSARAB, O.; O'REILLY, K. J. The reponse of cattle to FMD vaccination. In: COFERENCE OF THE FOOT AND MOUTH DISEASE COMISSION, 16., 1982, Paris. **Proceedings...** Paris: O.I.E.,1982. p.383-396.
- RWEYEMAMU, M.M.; BLACK, L.; BOGE, A.; THORNE, A.C.; TERRY, G.M. The relationship between the 140 S antigen dose in aqueous foot-and-mouth disease vaccines and the serum antibody response of cattle. **Journal of Biological Standardization**, London, v.12, p.111-120, 1984.
- SÓLYOM, F.; FAZEKAS, A.; CZELLENG, F.; MAKAR, A.; ROITH, J. Efficiency testing of foot-and-mouth disease vaccines prepared from strain "C" with different adjuvants. **Developments in Biological Standardization**, London, v.35, p.113-115, 1977.
- TALBOT, P.; BROWN, F. A model for foot-and-mouth disease virus. **Journal of General Virology**, London, v.15, p.163-170, 1972.
- VIANNA FILHO, Y.L.; ASTUDILLO, V.; GOMES, I.; FERNÁNDEZ, G.; ROZAS, C.E.E.; RAVISON, J. A.; ALONSO, A. Potency control of foot-and-mouth disease vaccine in cattle: comparison of the 50% protective dose and protection against generalization. **Vaccine**, Surrey, v.11, n.14, p.1424-1428, 1993.
- WALDMANN, O. ; KOBE, Z.; PYL, G. Die aktive immunisierung des rindes gegen maul-und-klauseuseche mittels formolimpfstoff. **Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten**, Stuttgart, v.138, p.401-412, 1937.

LEPTOSPIROSE EM SUÍNOS: ETIOLOGIA, DIAGNÓSTICO E CONTROLE (REVISÃO)

SÉRGIO JOSÉ DE OLIVEIRA ¹, PAULO CÉZAR ROMERO DE LIMA ²

RESUMO - São discutidos aspectos referentes à etiologia, sinais de infecção, diagnóstico e controle da leptospirose em suínos, abrangendo extensa literatura sobre o tema. A leptospirose é uma das doenças mais importantes da reprodução, nas granjas de criação de suínos no Brasil. No Rio Grande do Sul a doença é de ocorrência muito frequente, sendo detectada principalmente através de sorologia. A resposta sorológica em rebanhos suínos em nosso Estado tem se modificado quanto aos sorovares de leptospirosas que reagem aos testes de aglutinação microscópica, pois em anos anteriores predominavam reações para *Leptospira pomona*, ao passo que a partir de 1993 tem sido verificado maior frequência de reações sorológicas para *Leptospira icterohaemorrhagiae* e *L. bratislava*. Este fato merece ser considerado na adoção de medidas de prevenção e tratamento, que são também discutidas na presente revisão.

Palavras-chave: Leptospirose, suíno, etiologia, diagnóstico, controle.

LEPTOSPIROSIS IN PIGS: AETIOLOGY, DIAGNOSIS AND CONTROL (REVIEW)

ABSTRACT - Aspects related to the aetiology, signs of infection, diagnosis and control of leptospirosis in pigs are discussed in this article, based on specialized literature on the subject. Leptospirosis is one of the most important diseases causing reproductive problems in pigs in Brazil. In the State of Rio Grande do Sul, it has high prevalence, being diagnosed mainly by serology. *Leptospira pomona* was the most prevalent serovar until 1993, while *Leptospira icterohaemorrhagiae* and *Leptospira bratislava* are more prevalent since then, in our State. This is an important finding that should be considered aiming treatment and prevention measures, also discussed in this paper.

Key words: Leptospirosis, pigs, aetiology, diagnosis, control.

INTRODUÇÃO

Leptospiras são importantes agentes etiológicos de problemas reprodutivos em suínos, constituindo-se na causa de perdas econômicas como consequência de morte de embriões, abortos, natimortos e nascimento de leitões fracos infectados. A leptospirose em suínos pode ser causada por diversos sorovares. Embora na maior parte dos casos o tratamento e a prevenção da doença são semelhantes para as diferentes espécies de leptospirosas, é importante a identificação do agente etiológico, tendo em vista que são reconhecidos dois tipos diferentes de infecção (THIERMANN, 1987): infecção onde o suíno é o hospedeiro definitivo, exemplo, causada por *Leptospira pomona*, ou infecção onde o suíno é hospedeiro acidental, exemplo, causada por *L. grippityphosa*.

O isolamento de *Leptospira sp* em meios de cultura para identificação do sorovar infectante, é um método muito trabalhoso e demorado, mas proporciona segurança no diagnóstico, principalmente quando se visa o controle através da utilização de vacina específica. Um teste mais rápido, o teste sorológico de aglutina-

ção microscópica (COLE et al., 1973), é utilizado como rotina, embora ocorram discrepâncias quando os resultados são analisados individualmente, ou em casos em que foi utilizada vacina polivalente, podendo ocorrer títulos positivos em reações cruzadas aos antígenos vacinais. No entanto, quando o teste de aglutinação microscópica é utilizado em um número representativo de reprodutores de um rebanho, em torno de 10%, reflete o estado imunológico quanto à leptospirose (HILL, 1988).

O monitoramento sorológico de reprodutores e o exame laboratorial para diagnóstico de causas de problemas reprodutivos em granjas de suínos no Estado do Rio Grande do Sul, demonstram que a leptospirose é uma das doenças diagnosticadas mais frequentemente, assim como em outras regiões do país (São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Bahia), onde os resultados dos exames sorológicos ressaltam a importância da leptospirose.

Entre os sorovares diagnosticados, *L. pomona* tem sido o mais frequente (REIS et al., 1973; TERUYA et al., 1974; CORDEIRO et al., 1975; RAMOS et al., 1981; FARIA et al., 1989). No Rio Grande

1. Méd. Vet. M.Sc. - FEPAGRO/Centro de Pesquisa Veterinária Desidério Finamor, Caixa Postal 47, 92990-000 Eldorado do Sul - RS/BRASIL. Bolsista do CNPq.

2. Méd. Vet. - Aluno do Curso de Mestrado em Medicina de Suínos, Faculdade de Veterinária da UFRGS, Av. Bento Gonçalves 9090, 91540-000 Porto Alegre - RS/BRASIL.

Recebido para publicação em 17/06/1996.

do Sul, à semelhança de outros Estados brasileiros, o sorovar *L. pomona* era o mais prevalente, tanto através de diagnóstico sorológico, quanto pelo cultivo (OLIVEIRA e FALLAVENA, 1978; OLIVEIRA et al., 1983; 1987). No entanto, tem sido revelado nos últimos tres anos a predominância de títulos para *L. bratislava* e *L. icterohaemorrhagiae* (OLIVEIRA et al., 1994; 1995) no Estado.

No Quadro 1 são apresentadas as possibilidades de infecção por leptospiroses em suínos.

QUADRO 1:

TRANSMISSÃO DA LEPTOSPIROSE EM SUÍNOS		
Portadores	Material contaminado	Vias de infecção
Suínos	Urina	Mucosas:
	Descargas vulvares ?	oral
	Semen ?	nasal
Roedores (ratos)	Leite?	conjuntiva
	Ração	genital
	Água	Pele
	Solo	Intrauterina
		Efluentes

DESENVOLVIMENTO

1. Etiologia da leptospirose em suínos

A leptospirose é causada por bactérias do gênero *Leptospira spp.*, espiroquetas que medem de 6 a 20 micrometros de comprimento por 0,1 de diâmetro. Reconhecem-se dois grandes grupos: *Leptospira interrogans* e *Leptospira biflexa*, pertencentes à família *Leptospiraceae* e ordem *Spirochaetales*. No grupo de *L. interrogans* situam-se as leptospiroses patogênicas, sendo conhecidas 212 sorovares, distribuídos em 23 sorogrupos (KMETY e DIKKEN, 1988).

A ocorrência de leptospirose foi descrita pela primeira vez por INADA et al. (1916), sendo conhecida como doença de Weil. O gênero *Leptospira* foi estabelecido por NOGUCHI (1917). KLARENBECK e SCHUFFNER (1933) registraram o primeiro isolamento de *L. icterohaemorrhagiae* de suínos que apresentavam icterícia.

WOLFF e BROOM (1954) publicaram um sistema de classificação baseado na análise antigênica, incluindo inicialmente 34 sorovares isolados de humanos e/ou animais. À classificação original foram sendo adicionados gradualmente novos sorovares: SMITH et al. (1954), na Austrália, ALEXANDER et al. (1955) classificaram novos sorovares isolados na Malásia e VAN RIEL et al. (1956) incluíram mais algumas cepas de

leptospiroses do Congo Belga. Na Checoslováquia *L. pomona* foi considerada com elevada prevalência em suínos e açougueiros (KMETY, 1954). *L. canicola*, foi considerada responsável por infecção em humanos, transmitida por suínos na Escócia (COGHLAN et al., 1957). Na Argentina, SAVINO e RENELLA (1944) relataram o isolamento de *L. tarassovi* de humanos e suínos.

Os primeiros isolamentos de leptospiroses de suínos no Brasil foram realizados por GUIDA (1947/48) no Estado de São Paulo, identificando como *Leptospira hyos*, hoje denominada *L. tarassovi* (GUIDA, 1958). Seguiram-se os trabalhos de GUIDA et al. (1959), CASTRO et al. (1962), SANTA ROSA et al. (1962,a,b; 1970; 1973), CORDEIRO et al. (1974), OLIVEIRA et al. (1980), nos quais foram descritos os isolamentos de *L. canicola*, *L. pomona*, *L. icterohaemorrhagiae*, *L. hyos*. Foi constatada também a presença de suínos portadores de *L. pomona* abatidos em frigorífico (OLIVEIRA et al., 1983).

A partir da década de 1980, as infecções em suínos por leptospiroses do sorogrupo Australis têm sido um problema emergente na Europa. Anteriormente, os sorovares mais frequentes causando doença em suínos pertenciam a outros grupos, sendo que predominavam infecções por *L. pomona*, *L. icterohaemorrhagiae*, *L. canicola*, *L. tarassovi* e *L. grippityphosa*. HATHAWAY et al. (1982), cultivaram *L. muenchen*, do sorogrupo Australis, de uma porca que havia abortado, na Inglaterra. ELLIS et al. (1986 a) isolaram o sorovar *L. muenchen* de rim, oviduto e útero de uma porca, 43 dias após o aborto. O sorovar *L. bratislava*, do mesmo sorogrupo, foi isolado de rim, oviduto, útero e linfonodo supramamário de uma porca, após 147 dias de ter abortado (ELLIS et al., 1986,b). *L. bratislava* foi isolada nos E.U.A. pela primeira vez naquele país do trato genital de suínos por ELLIS e THIERMANN (1986). Este sorovar também foi isolado de suínos naquele país por BOLIN e CASSELS (1992). Na Alemanha, SCHONBERG et al. (1992) relataram o primeiro isolamento do sorovar *L. bratislava* de suínos naquele país, a partir de rins com focos necróticos. Devido ao fato de leptospiroses dos sorovares *L. bratislava* e *L. muenchen* serem difíceis de cultivar, havendo necessidade de modificações nos meios de cultivo para se obter isolamento, poucos países registraram a ocorrência daqueles sorovares, havendo no entanto evidências de infecção em suínos, detectadas por diagnóstico sorológico.

2. Sinais de infecção por leptospiroses

Os suínos contaminam-se através do contato direto com a urina infectada, pela mucosa oral e/ou nasal, conjuntiva, ou pele. Pode haver infecção a partir da ingestão de ração, água, solo e urina contaminados, bem

como pela via genital (ELLIS et al., 1985). Em suínos portadores, nos quais há multiplicação de leptospiras nos túbulos renais, passados 30 a 60 dias da infecção a quantidade de leptospiras eliminadas viáveis na urina é bem elevada. A eliminação por via urinária poderá ocorrer, nos casos de infecção por *L. pomona*, até dois anos de forma intermitente (MITCHELL et al., 1966).

As leptospiras que são diagnosticadas mais frequentemente infectando suínos em todo o mundo são: *L. pomona*, *L. icterohaemorrhagiae*, *L. canicola*, *L. tarassovi*, *L. grippotyphosa* e *L. bratislava*. A identificação do sorovar infectante é epidemiologicamente importante. Os suínos podem ser hospedeiros definitivos como no caso dos sorovares *L. pomona* e *L. bratislava* ou ainda como hospedeiros acidentais nos casos de infecção pelo sorovar *L. grippotyphosa*. No primeiro caso há uma adaptação hospedeiro-parasita, onde a leptospira é mantida no trato urinário por longo período, sendo eliminada na urina em condições de viabilidade para infectar outros suínos; os sinais são muito moderados, sendo detectada a infecção apenas em porcas em gestação. Na infecção acidental, quando os suínos são infectados por um sorovar adaptado a outro mamífero, os sinais da doença são mais evidentes mas a permanência no trato urinário ocorre por pouco tempo, havendo a eliminação de menor número de leptospiras pela urina (THIERMANN, 1987).

A leptospirose é uma das principais causas de falhas reprodutivas em porcas, com manifestações de abortos, natimortos e leitões fracos que morrem pouco tempo após o nascimento. Nos casos de infecção por *L. bratislava* tem sido observado, além dos sinais mencionados, retornos ao cio nas primeiras seis semanas de gestação (ELLIS, 1989).

A infecção por *L. icterohaemorrhagiae* pode causar doença aguda em leitões na primeira semana de vida, ocorrendo icterícia e hemorragia em vários órgãos (FIELD e SELLERS, 1951). Tem sido sugerido que *L. bratislava* poderia causar descargas vulvares em porcas: POWER (1991) detectou títulos sorológicos positivos para aquele sorovar, em porcas que apresentavam descargas vulvares; KAVANAGH (1991) observou por imunofluorescência *L. bratislava* em ovidutos de fêmeas suínas descartadas por infertilidade e que apresentavam descargas vulvares. Estas observações sugerem que em determinados casos em que somente são observadas descargas vulvares sem outros transtornos reprodutivos ou acompanhadas de retorno ao cio, possa haver infecção por *L. bratislava*. No entanto, é necessário que sejam melhor estudados estes casos e obtida a comprovação sobre o papel das leptospiras. Meningite como sinal de infecção por leptospiras é um quadro clínico comum em humanos, mas é rara em animais. Foi registrado o isolamento de *Streptococcus suis* tipoll e *L. bratislava* de cérebros de leitões que apresen-

tavam meningite, sendo sugerido um possível sinergismo entre os agentes (ELLIS, 1989). Este tema também necessita intensificação de pesquisas para comprovação.

Leptospiras do grupo australis, *L. bratislava* e *L. muenchen*, podem ser transmitidas via sexual, ao contrário dos outros grupos de leptospiras, nos quais a urina é o único meio de contaminação. Leptospiras daquele grupo podem também ser eliminadas através da urina, mas em menor quantidade. A transmissão via sexual foi demonstrada através do isolamento de leptospiras do grupo australis de fetos abortados e trato genital de porcas e de um cachão, havendo sido isoladas deste último da uretra, vesícula seminal, glândula bulbo-uretral, próstata e testículos (ELLIS et al., 1985)

Durante a fase de leptospiremia na porca infectada, as leptospiras migram do sangue materno para os fetos, podendo produzir infecção sistêmica nos fetos resultando na morte dos mesmos ou em infecção neo-natal que persiste após o nascimento. O curso da doença depende do estágio da gestação em que ocorreu a infecção e também do sorovar de leptospira envolvido. As bactérias estão presentes na maior parte dos tecidos dos fetos abortados (FAINE, 1982). Leitões nascidos infectados por *L. canicola*, conforme observações de McERLEAN (1964), apresentavam pelo ericado, alguns estavam ictericos e não mamavam. À necropsia o fígado apresentava-se amarelado e os rins apresentavam hemorragias sub-capsulares. Fetos abortados por infecção em porcas por *L. pomona*, segundo SMITH et al. (1990) apresentavam hemorragias na pele e lesões necróticas no fígado.

O Quadro 2 resume os sinais de leptospirose em suínos.

QUADRO 2:

SINAIS DE LEPTOSPIROSE EM SUÍNOS	
1. Porcas em gestação:	Retornos nas primeiras 6 semanas Abortos, Natimortos Nascimento de leitões fracos infectados
2. Fetos:	Edema generalizado Hemorragias na pele Lesões necróticas no fígado Septicemia
3. Leitões:	Icterícia Hemorragia em vários órgãos Patologia: nefrite intersticial Acúmulo de células inflamatórias no cortex renal (lesões renais branco acinzentadas de tamanho variável, visíveis a olho nú).
4. Suínos adultos:	Patologia: nefrite intersticial. Acúmulo de células inflamatórias no cortex renal. Lesões macroscópicas branco-acinzentadas

Segundo HANSON (1972), a leptospirose em leitões e suínos adultos revela a presença de hemorragias e/ou focos esbranquiçados no cortex renal. JONES et al. (1987), relataram que nas lesões macroscópicas esbranquiçadas dos rins existem acúmulos de células inflamatórias no cortex, sugerindo leptospirose, o que determina a condenação de rins durante a inspeção "post-mortem". Essas lesões são indicadores de possível infecção, não um diagnóstico de infecção recente ou atual, pois nelas pode não haver leptospirosas, sendo devidas muitas vezes a infecções passadas, mas constituem um risco de contaminação durante a manipulação dos rins. HUNTER et al. (1987), recuperaram *L. pomona* de 19 rins entre 21 que apresentavam lesões esbranquiçadas sugestivas de leptospirose em suínos abatidos. Leptospiras foram isoladas apenas de um rim sem lesões visíveis. Apesar da estreita relação entre a ocorrência de lesões e o cultivo de leptospirosas, outras bactérias também foram cultivadas das lesões: *Streptococcus equisimilis*, *Corynebacterium pyogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus suis* tipo II e *Haemophilus parasuis*.

A lesão renal causada pela leptospirose é do tipo nefrite intersticial. As leptospirosas penetram nos rins por via hematogena; pelo endotélio vascular atingem o espaço intersticial e daí migram até o lúmen tubular pela junção intercelular lateral. A doença compreende a fase intersticial caracterizada por edema, vasculite e leptospiremia; segue-se a fase tubular, onde as leptospirosas estão nas microvilosidades da porção tubular proximal (MICHNA e CAMPBELL, 1969; CHEVILLE et al., 1980). Leitões de 3 meses de idade infectados experimentalmente com *L. pomona* apresentaram leptospirosas nos rins a partir do quarto dia, até o final do experimento, manifestando-se a infecção por lesões no cortex, de tamanho variável desde minúsculas até 5 mm de diâmetro, de coloração branco-acinzentadas (SLEIGHT et al., 1960).

A ocorrência de alterações histológicas em rins tem sido mais frequente do que o isolamento de leptospirosas: o exame histopatológico em 604 rins de suínos obtidos em frigorífico revelou lesões em 174 materiais, consistindo em vacuolização do epitélio tubular, infiltração linforreticular intertubular; apenas de cinco materiais foi isolado *L. pomona* e nestes as lesões eram em grau mais elevado (OLIVEIRA et al., 1983). BAKER et al. (1989) isolaram 6 cepas de *L. pomona* de 197 rins obtidos em frigorífico, detectando nefrite intersticial em 11 (5,7%). Conclui-se que os sinais de infecção por leptospirosas em suínos frequentemente são similares aos causados por outros agentes, sendo necessário o diagnóstico diferencial, principalmente entre doenças da reprodução.

3. Diagnóstico de leptospirose em rebanhos suínos

O teste de aglutinação microscópica é o teste de eleição para diagnóstico sorológico de leptospirose em todo o mundo. O teste consiste em fazer reagir partes iguais de diluições seriadas de soros e os antígenos (culturas em meio líquido, vivas) que são representantes dos principais sorogrupos que ocorrem na região ou país; a leitura consiste no exame microscópico em campo escuro para a observação de aglutinação, significando a presença de anticorpos (COLE et al., 1973). O teste deve ser utilizado para diagnóstico de situação de um rebanho, não individualmente (THIERMANN, 1987).

Com o uso de vacinas polivalentes tem havido interferência no diagnóstico sorológico (STRINGFELLOW et al., 1983; SANFORD e MORRIS, 1990), dificultando a realização de levantamentos sorológicos para determinar a prevalência da doença. Por outro lado, estudos feitos em suínos infectados por *L. bratislava* indicaram que leptospirosas foram isoladas do trato genital em animais que apresentavam baixos títulos no teste de aglutinação microscópica e alguns foram negativos ao teste (ELLIS et al., 1985). Muitas vacinas não estimulam a formação de anticorpos até 1:100 que é o título mínimo considerado reação positiva. As vacinas que estimulam a ocorrência de títulos mais elevados provocam reações de 1:400 e raramente 1:800. Estes títulos persistem por dois ou três meses (HILL, 1988). Considerando-se que em um rebanho infectado há porcas que abortaram e apresentam títulos acima de 1:800, seria possível detectar a infecção, mas o único método definitivo de diagnóstico é o cultivo das leptospirosas (FAINE, 1982).

O teste sorológico de aglutinação microscópica tem sido o principal instrumento para detectar leptospirose em rebanhos suínos: MICHNA et al. (1969) na Escócia analisaram 695 amostras de soro suíno de 91 granjas, entre as quais 39 apresentavam sinais de falha reprodutiva, sendo diagnosticado infecção por *L. canicola* em 25 granjas (64,1%) e *L. icterohaemorrhagiae* em 14 (35,9%). Na Irlanda, McERLEAN (1964), já havia detectado um surto de *L. canicola* em um rebanho com problemas de reprodução. PEREA et al. (1994), na Espanha, testaram 521 amostras de soro de 28 granjas e verificaram títulos positivos em 10,56% dos suínos em 39% das granjas, predominando *L. pomona* (6,53%). VAN TIL e DOHOO (1991) observaram maior número de reações sorológicas para *L. icterohaemorrhagiae* (57,1%) e *L. bratislava* (35,1%) em rebanhos suínos com problemas de infertilidade no Canadá. Segundo THIERMANN (1987), em suínos nos E.U.A., o sorovar *kennewicki* é o mais prevalente. Estas leptospirosas são identificadas sorologicamente como *L. pomona*. BOLIN (1994) rela-

to que os sorovares mais comumente associados com leptospirose em suínos naquele país são *L. bratislava*, *L. pomona* e *L. grippotyphosa*. HATHAWAY e LITTLE (1981), detectaram títulos para *L. copenhageni* em 7,9% dos suínos testados na Inglaterra. O antígeno *copenhageni* é utilizado também para diagnosticar infecção por *L. icterohaemorrhagiae*. Os autores verificaram no entanto maior número de reações para o grupo Australis após a realização de testes incluindo os antígenos *L. bratislava* e *L. lora*, pertencentes àquele sorogrupo, com resultado positivo para 36% das porcas com problemas de infertilidade.

O sorovar *L. bratislava* foi diagnosticado por MILLER et al. (1990) nos E.U.A. ao examinarem 1264 amostras de soro suíno, ocorrendo em 48,1% das reações positivas. BOLIN et al. (1991) também naquele país, constataram evidência sorológica de infecção por *L. bratislava* em suínos com falhas de reprodução. Segundo CHAPPEL et al. (1992), *L. pomona* tem sido frequentemente isolada de suínos na Austrália. Os autores, no entanto, ao realizarem testes de aglutinação microscópica verificaram títulos positivos para *L. bratislava*, sugerindo a presença daquele sorovar nos rebanhos. Na Argentina SARAVI et al. (1989) acompanharam um surto de leptospirose em suínos, causado por *L. pomona*, em que os títulos sorológicos oscilaram entre 1:800 a 1:25600.

No Brasil a leptospirose em suínos tem sido uma das principais causas de falhas reprodutivas e tem ocorrido em todo o país, com registros de Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. REIS et al. (1973), em Minas Gerais relataram que o sorovar *L. pomona* foi o mais prevalente, com 87,5% das reações positivas. TERUYA et al. (1974), em São Paulo, também observaram predominância de reações sorológicas positivas para *L. pomona* em suínos. CORDEIRO et al. (1975), examinaram suínos criados em regime semi-selvagem na Bahia e também registraram maior frequência de amostras positivas para *L. pomona*. ÁVILA et al. (1977), examinaram 770 amostras de soro suíno, de 26 municípios de Minas Gerais e obtiveram 635 (82,4%) de reações positivas, respectivamente para os sorovares *autumnalis* (38,5%), *ballum* (32,9%), *wolffi* (33,5%), *butembo* (27,5%), *bratislava* (22,6%), *bataviae* (16,4%), *javanica* (13,9%), *icterohaemorrhagiae* (12,8%) e *pomona* (10,6%). RAMOS et al. (1981), examinaram 1045 amostras de soro suíno de cinco granjas no Rio de Janeiro e obtiveram 4,97% de reações positivas, predominando os sorovares *tarassovi* e *pomona*. OLIVEIRA et al. (1983) observaram maior número de amostras de soro positivas para *L. pomona* e *L. icterohaemorrhagiae* em suínos abatidos em frigoríficos e em granjas com

problemas de reprodução no Rio Grande do Sul. Em outro trabalho, foram examinados 4308 soros, de 61 granjas de reprodutores no Rio Grande do Sul, sendo 292 amostras positivas (6,7%). *L. pomona* foi o sorovar predominante (183 amostras positivas), seguida de *L. tarassovi* (86), *L. icterohaemorrhagiae* (18), *L. ballum* (5) (OLIVEIRA et al., 1987).

O exame de 610 matrizes suínas provenientes de 63 granjas tecnificadas em Minas Gerais, revelou 7,7% de amostras positivas, predominando o sorovar *L. pomona* (FARIA et al., 1989). O exame de fêmeas suínas descartadas para abate devido a transtornos reprodutivos em uma granja em São Paulo revelou reações positivas somente para *L. icterohaemorrhagiae* (CARVALHO et al., 1991). No Rio Grande do Sul foi evidenciada infecção por *L. bratislava* por OLIVEIRA et al. (1994): os autores examinaram 535 amostras de soro de reprodutoras suínas provenientes de 25 granjas com histórico de aborto, natimortos e retorno ao cio, utilizando o teste de aglutinação microscópica, constatando que houve 113 amostras positivas, em maior número para *L. bratislava* (42) e *L. icterohaemorrhagiae* (39).

O teste de ELISA também é utilizado para diagnóstico sorológico de leptospirose em suínos e tem a vantagem de que os antígenos não são cepas vivas e portanto podem ser mantidos mais facilmente; no entanto, o teste não diferencia animais vacinados dos infectados (ADLER et al., 1980; THIERMANN, 1987).

Outros testes menos utilizados são a fixação de complemento (HODGES, 1973), hemoaglutinação (BAKER, 1973), aglutinação macroscópica (GALTON et al., 1958).

A prova de imunofluorescência direta tem sido muito utilizada para diagnóstico a partir de rins e trato genital, tendo em vista que determinados sorovares de leptospirosas como as do grupo Australis são de difícil cultivo (POWER, 1991).

A técnica de análise por enzimas de restrição tem sido utilizada para classificar as leptospirosas quanto ao genoma. Pesquisas recentes (THIERMANN et al., 1985; ELLIS et al., 1991; BARRIOLA e SARAVI, 1989) revelaram diferenças entre leptospirosas do mesmo grupo e/ou mesmo sorovar. Assim *L. bratislava*, através de análise por enzimas de restrição, foi classificada em 3 genótipos: B1 isolada de equino, B2a isolada de bovino, cão, raposa, cavalo e suíno, e B2b, isolada de cavalo e suíno. *L. muenchen* apresentou 6 genótipos diferentes, dos quais apenas o M2a ocorre em suínos. *L. pomona* apresenta os genótipos *pomona* e *kennewicki*. *Leptospira hardjo*, que é patogênica para bovinos, apresenta os genótipos *hardjoprajitno* e *hardjohovis*.

A classificação genética por hibridização de DNA classificou as leptospirosas patogênicas em 7 novas espé-

cies: *L. interrogans*, *L. borgpetersenii*, *L. inadai*, *L. kirshneri*, *L. santarosai*, *L. alstonii*, e *L. weilii* (YASUDA et al., 1987; RAMADASS et al., 1992).

O uso de análise por enzimas de restrição abre um vasto campo para pesquisas, aprimorando o sistema classificatório, permitindo a produção de vacinas específicas, caso se confirmem os resultados iniciais obtidos, de que existem diferenças de genótipo que se traduzem também por diferença em patogenicidade.

4. Controle da leptospirose em suínos

Para que seja controlado um surto de leptospirose em suínos, é necessário conhecer alguns fatores predisponentes, de risco:

1) Para determinados sorovares de leptospirosas, como a *L. pomona*, os suínos portadores são provavelmente a fonte mais comum de introdução da doença nos rebanhos, principalmente leitões de reposição (EDWARDS e FAINES, 1979) e cachacos (KEMENES e SUVEGES, 1976).

2) A presença de umidade é importante para que haja transmissão de *L. pomona*. As leptospirosas não resistem à dessecação, mas quando a urina contaminada é expelida sobre o solo ou água com pH levemente alcalino, as leptospirosas podem sobreviver longo tempo. (MITSCHERLICH e MARTH, 1984).

3) Os leitões podem estar protegidos nas primeiras semanas de vida pelas imunoglobulinas do colostro das porcas infectadas. A duração da proteção passiva depende da quantidade de imunoglobulinas ingeridas no colostro (CHAUDHARY et al., 1966).

4) Foi verificado que grupos de suínos na fase de terminação podem se infectar por *L. pomona* por efluentes do sistema de drenagem (BUDDLE e HODGES, 1977).

5) O hospedeiro de manutenção da *L. icterohaemorrhagiae* é o rato marrom (*Rattus norvegicus*). É sugerido que a transmissão suíno a suíno, deste sorovar é difícil de ocorrer (HATHAWAY, 1985). Não foi demonstrada leptospirose em suínos experimentalmente infectados por *L. icterohaemorrhagiae* (FENNESTAD e BORG-PETERSEN, 1966). Foi observado por SCHNURRENBERG et al. (1970) que a excreção via urinária durou menos de 35 dias em suínos infectados naturalmente por *L. icterohaemorrhagiae*. Foi constatado também infecção de leitões, experimentalmente, através da ingestão de leite de porcas infectadas (TRIPATHY et al., 1981).

O controle de leptospirose em suínos baseia-se em três estratégias: uso de antibióticos, vacinação e manejo. As vacinas são bacterinas constituídas de até 6 sorovares escolhidos entre os mais frequentes em suínos de determinadas regiões ou países (THIERMANN, 1984). A vacinação reduz a prevalência de infecção no rebanho, mas não elimina a mesma (HODGES et al.,

1976; EDWARDS e FAINES, 1979). Até recentemente as bacterinas não continham o sorovar *L. bratislava*. Existe pouca experiência com o uso de vacinas para prevenir, por exemplo, a persistência de leptospirosas nos ovidutos. Nos E.U.A. foi utilizada bacterina de *L. bratislava* em rebanhos suínos que apresentavam problemas reprodutivos e houve melhora significativa na fertilidade das porcas e aumento no número de leitões nascidos (FRANTZ et al., 1989).

O tratamento com dihidroestreptomicina, 25 mg/kg de peso, injetável e o uso de oxitetraciclina via oral, 800 g/ton de ração foram eficazes para eliminar o estado de portador de leptospirosas (STALHEIM, 1967; DOBSON, 1974). No entanto, outros autores observaram que o tratamento não elimina com segurança a condição de portador em suínos (DOHERTY e BAYNES, 1967; HODGES et al., 1979).

A melhor opção frente a um surto de leptospirose em suínos consiste em tratar os reprodutores afetados e os que estão sob risco de infecção, com dihidroestreptomicina e concomitantemente vacinar os suínos sob risco. Pode ser utilizado também oxi ou clortetraciclina na ração, para atingir a dose de 8 mg/kg de peso suíno (ELLIS, 1993).

O Quadro 3 apresenta um esquema de controle da leptospirose em suínos.

QUADRO 3:

CONTROLE DA LEPTOSPIROSE EM SUÍNOS

1. Antibióticos: - Injetável: dihidroestreptomicina, 25 mg/kg de peso.

Matrizes: duas semanas antes da cobertura e/ou duas semanas antes do parto.

Cachacos: quando introduzidos no rebanho (isolamento por 14 dias; no início do serviço e 14 dias após).

Via oral: oxitetraciclina - tratamento normal: 800 g/t de ração durante 10 dias às porcas, 1 mes antes do parto.

Casos especiais: Porcas em gestação: 3,5 kg/t de ração, durante 1 mes. Porcas em lactação: 1,5 kg/t de ração, durante 1 mes.

2. Vacinação: Uso de vacinas polivalentes, com os sorovares de leptospirosas que ocorrem na região ou país:

Marrãs: 6 semanas pré-cobertura, reforço 3 semanas pré-cobertura.

Matrizes: entre 4 e 2 semanas antes de cada cobertura.

Leitões: ao desmame.

Cachacos: duas doses, com intervalo de 3 semanas na época de seleção. Revacinações semestrais.

3. Manejo: **Monitoramento sorológico:** exame sorológico pelo teste de aglutinação microscópica em pelo menos 10% do plantel de reprodutores (mínimo de 30 animais), anualmente.

Combate a roedores

Desinfecção (desinfetantes alcalinos)

Drenagem de pisos

Exame de porcas descartadas em frigorífico (remessa de rins, ovidutos e útero ao laboratório).

Exame em fetos abortados: remessa ao laboratório, quando possível.

CONCLUSÕES

A partir da década de 1980, as infecções em suínos por leptospirosas do sorogrupo Australis, especialmente *Leptospira bratislava*, têm predominado na Europa e nos E.U.A., sendo constatada localização nos órgãos genitais (útero, ovidutos, testículos) além da ocorrência nos rins.

- No Brasil a leptospirose em suínos tem sido uma das principais causas de falhas reprodutivas e tem ocorrido em todo o país, predominando infecções por *Leptospira pomona*.

- A partir de 1993, no Rio Grande do Sul, tem havido predominância de títulos sorológicos positivos para *Leptospira bratislava* e *Leptospira icterohaemorrhagiae* em suínos, não retratando o quadro de anos anteriores, onde predominavam reações sorológicas para *L. pomona*. Há evidências de infecção por *L. bratislava*, embora não tenha sido cultivado o microorganismo no Brasil.

- O controle da leptospirose em suínos baseia-se em três estratégias: uso de antibióticos, vacinação e manejo. A melhor opção frente a um surto de leptospirose em suínos consiste em tratar os reprodutores afetados e os que estão sob risco de infecção, com dihidroestrepomicina ou oxitetraciclina e concomitantemente vacinar os suínos sob risco.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ADLER, B.; MURPHY, A.M.; LOCARNINI, S.A. et al. Detection of specific anti-leptospiral immunoglobulins M and G in Human serum by solid phase enzyme-linked immunoadsorbent assay. *Journal of Clinical Microbiology*, London, v.11, p.452-457, 1980.
- ALEXANDER, A.D.; WETMORE, P.W.; EVANS, L.B. et al. Classification of leptospiral isolates from Malaysia, Thailand and North Borneo. *American Journal of Medical Hygiene*, Chicago, v.4, p.492, 1955.
- ÁVILA, F.A.; MOREIRA, E.C.; VIANA, F.C. et al. Frequência de aglutininas antileptospirosas em soros de suínos de Minas Gerais. *Arquivos da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais*, Belo Horizonte, v.29, n.3, p.263-268, 1977.
- BAKER, L.A. Quantitative assay for genus specific leptospiral antigen and antibody. *Applied Microbiology*, Washington, DC, v.25, p.697-698, 1973.
- BAKER, T.F.; MC EWEN, S.A.; PRESCOTT, J.F. et al. The prevalence of leptospirosis and its association with multifocal interstitial nephritis in swine at slaughter. *Canadian Journal of Veterinary Research*, Ottawa, v.53, p.290-294, 1989.
- BARRIOLA, J.L.; SARAVI, M.A. Análisis por endonucleasas de restricción del ADN de cepas locales de *Leptospira interrogans* pertenecientes al sorogrupo pomona. *Office International des Epizooties*, Geneve, v.8, n.3, p.719-725, 1989.
- BOLIN, C.A.; CASSELLS, J.A.; HILL, H.T. et al. Reproductive failure associated with *Leptospira interrogans* serovar *bratislava* infection of swine. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, Iowa, v.3, p.152-154, 1991.
- BOLIN, C.A.; CASSELLS, J.A. Isolation of *Leptospira interrogans* serovar *bratislava* and *hardjo* from swine at slaughter. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, Iowa, v. 4, p.87-89, 1992.
- BOLIN, C.A. Diagnosis of leptospirosis in swine. *Swine Health and Production*, Iowa, v.2, n.3, p.23- 24, 1994.
- BUDDLE, J.R.; HODGES, R.T. Observations on some aspects of the epidemiology of leptospirosis in a herd of pigs. *New Zealand Veterinary Journal*, v.25, n.56, p.65-66, 1977.
- CARVALHO, L.F.O.S.; CARVALHO, M.B.; GIRIO, R.J.S. et al. Investigação sorológica de fêmeas suínas descartadas para abate por transtornos reprodutivos diversos. *Ciência Veterinária Jaboticabal*, Jaboticabal, v.4, n.2, p.7-8, 1991.
- CASTRO, A.F.P.; SANTA ROSA, C.A.; CALDAS, A.D. Isolamento de *Leptospira canicola* de suínos abatidos em matadouro. *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, v.29, p.193-197, 1962.
- CHAPPEL, R.J.; ELLIS, W.A.; ADLER, B. et al. Serological evidence for the presence of *Leptospira interrogans* serovar *bratislava* in Australian pigs. *Australian Veterinary Journal*, Victoria, v.69, n.5, p.119-120, 1992.
- CHAUDHARY, R.K.; FISH, N.A.; BARNUM, D.A. Experimental infection with *Leptospira pomona* in normal and immune piglets. *Canadian Veterinary Journal*, Ottawa, v.7, p.106-112, 1966.
- CHEVILLE, N.F.; HUHN, R.; CUTLIP, R.C. Ultrastructure of renal lesions in pigs with acute leptospirosis caused by *Leptospira pomona*. *Veterinary Pathology*, London, v.17, p.338-351, 1980.
- COGHLAN, J.D.; NORVAL, J.; SEILER, H.E. Canicola fever in man through contact with infected pigs. *British Medical Journal*, London, v.1, p.257, 1957.
- COLE JR., J.R.; SULZER, C.R.; PURSELL, A.R. Improved microtechnique for the leptospiral microscopic agglutination test. *Applied Microbiology*, Washington, D.C., v.25, n.6, p.976-980, 1973.
- CORDEIRO, F.; LANGENEGGER, J.; RAMOS, A.A. Aspectos epidemiológicos de um surto de leptospirose suína no interior do Estado do Paraná. *Atualidades Veterinárias*, São Paulo, v.3, n.18, p.29, 1974.
- CORDEIRO, F.; RAMOS, A.A.; BARBOSA, M. et al. Aglutininas anti-leptospira em soros de suínos criados em regime semi-selvagem no interior do Estado da Bahia. *Arquivos da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais*, Belo Horizonte, v.27, n.1, p.59-62, 1975.
- DOBSON, K.J. Eradication of leptospirosis in commercial pig herds. *Australian Veterinary Journal*, Victoria, v.50, p.471, 1974.
- DOHERTY, P.C.; BAYNES, I.D. The effects of feeding oxytetracycline on leptospira in pigs infected with *L. pomona*. *Australian Veterinary Journal*, Victoria, v.43, p.135-137, 1967.

- EDWARDS, J.D. ; FAINES, D. A leptospirosis outbreak in a piggery. *New Zealand Veterinary Journal*, v.27, p.247-248, 1979.
- ELLIS, W.A.; Mc PARLAND, P.J.; BRYSON, D.G. et al. Leptospirosis in pig urogenital tracts and fetuses. *The Veterinary Record*, London, v.117, p.66-67, 1985.
- ELLIS, W.A.; BRYSON, D.G.; THIERMANN, A.B. et al. Isolation of leptospires from the genital tract and kidneys of aborted sows. *The Veterinary Record*, London, v.118, p.294-295, 1986,a.
- ELLIS, W.A.; Mc PARLAND, P.J.; BRYSON, D.G. et al. Prevalence of leptospira infection in aborted pigs in Northern Ireland. *The Veterinary Record*, London, v.118, p.63-65, 1986,b.
- ELLIS, W.A.; THIERMANN, A.B. Isolation of *Leptospira interrogans* serovar *bratislava* from sows in Iowa., *American Journal of Veterinary Research*, Chicago, v.47, n.7, p.1458-1460, 1986,c.
- ELLIS, W.A. *Leptospira australis* infection in pigs. *Pig Veterinary Journal*, Cambridge, v.22, p.83-92, 1989.
- ELLIS, W.A.; MONTGOMERY, J.M.; THIERMANN, A.B. Restriction endonuclease analysis as a taxonomic tool in the study of pigs isolates belonging to the *australis* serogroup of *Leptospira interrogans*. *Journal of Clinical Microbiology*, London, v.29, n.5, p.957-961, 1991.
- ELLIS, W.A. Leptospirosis. In: LEMAN, A.D.; STRAW, B.E.; MENGELING, W.L.; DÁLLAIRE, S.; TAYLOR, D.J. *Diseases of swine*. Ames: Iowa State University Press, 1993. p.529-536.
- FAINE, S. *Guidelines for the control of leptospirosis*. Geneva: World Health Organization, 1982. 170 p. (WHO Offset Publication, 67).
- FARIA, J.E. de.; RIBEIRO, M.F.B.; SANTOS, J.L. dos. et al. Freqüência de aglutininas anti-leptospiras em soros sanguíneos de suínos das microrregiões de Viçosa e Ponte Nova-MG. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v.41, n.5, p.381-388, 1989.
- FENNESTAD, K.L. ; BORG-PETERSEN, C. Experimental leptospirosis in pregnant sows. *Journal of Infectious Diseases*, Chicago, v.116, p.57-66, 1966.
- FIELD, H.I. ; SELLERS, K.C. *Leptospira icterohaemorrhagiae* infection in piglets. *The Veterinary Record*, London, v.63, p.78-81, 1951.
- FISH, N.A.; RYU, E.; HULLAND, T.J. Bacteriological and pathological studies of natural and experimental swine abortion due to *Leptospira pomona*. *Canadian Veterinary Journal*, Ottawa, v.4, p.317-327, 1963.
- FRANTZ, J.C.; HANSON, L.E.; BROWN, A.L. Effect of vaccination with a bacterin containing *Leptospira interrogans* serovar *bratislava* on the breeding performance of swine herds. *American Journal of Veterinary Research*, Chicago, v.50, n.7, p.1044-1047, 1989.
- GALTON, M.M.; MENGES, R.W.; STEELE, J.H. Epidemiological patterns of leptospirosis. *Annual New York Academic Sciences*, New York, v.70, p.427-444, 1958.
- GUIDA, V.O. Sobre a presença de leptospira em suínos no Brasil. *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, v.18, p.285-287, 1947/48.
- GUIDA, V.O. Identificação sorológica de amostras de *Leptospira hyos* isoladas de suínos. *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, v.25, p.73-75, 1958.
- GUIDA, V.O.; CINTRA, M.L.; ROSA, C.A. et al. Leptospirose suína provocada pela *L. canicola* em São Paulo. *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, v.26, p.49-54, 1959.
- HANSON, L.E. Problems related to epizootiology of swine leptospirosis. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, Chicago, v.160, n.4, p.631-633, 1972.
- HATHAWAY, S.C. ; LITTLE, T.W.A. Prevalence and clinical significance of leptospiral antibodies in pigs in England. *The Veterinary Record*, London, v.108, p.224-228, 1981.
- HATHAWAY, S.C.; LITTLE, T.W.A.; STEVENS, A.E. Isolation of *Leptospira interrogans* serovar *muenchen* from a sow with history of abortion. *The Veterinary Record*, London, v.111, p.100-102, 1982.
- HATHAWAY, S.C. Porcine leptospirosis. *Pig News Information*, Wallingford, v.6, p.31-34, 1985.
- HILL, H. Interpretation of serologic results of some important swine diseases. *Compendium Continuous Education Veterinary Practice*, Washington, D.C., v.10, p.979-985, 1988.
- HODGES, R.T. A complement fixation test for the serological diagnosis of leptospirosis in pigs experimentally infected with serotype *pomona*. *New Zealand Veterinary Journal*, v.21, n.12, p.1-6, 1973.
- HODGES, R.T.; STOCKER, R.P.; BUDDLE, J.R. *Leptospira interrogans* serotype *pomona* infection and leptospiruria in vaccinated pigs. *New Zealand Veterinary Journal*, v.24, p.37-39, 1976.
- HODGES, R.T.; THOMPSON, J.; TOWNSEN, K.G. Leptospirosis in pigs: the effectiveness of streptomycin in stopping leptospiruria. *New Zealand Veterinary Journal*, v.27, p.124-126, 1979.
- HUNTER, P.; VAN DER VYVER, F.H.; SELMER-OLSEN, A. et al. Leptospirosis as a cause of "white spot" kidneys in south African pigs abattoirs. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, Onderstepoort, v.54, p.59-62, 1987.
- INADA, R.; IDO, Y.; HOKI, R. et al. The etiology, mode of infection, and specific therapy of Weil's disease (*Spirochaetosis icterohaemorrhagica*). *Journal of Experimental Medicine*, New York, v.37, p.377, 1916.
- JONES, R.T.; MILLAR, B.D.; CHAPPELL, R.J. et al. Macroscopic kidney lesions in slaughtered pigs are an inadequate indicator of current leptospiral infection. *Australian Veterinary Journal*, Victoria, v.64, n.8, p.258-259, 1987.
- KAVANAGH, N. La experiencia irlandesa y la investigación indican que la descarga vulvar y la *L. bratislava* se relacionan. *International Pig Letter*, Cambridge, v.11, n.4, p.13-14, 1991.
- KEMENES, F. ; SUVEGES, T. Leptospira induced repeated abortion in sows. *Acta Veterinaria Hungarica*, Budapest, v.26, p.395-403, 1976.
- KLARENBEEK, A. ; SCHUFFNER, W.A.P. Appearance in Holland of leptospira differing from Weil strain. *NederleTijdschr. Van Geneesk*, Utrecht, v.77, p.4271, 1933.

- KMETY, E. Leptospirenforschung in der Slovakei. **Zentralblatt Bakteriologische**, Berlin, v.161, p.382, 1954.
- KMETY, E.; DIKKEN, H. Revised list of leptospira serovars. **International Committee on Systematic Bacteriology of IUMS**. The Netherlands : Groningen, 1988. 22p.
- McERLEAN, B.A. Abortion and infertility in sows in Ireland apparently due to infection by *Leptospira canicola*. **The Veterinary Record**, London, v.76, n.9, p.248, 1964.
- MICHNA, S.W. ; CAMPBELL, R.S.F. Leptospirosis in pigs: Epidemiology, microbiology and pathology. **The Veterinary Record**, London, v.84, p.135-138, 1969.
- MILLER, D.A.; WILSON, M.A.; OWEN, W.J. et al. Porcine leptospirosis in Iowa. **Journal of Veterinary Diagnostic Investigation**, Iowa, v.2, p.171-175, 1990.
- MITCHELL, D.; ROBERTSON, A.; CORNER, A.H. et al. Some observations on the diagnosis and epidemiology of leptospirosis in swine. **Canadian Journal of Comparative Medicine**, Ottawa, v.30, p.211-217, 1966.
- MITSCHERLICH, E.; MARTH, E.H. Microbial survival in the environment. **Springer-Verlag**, Berlin, p.202-218, 1984.
- NOGUCHI, H. *Spirochaeta icterohaemorrhagiae* in american wild rats and its relation to the japanese and european strains. **Journal of Experimental Medicine**, New York, v.25, p.755, 1917.
- OLIVEIRA, S.J.de; FALLAVENA, L.C.B. Estudos sobre leptospirose em suínos no Rio Grande do Sul. **Boletim do IPVDF**, Guaíba, v.5, p.49-53, 1978.
- OLIVEIRA, S.J. de; PIANA, C.; SITYÁ, J. Abortos em suínos causados por *Leptospira pomona* no Rio Grande do Sul, Brasil. **Boletim do IPVDF**, Guaíba, p.1-8, 1980.
- OLIVEIRA, S.J. de; FALLAVENA, L.C.B.; PIANA, C. Leptospirose em suínos no Rio Grande do Sul. isolamento e caracterização dos agentes; estudos em suínos abatidos em frigoríficos e em granjas com problemas de reprodução. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.35, n.5, p.641-650, 1983.
- OLIVEIRA, S.J. de; GUIZZARDI, I.I.; VIDOR, T. et al. Testes sorológicos para diagnóstico de leptospirose, peste suína africana e doença de Aujeszky em granjas de reprodutores suínos no Rio Grande do Sul. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.39, n.3, p.451-460, 1987.
- OLIVEIRA, S.J. de; BOROWSKI, S.M.; BARCELLOS, D.E.S.N. Evidências de infecção por *Leptospira brasiliensis* em casos de transtornos reprodutivos em suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 24, n.2, p.345-348, 1994.
- OLIVEIRA, S.J. de; LIMA, P.C.R.; BARCELLOS, D.E.S.N.; BOROWSKI, S.M. Sorologia para diagnóstico de leptospirose em suínos no Rio Grande do Sul: resultados obtidos de granjas com e sem problemas de reprodução. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.1, n.2, p. 263-267, 1995.
- PEREA, A.; GARCIA, R.; MALDONADO, A. et al. Prevalence of antibodies to different *Leptospira interrogans* serovars in pigs on large farms. **Journal of Veterinary Medicine and Biology**, Berlin, v.41, p.512-516, 1994.
- POWER, S.B. Diagnosing leptospira in pigs. **The Veterinary Record**, London, v.12, p.43, 1991.
- RAMADASS, P.; JARVIS, B.W.D.; CORNER, R.J. et al. Genetic characterization of pathogenic species by DNA hybridization. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v.42, p.215-219, 1992.
- RAMOS, A.A.; CORDEIRO, F.; GUIDA, H.G. et al. Inquérito sorológico de leptospirose em suínos no Estado do Rio de Janeiro e região limítrofe. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v.1, n.3, p.81-83, 1981.
- REIS, R.; RYU, E.; PENA, C.M. Pesquisa de aglutininas anti-leptospiras em bovinos e suínos em Minas Gerais, Brasil. **Arquivos da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, v.25, n.1, p.11-14, 1973.
- SANFORD, S.E.; MORRIS, P.J. Serological titers to various leptospiral serovars before and after vaccinating gilts with three commercial vaccines. **Canadian Journal of Veterinary Research**, Ottawa, v.31, p.277-279, 1990.
- SANTA ROSA, C.A.; GIORGI, W.; SILVA, A.S. et al. Aborto em suíno: isolamento conjunto de *Leptospira* sorotipo *icterohaemorrhagiae* e *Brucella suis*. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.37, p.9-13, 1970.
- SANTA ROSA, C.A.; SILVA, A.S.; GIORGI, W. et al. Isolamento de *Leptospira* sorotipo *pomona* e *Brucella suis*, de suínos do Estado de Santa Catarina. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.40, p.29-32, 1973.
- SANTA ROSA, C.A.; PESTANA DE CASTRO, A.F.; CALDAS, A.D. Isolamento de *Leptospira icterohaemorrhagiae* e *Leptospira hyos* de suínos abatidos em matadouro. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.29, p.285-92, 1962,a.
- SANTA ROSA, C.A.; PESTANA DE CASTRO, A.F.; TROISE, A. Isolamento de *Leptospira pomona* de suínos em São Paulo. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.29, p.165-174, 1962,b.
- SARAVI, M.A.; MOLINARI, R.; SORIA, E.H. et al. Serological and bacteriological diagnosis, and reproductive consequences of an outbreak of porcine leptospirosis caused by a member of the Pomona serogroup. **Revision de Science et Technologie de l'Office International des Epizooties**, v.8, n.3, p.709-718, 1989.
- SAVINO, E. ; RENELLA, E. Leptospiras y leptospirosis en Argentina. **Dia Medico**, Buenos Aires, v.16 n.14, p.43-45, 1944.
- SCHNURRENBERGER, P.R.; HANSON, L.E.; MARTIN, R.J. Long term surveillance of leptospirosis on an Illinois farm. **American Journal of Epidemiology**, Washington, v.92, p.223-239, 1970.
- SCHONBERG, A.; HANN-HEY, B.; KAMPE, U. et al. The isolation and identification of *Leptospira interrogans* serovar *brasiliensis* from a pig in Germany. **Journal of Veterinary Medicine**, Berlin, v.39, p.362-368, 1992.
- SLEIGHT, S.D.; LANGHAM, R.F.; MORTER, R.L. Experimental leptospirosis: the early pathogenesis of *Leptospira pomona* infection in young swine. **Journal of Infectious Diseases**, Chicago, v.106, p.262- 269, 1960.
- SMITH, D.J.W.; BROWN, H.E.; TONGE, J.I. et al. The serological classification of 89 strains of *Leptospirae* from North Queensland, including five serotypes new to

- Australia. **Australasian Animal Medicine**, Brisbane, v.3, p.98, 1954.
- SMITH, W.J.; TAYLOR, D.J.; PENNY, R.H.C. **A colour atlas of diseases and disorders of the pig**. London: Wolfe, 1990. 192 p.
- STALHEIM, O.H.V. Chemotherapy of renal leptospirosis in swine. **American Journal of Veterinary Research**, Chicago, v.28, p.161-166, 1967.
- STRINGFELLOW, D.A.; BROWN, R.R.; HANSON, L.E. Can antibody responses in cattle vaccinated with a multivalent leptospiral bacteria interfere with serologic diagnosis of disease? **Journal of the American Veterinary Medical Association**, Chicago, v.182, p.165-167, 1983.
- TERUYA, J.M.; SILVA, A.S.; PESTANA DE CASTRO, A.F. et al. Soro-aglutinações para leptospirose realizadas no Instituto Biológico de São Paulo, durante o ano de 1973. **O Biológico**, São Paulo, v.40, p.228-232, 1974.
- THIERMANN, A.B. Leptospirosis: current developments and trends. **Journal of American Veterinary Medical Association**, Chicago, v.184, n.6, p.722-725, 1984.
- THIERMANN, A.B.; HANDSAKER, A.L.; MOSELEY, S.L. et al. New method for classification of leptospiral isolates belonging to serogroup Pomona by restriction endonuclease analysis: serovar *Kennewicki*. **Journal of Clinical Microbiology**, v.21, n.4, p.585-587, 1985.
- THIERMANN, A.B. Swine leptospirosis: new concepts of an old disease. **Proceedings of the Annual Meeting of the United States Animal Health Association**, Iowa, v.91, p.491-496, 1987.
- TRIPATHY, D.N.; HANSON, L.E.; MANSFIELD, M.E. et al. Pathogenesis of *Leptospira pomona* in lactating sows and transmission to piglets. **Proceedings of the Annual Meeting of the United States Animal Health Association**, Pensilvania, v.85, p.188, 1981.
- VAN RIEL, P.J.; SZPAJSHENDLER, L.; VAN REIL, M. Étude clinique, bactériologique et épidémiologique d'un nouveau foyer de leptospirose au Congo Belge. **Bulletin de la Société de Pathologie Exotique**, Bruxelles, v.49, p.118, 1956.
- VAN TIL, L.D.; DOHOO, I.R. A serological survey of leptospirosis in Prince Edward Island swine herds and its association with infertility. **Canadian Journal of Veterinary Research**, Ottawa, v.55, p.352-355, 1991.
- WOLFF, J.W.; BROOM, J.C. The genus *Leptospira noguchi*, 1917: problems of classification and a suggested system based on antigenic analysis. **Documenta de Medecine Geographique et Tropicale**, v.6, p.78, 1954.
- YASUDA, P.A.; STEIGERWALT, A.G.; SULZER, K.K., et al. Deoxyribonucleic acid relatedness between serogroups and serovars in the family *Leptospiraceae* with proposals for seven new leptospira species. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v.37, p.407-415, 1987.

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

A revista **PESQUISA AGROPECUÁRIA GAÚCHA** aceita para publicação trabalhos técnico-científicos, relatos de caso e revisões de conjunto inéditos, de interesse agropecuário, ainda não encaminhados a outra revista para o mesmo fim. As opiniões e conceitos emitidos nos trabalhos são de inteira responsabilidade dos autores. Todavia, a Comissão Editorial, junto à Assessoria Científica, reserva-se o direito de sugerir ou solicitar modificações.

NORMAS PARA PUBLICAÇÃO

1. O artigo, redigido em português, deve ser encaminhado em três (3) vias (original e duas cópias), acompanhado de ofício assinado por todos os autores. O artigo deverá ser mecanografado, com fonte tamanho 12, numa só face de papel tamanho A4 (21,0 x 30,0 cm), com espaço duplo, margem direita de 2,5 e margem esquerda de 3,0 cm. As páginas (no original) devem ser **numeradas e rubricadas pelos autores**. Trabalhos redigidos em espanhol ou inglês também poderão ser aceitos.

2. No caso de aceitação do trabalho, após a análise da assessoria científica e da comissão editorial, o artigo, na sua versão final, deverá ser encaminhado em disquete 3 1/2" e uma via impressa em papel. Utilizar preferentemente fonte do tipo *Times New Roman*, tamanho 12, e processador de texto **WORD 6.0 for Windows** ou **WORDPERFECT 6.1 for Windows**.

3. Padronizar os trabalhos utilizando códigos de nomenclatura reconhecidos internacionalmente. Os nomes científicos e outros latinos deverão ser escritos em itálico; os nomes de cultivares agrônomicas e hortícolas serão escritos entre aspas simples. Escrever em negrito o que se desejar destacar (ou sublinhar). Como norma, o título e os cabeçalhos do artigo serão em caixa alta e em negrito.

4. Usar somente abreviações de unidades do Sistema Internacional (SI).

5. As abreviações não convencionais devem ser explicadas, quando aparecem pela primeira vez no texto.

6. Separar os valores das unidades de medida por um espaço (35 kg). Usar a barra diagonal (25 kg/ha; 25 kg/m²/s) em lugar de expoentes negativos.

7. Os números devem ser em algarismos arábicos para medidas exatas, séries de quantidades e os usados em apresentações estatísticas. Onde a fluência do texto exigir, se escreverá por extenso. Escrever números de quatro algarismos sem espaço ou ponto (2000). Em números de cinco ou mais algarismos, usar espaço (20 000). Em tabelas, os números de quatro dígitos terão um espaço para se alinhar com os de cinco dígitos.

8. Evitar o uso de ponto em abreviaturas: FEPAGRO, UFRGS, EMBRAPA, etc.

9. Utilizar símbolos para os elementos e compostos químicos, quando apropriados, especialmente se houver muita repetição.

10. Usar nomes comuns de princípios ativos e formulações químicas em vez de nomes comerciais, que, se usados, deverão ser identificados como tais e em nota de rodapé salientar que a Fepagro e os autores não estão recomendando o produto.

ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

A apresentação do artigo constará de:

- **TÍTULO**. Deve ser claro, breve e conciso, informando o conteúdo do trabalho. Apresentá-lo em caixa alta e negrito, sem ponto final. Poderá ser seguido do número ¹(um) para chamada de rodapé indicando se é parte de tese, apresentado em congresso, etc.

- **AUTORES**. Iniciando na margem esquerda, os nomes serão escritos em caixa alta, por extenso e em seqüência, separados por vírgula e com numeração sobrescrita para identificar, no rodapé, sua profissão, grau de especialização, instituição a que pertence e endereço.

- **RESUMO** e **ABSTRACT**. Deve ser suficientemente informativo para que o leitor identifique o conteúdo e interesse do trabalho. Não deverá ultrapassar 150 palavras. Logo após o resumo/abstract, indicar as *Palavras-chave /Key words* para indexação. As palavras-chave, sugeridas pelo(s) autor(es), poderão ser modificadas de acordo com as indicações do THESAGRO (lista remissiva para indexação de termos de agropecuária elaborado, de acordo com normas internacionais, pelo Ministério da Agricultura), através da revisão pelo Serviço de Documentação e Informação da Fepagro. Antes do Abstract, colocar a versão do título em inglês.

- O texto principal constará dos seguintes tópicos: **INTRODUÇÃO** (incluindo também revisão de literatura e objetivos), **MATERIAL E MÉTODOS**, **RESULTADOS E DISCUSSÃO**, **CONCLUSÕES** e **BIBLIOGRAFIA CITADA**. Os agradecimentos, sempre que necessários, serão apresentados no final, devendo ser sucintos.

- **BIBLIOGRAFIA CITADA**. A normalização da bibliografia será feita de acordo com a Norma NB-66 de 1989 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

A bibliografia será ordenada alfabeticamente, pelo sobrenome do primeiro autor. Indica-se o autor com entrada pelo último sobrenome (em caixa alta), seguido

da inicial do(s) prenome(s), exceto para nomes de origem espanhola, onde entram os dois últimos sobrenomes. Para distinguir trabalhos diferentes de mesma autoria, será levada em conta a ordem cronológica, segundo o ano da publicação. Se num mesmo ano houver mais de um trabalho do(s) mesmo(s) autor(es), acrescentar uma letra ao ano, separada por vírgula (ex. 1996, a ; 1996, b). Separam-se os diferentes autores por ponto e vírgula (;). Na referência, a segunda e demais linhas subsequentes iniciarão sob a terceira letra.

Recomenda-se, na medida do possível, evitar a colocação de *apud* (citado por).

Exemplos quanto ao tipo de material a ser referenciado:

a. LIVROS

SOARES, F.; BURLAMAQUI, C.K. **Pesquisa científica: uma introdução, técnicas e exemplos**. 2.ed. São Paulo: Formar, 1972. 352p.

b. CAPÍTULO DE LIVRO

HAM, A.W. Microscopia e biologia de células. In: _____. **Histologia**. 7.ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1977. p.2-20.

JANICK, J. Competição entre população de plantas. In: VEGA, M.R. **A ciência da horticultura**. Rio de Janeiro: USAID, 1996. p.277-296.

SCHELLER, W.H. Alimentação prática dos suínos. In: BASTOS, D. **Os suínos**. Belo Horizonte: Agrominas, 1987. Cap. 9, p.235-254.

c. TESES, DISSERTAÇÕES

1. Dissertação ou tese, publicada:

SILVA FILHO, G.N. **Flutuação populacional de micronutrientes em solos submetidos a diferentes sistemas de manejo**. Porto Alegre: UFRGS, 1984. 153p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Microbiologia do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1984.

2. Dissertação ou tese, não-publicada:

PRECOMANN, D.B. **A embolia cerebral cardiogênica nas doenças cérebro-vasculares isquêmicas: estudo clínico tomográfico**. Porto Alegre, 1996. 185p. Tese (Doutorado em Cardiologia) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

d. ARTIGOS DE PERIÓDICOS

MADALENA, F.E.; LEMOS A.M.; TEODORO, R.L.; LUCENA, A.J. Dairy production and reproduction in Holstein-Friesian x Guzera crosses. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 15, n. 3, p.585-593, 1990.

Obs.: Para evitar desuniformidade nas abreviaturas de periódicos, recomenda-se escrever seus títulos por extenso.

e. BOLETINS E RELATÓRIOS

VILHORDO, B.W.; SANTOS, M.M.; NABINGER, S.O. **Caracterização botânica de algumas variedades**

de de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pertencentes a cinco grupos comerciais. Porto Alegre: FEPAGRO, 1995. 72p. (BOLETIM FEPAGRO, 4).

IPRRN. Seção de Conservação do Solo. **Relatório Anual**. Porto Alegre, 1990. 45p.

f. TRABALHOS DE REUNIÕES E CONGRESSOS

ORLANDO FILHO, L.; LEME, E.J. de M. A utilização agrícola dos resíduos da agroindústria canieira. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2., 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 1984. p. 451-475.

Dentro do texto: As citações bibliográficas serão indicadas pelo sobrenome do autor, em caixa alta, e a seguir o ano da publicação, separado por vírgula quando dentro do parênteses. Exemplos: um autor (SILVA, 1993), dois autores (SILVA e BASTOS, 1994), mais de dois, usa-se et. al., (SILVA et al., 1994), se for citado mais de um trabalho, separam-se por ponto e vírgula (SILVA e BASTOS, 1994; SILVA et al., 1994; ROSSER e MASTER, 1996, a; ROSSER e MASTER, 1996, b).

Quando se fizer referência no texto ao(s) autor(es), ou iniciar a frase mencionando-o(s), somente o ano ficará entre parênteses. Exemplos: "SILVA (1993) estudou ...", "SILVA e BASTOS (1994) determinaram que ...", CAMPOS et al. (1996) chegaram a conclusão ...".

TABELAS E FIGURAS

As Tabelas e Figuras devem ser numeradas de forma independente, com números arábicos. As Tabelas e Figuras já devem ser incorporadas dentro do texto. Caso não seja possível, o autor deverá assinalar onde deseja que se coloquem, tanto tabelas quanto figuras, mediante uma anotação entre dois parágrafos em espaço de uma linha em branco no texto. Será respeitada essa colocação, sempre que as necessidades de composição assim o permitirem.

As **TABELAS** terão o título acima, escrito em negrito, sem ponto final e apresentado de forma concisa e explicativa. A palavra **TABELA** também será em negrito, em caixa alta, seguida de traço após o número: **TABELA 1** - . Ao pé das Tabelas poderão constar notas explicativas.

As **FIGURAS** terão o título abaixo, escrito em negrito, sem ponto final. A palavra **FIGURA** também será em negrito, em caixa alta, seguida de traço após o número: **FIGURA 3** - . Ao pé das Figuras, acima do título, poderão constar notas explicativas.

Caso não seja possível a incorporação dentro do texto ao mecanografar, as figuras devem ser preparadas, em ordem de preferência, por impressora de computador laser ou jato de tinta; papel branco com tinta preta; papel vegetal com nanquim.

As **fotografias**, em branco e preto, e em papel com brilho e bem contrastadas, mostrando o essencial, devem ser identificadas no verso. Excepcionalmente, po-

derão ser aceitas fotos em cor (ou slides), sempre que as mesmas sejam indispensáveis. Neste caso, será cobrada uma taxa do(s) autor(es).

Para a impressão, tanto as figuras, quanto as fotografias, poderão ser reduzidas à metade ou um terço de seu tamanho original, sendo necessário levar-se em conta este aspecto para não perder a visibilidade de seus detalhes.

RELATOS DE CASO

Deverão conter os seguintes tópicos: Título, **RESUMO**, *Palavras-chave*, Título em inglês, **ABSTRACT**, *Keywords*, **INTRODUÇÃO, DESCRIÇÃO DO CASO, RESULTADOS E DISCUSSÃO, CONCLUSÕES** e **BIBLIOGRAFIA CITADA**. Os diferentes tópicos seguem as mesmas normas descritas anteriormente.

REVISÃO DE CONJUNTO; ARTIGO DE REVISÃO ou ATUALIZAÇÃO

O autor para apresentar uma revisão de conjunto (denominada também de artigo de revisão ou atualização) deve ter um objetivo claro e relevante, com o intuito de apresentar conclusões sobre o trabalho. É um estudo de um assunto particular onde se reúnem, analisam e discutem informações já publicadas. O autor de uma revisão de conjunto deve procurar não esquecer nenhum dos trabalhos anteriores que fizeram evoluir o assunto ou que o fariam evoluir, se tivessem sido levados em consideração. Deverá conter: Título, **RESUMO**, *Palavras-chave*, Título em inglês, **ABSTRACT**, *Keywords*, **INTRODUÇÃO, DESENVOLVIMENTO** (abordagem do tema em si), **CONCLUSÕES** e **BIBLIOGRAFIA CITADA**.