

# Reações da soja a chuva ácida e solo contaminado

Pedro Luís da C.A. Alves<sup>1</sup> e  
Marco Antônio Oliva C.<sup>2</sup>

**RESUMO** — Plantas de *Glycine max* (L.) Merrill cv. Uberaba, cultivadas em areia, solo (LVA) de Cubatão e solo de Cubatão com acidez corrigida, foram expostas, a partir do estágio V<sub>2</sub>, durante uma semana, a chuva ácida simulada, de composição semelhante às precipitações pluviométricas de Cubatão — SP, com o intuito de estudar os efeitos dos tratamentos sobre: o teor de cera epicuticular, a resistência difusiva ao CO<sub>2</sub> e as atividades das enzimas peroxidase e redutase do nitrato. A chuva ácida causou remoção da cera epicuticular sem, contudo, afetar a resistência difusiva nas superfícies adaxial e abaxial das folhas. A chuva ácida aumentou a atividade da peroxidase e reduziu a atividade da redutase do nitrato nas folhas, sendo este efeito inverso para a redutase do nitrato das raízes. A correção da acidez do solo de Cubatão eliminou os seus efeitos deletérios. Ao final do período experimental, observaram-se na parte aérea lesões evidentes, semelhantes às produzidas pelo acúmulo de flúor. **Palavras-chave** — Cubatão, chuva ácida, cera epicuticular, resistência difusiva, peroxidase, redutase do nitrato.

**ABSTRACT** — Plants of *Glycine max* (L.) Merrill cv. Uberaba grown in sand, (LVA) soil of Cubatão and in soil of Cubatão with corrected acidity were exposed, from the V<sub>2</sub> stage, during one week, to simulated acid rain with composition similar to that of Cubatão, to study the effects of the treatments on: amount of epicuticular wax, diffusive resistance to CO<sub>2</sub> and activities of peroxidase and nitrate reductase enzymes. Acid rain caused removal of epicuticular wax but it did not affect adaxial and abaxial diffusive resistances. Acid rain promoted an increase of peroxidase activity and a decrease of nitrate reductase activity, occurring an inverse effect for nitrate reductase in roots. The correction of the acidity of Cubatão soil eliminated its detrimental effects. At the end of the experimental period, evident lesions similar to those caused by fluor accumulation were observed in the aerial part of the plants.

**Key words** — Cubatão, acid rain, epicuticular wax, diffusive resistance, peroxidase, nitrate reductase.

O termo chuva ácida tem sido popularizado pela mídia em lugar de deposição atmosférica, que é mais abrangente. Deposição atmosférica refere-se a materiais líquidos, sólidos ou gasosos, oriundos da atmosfera, que são depositados nas formas úmida ou seca, nas superfícies do solo e da água (HORNBECK, 1981). Precipitação ácida, na forma de chuva ou de neve, é definida como aquela que apresenta uma concentração de H<sup>+</sup> superior a 2,5 µeq/l, o que equivale a um pH inferior a 5,6 (EVANS, 1984).



Embora as chuvas ácidas estejam afetando principalmente os países industrializados, todas as tendências indicam que os países em desenvolvimento não estão muito longe de ter de enfrentá-las e dentro desses figuram, como os mais propensos, a China, a Índia e o Brasil (FAO, 1984). No Brasil, as grandes regiões industrializadas já começam a apresentar os sintomas iniciais do problema, como é o caso de Cubatão, SP, onde morros e escarpas encontram-

1. Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária — FCAV — UNESP Campus de Jaboticabal. Rod. Carlos Tonanni, km 5. 14870 Jaboticabal, SP, Brasil.  
2. Departamento de Biologia Vegetal — UFV. 36570. Viçosa, MG, Brasil.

-se desprovidos de vegetação. Os resultados obtidos pela CETESB (1984) demonstram que as águas de chuva na região de Cubatão não se encontram extremamente ácidas, mas sim anormalmente poluídas. Em Vila Parisi, por exemplo, obtiveram-se os maiores teores de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{F}^-$  já registrados no mundo.

Apesar da chuva ácida fornecer nutrientes prontamente assimiláveis pelas plantas, a maioria dos autores acredita que ela seja prejudicial, diretamente, por sua deposição nas folhas ou, indiretamente, por lixiviar os nutrientes do solo e por tornar disponíveis elementos do solo que são tóxicos às plantas (RATHIER & FRINK, 1984).

Embora as florestas pareçam ser particularmente afetadas pela exposição à chuva ácida, culturas agrícolas também podem sofrer os seus efeitos. Processos fisiológicos e bioquímicos são mais sensíveis, respondendo mais rapidamente à exposição do que o crescimento e a produção propriamente ditos. Distúrbios dessa natureza, normalmente, se manifestam antes dos sintomas visuais, podendo também ser usados para prever, de forma mensurável, as respostas das plantas a diferentes condições atmosféricas, climáticas e edáficas (RATHIER & FRINK, 1984; NORBY *et alii*, 1985). A intensidade dos danos depende dos estádios de desenvolvimento e das condições fisiológicas da planta, da área foliar e da taxa de absorção de constituintes da chuva por unidade de área, fatores estes condicionados pelas características edafoclimáticas da região. O dano depende ainda da frequência, intensidade e composição da chuva (COWLING & LINTHURST, 1981; GLASS *et alii*, 1982).

Entre os efeitos deletérios da chuva ácida nas plantas, incluem-se a remoção da cera epicuticular e da cutina, constituintes da cutícula (EVANS, 1984); alterações nas trocas gasosas, oriundas do colapso do movimento estomático (NEULFELD *et alii*, 1985); e intoxicação celular, que se manifesta principalmente por distúrbios enzimáticos (DEKOCK *et alii*, 1960).

Nos últimos anos, o efeito da poluição sobre atividades enzimáticas em plantas tem recebido crescente atenção dos pesquisadores. O aumento na atividade da enzima peroxidase (EC 1.11.1.7) parece estar associado a distúrbios a nível de membranas, à presença de substâncias tóxicas no interior das células e à deficiência de ferro (DEKOCK *et alii*, 1960; PATTON & GARRAWAY, 1986). Por outro lado, a redução do nitrato (EC 1.6.62) também tem se mostrado sensível a diferentes tipos de estresses por injúrias foliares (HARPER & HAGEMAN, 1972; AMBRUST & PAULSEN, 1973). Ambas as enzimas têm sido usadas no monitoramento de regiões poluídas, apresentando alta sensibilidade.

Este estudo visou avaliar os efeitos fisiológicos da chuva ácida, de curto tempo de simulação, e de um solo de Cubatão, em soja (*Glycine max* (L.) Merrill).

### Material e Métodos

Este trabalho foi instalado e conduzido, sob condições de laboratório, na Universidade Federal de Viçosa, MG.

Plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) cv Uberaba, cultivadas em areia, solo de Cubatão e solo de Cubatão com acidez corrigida, foram expostas, durante os estádios vegetativos V2 e V3 (FEHR & CAVINESS, 1977), a uma chuva ácida simulada, de composição semelhante à chuva

ácida de Cubatão — SP, utilizando-se um sistema de simulação de chuva construído e adaptado a partir do modelo proposto por Evans *et al.* (1977). A calibração do sistema de simulação foi feita de modo que se obtivesse uma precipitação equivalente a 1 mm/min. A solução ácida usada (Quadro 1) foi preparada de acordo com as recomendações de Evans *et al.* (1982) e modificada de acordo com a composição da chuva de Cubatão (CETESB 1984), adotando-se os valores médios encontrados na região de Vila Parisi.

**Quadro 1** — Concentração de íons utilizados na simulação de chuva de Vila Parisi, Cubatão, SP, com base nos dados da CETESB (1984).

Íons	Concentração (mg/l)
N-amoniacoal ( $\text{N-NH}_4^+$ )	7,5
N-Nítrico ( $\text{N-NO}_3^-$ )	4,2
Fósforo (P)	46,7
Potássio (K)	24,5
Cálcio (Ca)	35,3
Magnésio (Mg)	25,7
Enxofre (S)	162,2
Cloreto ( $\text{Cl}^-$ )	41,3
Sódio (Na)	5,9
Ferro (Fe)	10,0
Manganês (Mn)	2,8
Zinco (Zn)	0,3
Fluoreto ( $\text{F}^-$ )	4,9
pH	4,00 ± 0,02

Utilizou-se areia de rio, lavada com água, cujo pH situou-se em 5,6, como substrato inerte. O solo de Cubatão utilizado foi coletado dos horizontes superficiais  $A_1$  e  $A_2$  (0-0,2 m) de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) de propriedade da ULTRAFÉRTIL. O solo, seco à sombra, passou por duas vezes em peneira com malha de 10 mm de abertura, passando em seguida, por uma vez, em peneira com malha de 5 mm de abertura, quando então coletou-se uma amostra para as análises físicas e químicas, cujos resultados estão expressos no Quadro 2. Em seguida, procedeu-se à correção da acidez de parte da amostra do solo, utilizando como corretivo uma mistura de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ , na relação estequiométrica de 4:1, em quantidade equivalente a 5,68 t  $\text{CaCO}_3$ /ha. A correção foi realizada individualmente, misturando-se os carbonatos com o volume de 3 dm<sup>3</sup> de solo contidos em cada vaso. Em seguida, os vasos foram umedecidos e assim mantidos por um período de 15 dias, obtendo-se um pH de 5,4, quando então realizou-se, em cada vaso, a semeadura de dez sementes de soja previamente selecionadas, totalizando três vasos por tratamento.

Decorridos sete dias após a semeadura, quando as plântulas apresentavam as folhas primárias totalmente expandidas (estádio  $V_1$ ), realizou-se o desbaste, deixando-se as três plântulas mais uniformes em cada vaso.

Aos 15 dias após a semeadura, quando as plantas encontravam-se no estágio  $V_2$ , deu-se início às simulações de chuvas. Estas simulações foram realizadas diariamente, com duração de 20 min e temperatura média no inte-

rior da câmara de  $29^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . A frequência e a intensidade dessas simulações resultaram em uma precipitação média mensal equivalente a 150 mm. Para a simulação da chuva normal, utilizou-se água destilada com pH 6,9, seguindo o mesmo procedimento adotado para chuva ácida. Após a simulação, as plantas foram colocadas sob um painel luminoso, expondo-se a uma densidade de fluxo radiante de  $95 \text{ W.m}^{-2}$  e temperatura média de  $26^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , por um período que totalizava 14 horas de luz diária.

Soluções ácidas, ao se depositarem nas folhas, afetam principalmente as células da epiderme, incluindo entre estas as células-guarda, podendo interferir nas trocas gasosas (Evans 1984). Contudo, tanto a chuva ácida como os substratos não lograram alterar os valores da resistência difusiva nas superfícies abaxial (Rab) e adaxial (Rad), como pode ser observado na Figura 1B. As informações a respeito das causas da variação de resistência difusiva, devido à chuva ácida, não são conclusivas. No entanto, os resulta-

**Quadro 2** — Análise química e granulométrica de uma amostra composta do solo de propriedade da ULTRAFÉRTIL, em Cubatão, SP, 1986.\*

Análise Química		Análise Granulométrica	
pH em $\text{H}_2\text{O}$ (1,0:2,5)	4,22	Frações	Porcentagem
P (ppm)	99,90	Areia grossa	33
K (ppm)	42,60	Areia fina	34
$\text{Ca}^{2+}$ (meq/100 $\text{cm}^3$ solo)	0,76	Silte	12
$\text{Mg}^{2+}$ (meq/100 $\text{cm}^3$ solo)	0,06	Argila	21
$\text{Al}^{3+}$ (meq/100 $\text{cm}^3$ solo)	2,34		
Fe (ppm)	223,00		
Zn (ppm)	2,00	Classificação textural:	
Mn (ppm)	8,00	Franco-argilo-arenoso	
F (ppm)	6,30		

\* Análises realizadas pelos Laboratórios de Química e Física do Solo (Departamento de Solos) da Universidade Federal de Viçosa, MG.

O ensaio para estudar os efeitos das chuvas (normal e ácida) e dos substratos (areia, solo e solo corrigido) foi conduzido em blocos ao acaso, com três repetições. Para fins de prova do efeito dos tratamentos, utilizou-se o desdobramento dos graus de liberdade de tratamentos em contrastes ortogonais de interesse.

A amostragem foi realizada ao final de sete dias de simulação, correspondendo ao estágio  $V_3$ , no qual avaliou-se: a atividade da peroxidase nas folhas, segundo Kar & Mishra (1976); a atividade da redutase do nitrato nas folhas e nas raízes, segundo Jaworski (1971); a resistência difusa ao  $\text{CO}_2$  na superfície abaxial (Rab) e na adaxial (Rad), por meio de um porômetro de difusão LI-cor, Modelo LI-60, com sensor horizontal LI-15 S (Kanemasu *et al.* 1969); e o teor de cera epicuticular nas duas superfícies (Ebercon *et al.* 1977).

### Resultados e Discussão

A chuva ácida causou remoção da cera epicuticular das folhas das plantas de soja cultivadas na areia e no solo de Cubatão com acidez corrigida, sem, contudo, afetar aquelas cultivadas no solo sem correção (Figura 1A e Quadro 3), visto que foram estas que apresentaram menor área foliar e, portanto, menor área de interceptação da chuva.

A taxa de deposição de cera epicuticular depende diretamente da temperatura e da luz e, inversamente, do teor de água na planta (Skoss 1955). A água, além de causar leve remoção da cera, reduz a espessura e a consistência da cutícula (Evans 1984). O efeito adicional de remoção observado no tratamento com chuva ácida pode ter sido resultante de alteração na estrutura submicroscópica da(s) camada(s) de cera epicuticular, possibilitando sua remoção. Por outro lado, a remoção da cutícula só ocorre quando o pH da chuva está abaixo de 3,0, já afetando também as células da epiderme (Evans 1984).

dos obtidos estão de acordo com os observados por Norby *et al.* (1985), também trabalhando com soja. Estes resultados, em parte, podem ser atribuídos ao curto tempo de exposição aos tratamentos, não possibilitando que a solução ácida penetrasse em quantidade suficiente para alterar a permeabilidade das membranas das células-guarda e, portanto, para causar colapso no movimento estomático (Haines *et al.* 1985; Spence 1987). Alves *et al.* (1990), trabalhando com soja cultivada nos mesmos substratos e exposta à chuva ácida simulada de Cubatão por um período de 60 dias, observaram diminuição da resistência difusiva na superfície adaxial decorrente dos mesmos tratamentos.

Plantas de soja, cultivadas na areia e no solo de Cubatão com acidez corrigida, expostas à chuva, apresentaram aumento na atividade da peroxidase em suas folhas, o que não foi observado naquelas cultivadas no solo sem correção (Figura 2A). Os substratos, independentemente do efeito das chuvas, não alteraram significativamente a atividade enzimática.

Como ocorreram injúrias foliares no final do período experimental (Figura 3), pode ter ocorrido ruptura das membranas dos cloroplastos e dos vacúolos, havendo liberação de compostos fenólicos que podem atuar como doadores de hidrogênio para a peroxidase (Patton & Garraway 1986). Além disso, tecidos injuriados podem produzir  $\text{H}_2\text{O}_2$ , substrato para a enzima. O acúmulo de flúor observado nas folhas expostas à chuva ácida (14,4 ppm, em média) pode ter contribuído para o aumento da atividade enzimática, conforme sugestão de Keller (1974).

As plantas cultivadas no solo de Cubatão, sem correção da acidez, apresentaram menor atividade da redutase do nitrato nas folhas do que as cultivadas nos dois outros substratos (Figura 2B), sendo que as plantas cultivadas na areia apresentaram em média, independentemente do efeito das chuvas, maior atividade enzimática do que aquelas culti-

**Quadro 3** — Análise de variância (contrastes ortogonais) do efeito de chuva e substratos, para teor de cera epicuticular, resistência difusiva adaxial e abaxial, atividade de peroxidase e de redutase do nitrato nas folhas e raízes.

Fontes de Variação	G.L.	Cera Epicuticular	Resistência Difusiva		Peroxidase	Redutase do Nitrato	
Contrastes*			Adaxial	Abaxial		Folha	Raiz
1	1	0,00004***	18,2187	0,7339	0,00001	27,1702***	0,8205***
2	1	0,00010***	6,3511	0,0320	0,00001	28,7092***	1,7048***
3	1	0,00002**	79,2067	0,1442	0,0093***	3,6022	0,0140**
4	1	0,00004***	0,0683	0,4760	0,0061***	56,3776***	0,0288***
5	1	0,00001	14,7580	0,7280	0,0009	7,9880**	0,0559***
Resíduo	10	0,00001	223,7347	2,3250	0,0004	14,7287	0,0175
C.V. (%)		9,07	25,66	18,22	5,61	13,60	8,66

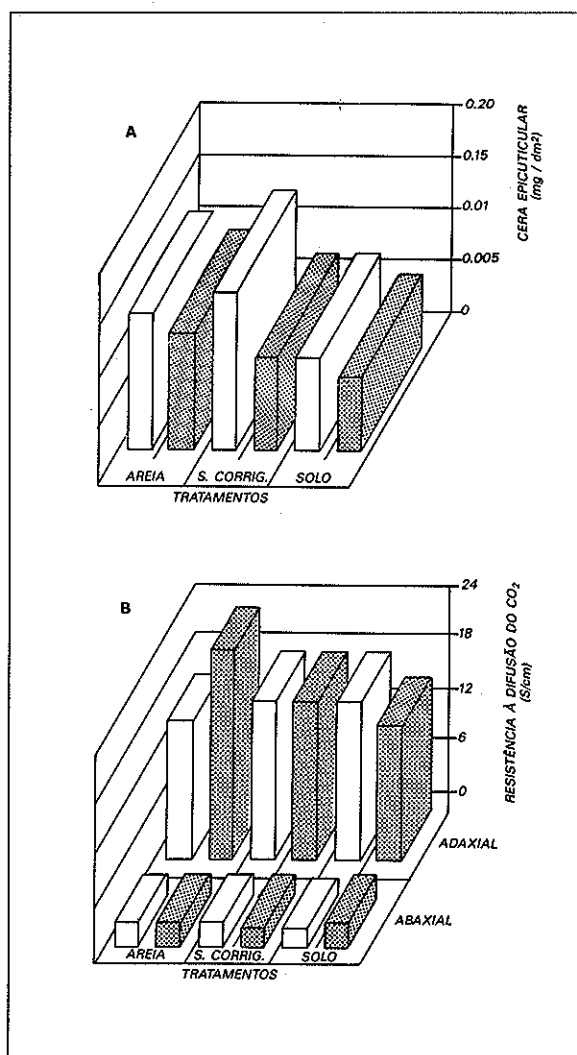
\* Contrastes:

1. Areia vs solo — 2. Solo vs solo corrigido — 3. Areia com chuva normal vs areia com chuva ácida — 4. Solo corrigido com chuva normal vs solo corrigido com chuva ácida — 5. Solo com chuva normal vs solo com chuva ácida.

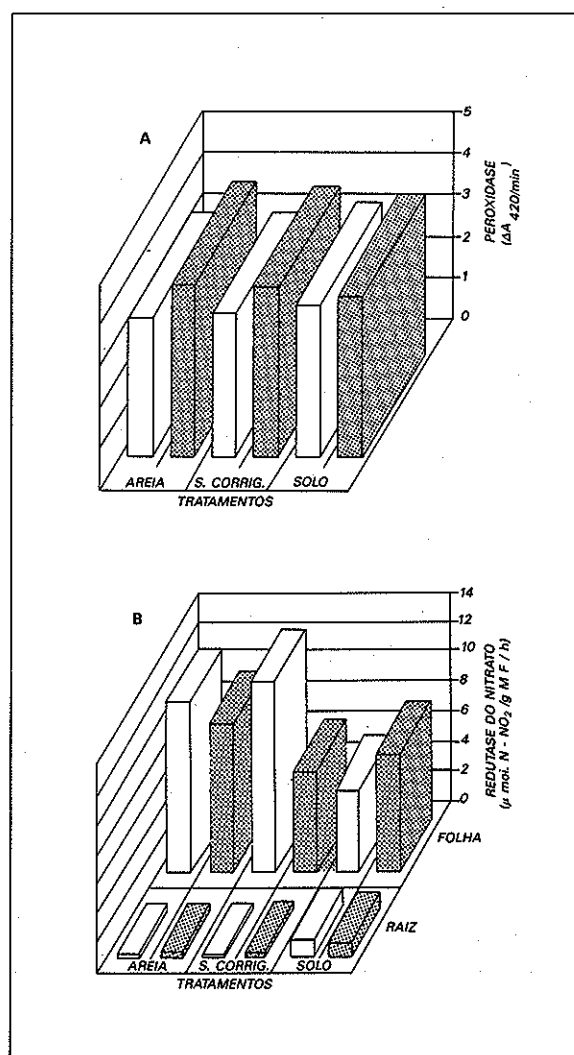
\*\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

\*\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

**Figura 1** — Teor de cera epicuticular (A) e resistência difusiva ao CO<sub>2</sub> (B) em plantas de soja cultivadas em areia, solo de Cubatão e solo de Cubatão corrigido, expostas à chuva normal (□) ou ácida (■).



**Figura 2** — Atividade da peroxidase (A) e da redutase do nitrato (B) em plantas de soja cultivadas em areia, solo de Cubatão e solo de Cubatão corrigido, expostas à chuva normal (□) ou ácida (■).



vadas nos solos. A chuva ácida reduziu a atividade da enzima nas folhas apenas nas plantas cultivadas no solo corrigido, resultando em aumento da mesma nas plantas cultivadas no solo não corrigido. Como se pode observar, a correção do solo de Cubatão recuperou a atividade da enzima, aproximando-a do tratamento em areia, provavelmente por inativar ou neutralizar inibidores presentes no solo, como o Al. Quando se analisa a atividade da enzima nas raízes, verifica-se que o efeito dos tratamentos foi inverso. A chuva ácida aumentou a atividade enzimática nas raízes das plantas cultivadas tanto na areia como no solo de Cubatão com acidez corrigida, reduzindo-a nas cultivadas no solo sem correção. As plantas cultivadas na areia apresentaram, em média, independentemente do efeito das chuvas, menor atividade da enzima nas raízes do que as cultivadas no solo, sendo que as cultivadas no solo com acidez corrigida apresentaram menor atividade da enzima.

Estes resultados, em parte, podem ser explicados pelos substratos: a areia e o solo com acidez corrigida possuíam maior capacidade de tamponamento da acidez da chuva e, portanto, maior poder de neutralização, reduzindo a liberação de inibidores como o alumínio e aumentando a disponibilidade de elementos essenciais, como o molibdênio (Harper & Hageman 1972). Pode-se inferir que o aumento observado na atividade da enzima nas plantas cultivadas no solo sem correção seja resultante da adição de  $N-NO_3^-$  proveniente da chuva, visto ser este o substrato para a enzima (Rea & Sanders 1987). O efeito contrário, observado nas diferentes partes das plantas cultivadas no solo sem correção, pode ser decorrente do efeito direto da chuva no solo, afetando a disponibilidade de elementos. Além disso, os íons  $H^+$ , presentes na chuva ácida, podem alterar o gradiente de potencial eletroquímico, diminuindo o influxo de  $N-NO_3^-$  (Rea & Sanders 1987).

Constatou-se, visualmente, que as raízes das plantas cultivadas no solo de Cubatão sem correção cresceram próximas à superfície e às paredes do vaso, chegando muitas vezes a sair do solo. Plantas expostas à chuva ácida apresentaram lesões foliares ao final do período experimental (Figura 3). As lesões apareceram nas margens dos folíolos, nos trifólios próximos ao ápice, fazendo com que estes, ao se desenvolverem, ficassem enrugados e encarquilhados. Esses sintomas podem ter sido resultantes de uma hiperplasia ou de um hipertrofismo das células do mesófilo, assim como de uma inativação do meristema lateral pela necrose marginal (Evans *et al.* 1977; Neufeld *et al.* 1985). As lesões observadas assemelham-se às causadas pelo excesso de flúor (Prince *et al.* 1949). Em folhas de soja, a solução ácida se concentra e seca ao longo das nervuras e nas áreas marginais, resultando no aparecimento de muitas lesões nessas áreas (Lee *et al.* 1981; Heagle *et al.* 1983).

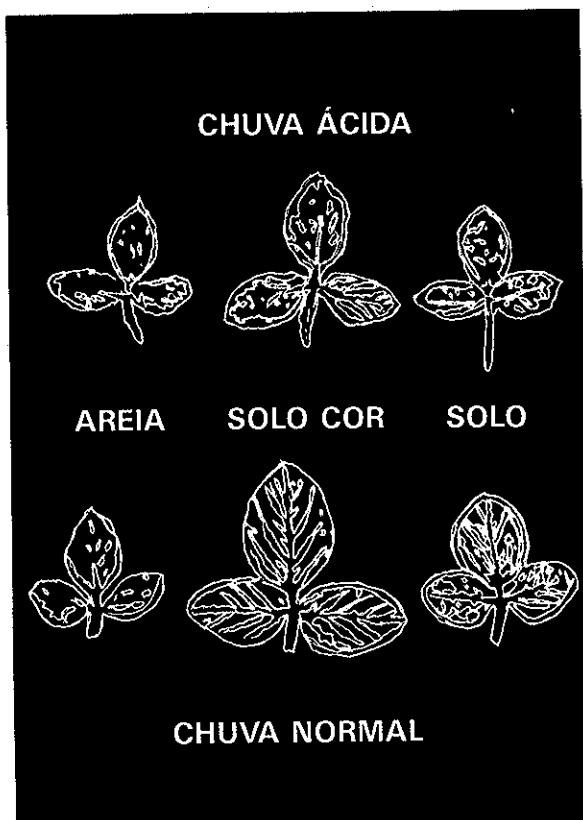
### Conclusões

A chuva ácida causou remoção da cera epicuticular das folhas de soja, sem, contudo, afetar a resistência difusiva ao  $CO_2$  nas superfícies adaxial e abaxial. Plantas de soja expostas à chuva ácida apresentaram aumento na atividade da peroxidase nas folhas, independentemente dos substratos. A chuva ácida fez decrescer a atividade da redutase do nitrato nas folhas das plantas cultivadas no solo corrigido, aumentando-a no solo sem correção. Nas raízes, o comportamento da enzima foi contrário. A chuva ácida causou lesões nos trifólios próximos ao ápice.

### Bibliografia

- AMBRUST, D.V. & PAULSEN, G.M. 1973. Effect of wind and sandblast injury on nitrate accumulation and on nitrate reductase activity in soybean seedlings. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 4:197-204.
- ALVES, P.L.C.A.; OLIVA, M.A.C.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANNA, R. 1990. Efeitos da chuva ácida simulada e de um solo de Cubatão (SP) sobre parâmetros relacionados com a fotossíntese e a transpiração de plantas de soja. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.* 2(1):7-14.
- CETESB — Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1984. Caracterização química das águas de chuvas — Impacto ambiental — Relatório Anual. São Paulo. CETESB. 22 p.
- COWLING, E.B. & LINTHURST, R.A. 1981. The acid precipitation phenomenon and its ecological consequences. *Bio-Science*, 31:649-53.
- DEKOCK, P.C.; COMMISIONG, K.; FARMER, V.C.; INKSON, R.H.E. 1960. Interrelationships of catalase, peroxidase, hematin and chlorophyll. *Plant Physiol.* 35:599-604.
- EBERCON, A.; BLUM, A.; JORDAN, W.R. 1977. A rapid colorimetric method for epicuticular wax content of sorghum leaves. *Crop. Sci.*, 17:179-80.

**Figura 3** — Aspecto geral de trifólios de plantas de soja cultivadas nos diferentes substratos e expostas ou não à chuva ácida.



- EVANS, L.S. 1984. Botanical aspects of acidic precipitation. Bot. Rev., 50:449-90.
- EVANS, L.S.; LEWIN, K.F.; CUNNINGHAM, E.A.; PATTI, M.J. 1982. Effects of simulated acidic rain on yields of fieldgrown crops. New Phytol., 91:429-41.
- EVANS, L.S.; GMUR, N.F.; DA COSTA, F. 1977. Leaf surface and histological perturbations of leaves of *Phaseolus vulgaris* and *Helianthus annuus* after exposure to simulated acid rain. Amer. J. Bot., 64:903-13.
- EVANS, L.S. & LEWIN, K.F. 1981. Growth, development and yield responses of pinto beans and soybeans to hydrogen ion concentration of simulated acid rain. Environ. Exp. Bot., 21:103-13.
- FAO. 1984. Lluvias ácidas: llegó el turno del tercer mundo? Rev. Ceres, 17(5):101-102.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. 1977. Stage of soybean development. Special Report 80. Co-operative extension service. Iowa State University, Ames, Iowa, 11 p.
- FERENBAUGH, R.W. 1976. Effects of simulated acid rain on *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae). Amer. J. Bot., 63:283-8.
- GLASS, N.R.; ARNOLD, D.E.; GALLOWAY, J.N.; HENDREY, G.R.; LEE, J.J.; McFEE, W.W.; NORTON, S.A.; POWERS, C.F.; RAMBO, P. L.; SCHOFIELD, C.L. 1982. Effects of acid precipitation. Environ. Sci. Technol., 16:162-9.
- HAINES, B.L.; JERNSTEDT, J.A.; NEUFELD, H.S. 1985. Direct foliar effects of simulated acid rain. II. Leaf surface characteristics. New Phytol., 99:407-16.
- HARPER, J.E. & HAGEMAN, R.H. 1972. Canopy and seasonal prolifes of nitrate reductase in soybean (*Glicine max* (L.) Merr.). Plant Physiol., 49:164-54.
- HEAGLE, A.S.; PHILBECK, R.B.; BREWER, P.F.; FERRELL, R.E. 1983. Response of soybeans to simulated acid rain in the field. J. Environ. Qual., 12:538-43.
- HORNBECK, J.M. 1981. Acid rain: Facts and Fallacies. J. For., 438-43.
- JAWORSKI, E.G. 1971. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. Bioch. Biophys. Res. Comm. 43:1274-9.
- KANEMASU, E.T.; THURTELL, G.W.; TANNER, C.B. 1969. Design, calibration and field use of a stomatal diffusion porometer. Plant. Physiol., 44:881-5.
- KAR, M. & MISHRA, D. 1976. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. Plant. Physiol., 57:315-9.
- KELLER, Th. 1974. The use of peroxidase activity for monitoring and mapping air pollution areas. Eur. J. For. Path., 4:11-9.
- LEE, J.J.; NELLY, G.E.; PERRIGAM, S.C.; GROTHAUS, L.C. 1981. Effect of simulated sulfuric acid rain on yield, growth and foliar injury of several crops. Environ. Exp. Bot., 21:171-85.
- NEUFELD, H.S.; JERNSTEDT, J.A.; HAINES, B.L. 1985. Direct foliar effects of simulated acid rain. I. Damage, growth and gas exchange. New Phytol., 99:398-405.
- NORBY, R.J.; RICHTER, D.D.; LUXMOORE, R.J. 1985. Physiological processes in soybean inhibited by gaseous pollutants but not by acid rain. New Phitol., 100:79-85.
- PATTON, R.L. & GARRAWAY, M.O. 1986. Ozone-induced necrosis and increased peroxidase activity in hibrid poplar (*Populus sp*) leaves. Environ. Exp. Bot., 26:137-41. 1986.
- PENA, J.A.; DE PENNA, R.G.; BOWERSOX, V.C.; TAKACS, J.F. 1982. SO<sub>2</sub> content in precipitation and its relationship with surface concentrations of SO<sub>2</sub> in the air. Atm. Environ., 16:1711-5.
- RATHIER, T.M. & FRINK, C.R. 1984. Simulated acid rain: Effects on leaf quality and yield of broadleaf tobacco. Water, Air, Soil Pollut., 22:389-94.
- REA, P.A. & SANDERS, D. 1987. Tonoplast energization: Two H<sup>+</sup> pumps, one membrane. Physiol. Plant., 71:131-41.
- SKOSS, J.D. 1955. Structure and composition of plant cuticle in relation to environmental factors and permeability. Bot. Gaz., 117:55-72.
- SPENCE, R.D. 1987. The problem of variability in stomatal responses, particularly aperture variance, to environmental conditions. New Phytol., 107:303-15.

