

# EFEITO DA VARIAÇÃO DA PRESSÃO INTERNA DOS PNEUS NA EFICIÊNCIA DE TRAÇÃO DE UM TRATOR 4X2

*Mauro Fernando Pranke Ferreira*<sup>1</sup>

*Antônio Lilles Tavares Machado*<sup>2</sup>

*Ângelo Vieira dos Reis*<sup>3</sup>

*Roberto Lilles Tavares Machado*<sup>4</sup>

*Airton dos Santos Alonço*<sup>5</sup>

**RESUMO:** Um trator agrícola 4x2 foi analisado quanto a sua capacidade de tração, sobre um solo firme e plano, com cobertura vegetal de campo nativo. O trator de teste foi utilizado sem lastração com água e sem contrapesos metálicos. Três pressões internas foram utilizadas, a recomendada pelo fabricante de pneus de 110kPa e duas abaixo da recomendada, de 95kPa e 81kPa. Utilizou-se três cargas na barra de tração, com o objetivo de se verificar o desempenho do trator quanto à sua eficiência de tração. Os resultados indicaram que a maior eficiência de tração ocorreu com a mais baixa pressão interna utilizada nos pneus de tração (81kPa), patinamento entre 18% e 20% e carga média na barra de tração.

**PALAVRAS-CHAVE:** patinamento, resistência ao rolamento, força de tração, desempenho.

---

<sup>1</sup> Professor da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Curso de Engenharia Agrícola. Av. Independência, 2293. Santa Cruz do Sul, RS, CEP: 96815-900. Caixas postais 188 e 236. Telefone: 0-xx-51-37177647. Correio eletrônico: maurof@unisc.br

<sup>2</sup> Professor da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Correio eletrônico: lilles@ufpel.edu.br

<sup>3</sup> Professor da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Correio eletrônico: areis@ufpel.edu.br

<sup>4</sup> Professor da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Curso de Engenharia Agrícola. Correio eletrônico: rilles@unisc.br

<sup>5</sup> Professor da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Centro de Ciências Rurais. Correio eletrônico: alonco@ccr.fsm.br

# EFFECTS OF TIRE INFLATION PRESSURE ON THE TRACTIVE EFFICIENCY OF A TWO WHEEL DRIVE TRACTOR

**ABSTRACT:** The traction capacity of a two wheel drive agricultural tractor on firm grass covered soil was studied. The tractor carried no ballast (metal nor liquid). Three inflation pressures were used: the one recommended by the manufacturer (110kPa) and two lower values (95 and 81kPa). The tractor was submitted to three drawbar loads in order to obtain its tractive efficiency performance. The test results indicated that the biggest tractive efficiencies were obtained with the lowest tire inflation pressures (81kPa), with a wheel slip between 18 and 20 % and medium drawbar loads.

**KEY WORDS:** wheel slip, rolling resistance, drawbar pull, performance.

## INTRODUÇÃO

O estudo da tração em tratores agrícolas vem sendo executado por diversos autores durante os últimos anos, justifica-se estas pesquisas pela grande perda de energia que ocorre no contato roda-solo, sendo esta a maior fonte de perda da energia gerada pelos tratores. Charles<sup>1</sup>, apresentou resultados da pesquisa mundial onde mostrou que de 20% a 55% da energia transmitida para as rodas motoras dos tratores é perdida nos elementos de tração.

O trator agrícola é uma unidade polivalente, que realiza diversos trabalhos e em condições muito variadas (Marquez<sup>2</sup>), constituindo-se segundo Schlosser<sup>3</sup>, na principal fonte de potência na agricultura, servindo de base à mecanização agrícola moderna.

Conforme Reis et al.<sup>4</sup>, um trator 4x2, apresenta duas rodas motrizes, devendo ser utilizado quando for necessária velocidade de deslocamento entre 2,0km.h<sup>-1</sup> e 18,0 km.h<sup>-1</sup> e forças de tração entre 9,8kN e 31,4kN. A força de tração na barra expressa a capacidade do trator tracionar implementos acoplados por um, dois ou três pontos.

A tração é a força proveniente da interação entre um dispositivo de autopropulsão, tal como a roda, e o meio no qual age esse dispositivo (Mialhe<sup>5</sup>). Alguns fatores afetam as condições de tração e portanto o seu rendimento, entre estes se encontram; a pressão interna do pneu, condição do solo, peso suportado pelo pneu e presença de restos de culturas ou coberturas no solo.

Zombori<sup>6</sup>, estudou o efeito da pressão interna sobre a força de tração na barra e eficiência de tração. Observou que em um patinamento constante, a diminuição da pressão interna causou um aumento da força de

tração na barra. Quando esta foi constante, a diminuição da pressão interna causa a redução do patinamento, a qual resulta em significativo aumento na eficiência de tração.

Segundo Barger<sup>7</sup>, a tração pode ser aumentada pela diminuição da pressão interna dos pneus. Com o decréscimo da pressão diminui o afundamento do pneu no solo, reduzindo a resistência ao rolamento. Tal fato é válido para condições em que seja acentuado o afundamento no solo.

Sob condições agrícolas, por exemplo, em solos arenosos ou arados, poder-se-ia aceitar uma pressão interna mínima, dentro dos limites do pneu. Estas pressões mínimas podem proporcionar substanciais melhoramentos. De acordo com Rutherford<sup>8</sup> estes podem ser; efeitos benéficos ao solo, cultura e uma maior eficiência em tratores e máquinas.

Rempfer & Schwanghart<sup>9</sup>, estudaram os benefícios de uma correta adaptação da pressão interna em pneus agrícolas. Utilizando um trator na atividade de aração, reduziram a pressão interna de 130kPa para 40kPa, obtendo diminuição no patinamento de 16% para 6,5%. Este efeito proporcionou um aumento na velocidade de trabalho em torno de 7% e uma diminuição do consumo de combustível em cerca de 6,6%. No transporte sobre estrada, a pressão dos pneus foi aumentada de 130kPa para 160kPa e a de um reboque de 200kPa para 270kPa. Neste caso obteve redução no consumo de combustível do conjunto em cerca de 10,5% e diminuição da resistência ao rolamento do trator e do reboque em 7,7% e 11,3% respectivamente.

De acordo com o fabricante Pirelli<sup>10</sup>, a pressão interna utilizada nos pneus afeta a tração, porém não se deve reduzi-la nem aumentá-la além dos valores recomendados, prevenindo possíveis danos aos pneus e possibilitando uma maior vida útil a estes.

Este trabalho teve por objetivo de analisar o efeito das pressões internas utilizadas nos pneus de tração de um trator agrícola 4x2 e verificar sua influência na resistência ao rolamento, patinamento e eficiência de tração.

## MATERIAL E MÉTODOS:

Os testes foram realizados no campo experimental do Setor de Máquinas Agrícolas, do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, localizado no Campus da Universidade Federal de Pelotas, no município de Capão do Leão, RS, compreendido entre a Latitude 31° 52' 00" sul e Longitude 52° 21' 24" oeste, pertencendo a unidade de mapeamento Pelotas, atualmente denominado de Planossolo Hidromórfico (Streck et al.<sup>11</sup>), nos dias 9, 10 e 11 de dezembro de 2002. A área utilizada vinha sendo utilizada como pastagem natural, apresentando uma condição de superfície de solo agrícola firme, sem preparo, com cobertura vegetal de campo nativo. O solo apresenta textura arenosa em seu horizonte A, numa média de 0,84kg.kg<sup>-1</sup> de areia, 0,14kg.kg<sup>-1</sup> de silte e 0,02kg.kg<sup>-1</sup> de argila. O teor de água médio foi de 0,12kg.kg<sup>-1</sup> e densidade do solo no momento dos testes era de 1560kg.m<sup>-3</sup> e a porosidade total de 0,43m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>. As parcelas foram retangulares, com 100 metros de comprimento e 3 metros de largura.

O trator de teste utilizado foi da marca Ford, modelo 4600 4x2 com massa total de 2.700kgf, sem lastreamento por água nas rodas traseiras e sem contrapesos metálicos nas rodas dianteiras. Os pneus de tração foram da marca Pirelli, seis lonas, de carcaça diagonal, com designação 18.4-30, banda de rodagem R2, com altura de garras de 55mm. Os pneus direcionais foram da marca Pirelli, seis lonas, com designação 7.50-16, banda de rodagem F2. O trator de teste foi utilizado na 3.<sup>a</sup> marcha reduzida e com rotação no motor de 1800rpm. O trator freio foi um da marca John Deere, modelo 6605 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), peso total de 6.100kgf, pneus dianteiros especificados como 14.9-24 R2, com 8 lonas, marca Pirelli e pneus traseiros especificados como 23.1-30 R2, com 8 lonas, marca Pirelli, sem lastro nos rodados traseiros e lastro dianteiro num total de 8 pesos com 25kgf cada, totalizando 200kgf. As marchas e a rotação utilizadas no motor do trator de freio variaram as cargas impostas a barra de tração do trator de teste, conforme apresentado na TABELA 1.

TABELA 1 - Marchas e rotações utilizadas no trator de freio para obtenção das cargas na barra de tração do trator de teste.

<b>Tipo de carga na BT</b>	<b>Marcha</b>	<b>rpm</b>
<b>Carga 1 – Baixa</b>	1. <sup>a</sup> B1	1800
<b>Carga 2 – Média</b>	1. <sup>a</sup> B1	1400
<b>Carga 3 – Alta</b>	1. <sup>a</sup> B1	1200

Utilizou-se três pressões internas nos pneus de tração do trator de teste, a fim de analisar-se, as quais foram; pressão um (P1) de 110kPa, Pressão 2 (P2) de 95kPa e pressão três (P3) de 81kPa. Nos pneus direcionais do

trator teste foi utilizada a pressão recomendada pelo fabricante de 165kPa. A aferição das pressões internas dos pneus foi executada com um calibrador mecânico convencional de precisão de 7kPa marca Schweers.

Para a determinação da força de tração utilizou-se uma instrumentação eletrônica marca Alfa Instrumentos a qual consistiram de uma célula de carga com capacidade de 50kN, modelo Q-5T e um condicionador de sinais, modelo 1101. Os valores dos sinais foram obtidos em milivolts (mV), sendo necessário sua conversão para quilo Newtons (kN), através da equação (1).

$$F_t = 0,02472.X + 0,0422 \quad (1)$$

Onde:

$F_t$  = Força de tração (kN);

$X$  = Valor encontrado no monitor do condicionador de sinais (mV);

A determinação da resistência ao rolamento do trator teste deu-se através da colocação da célula de carga entre o trator teste e o trator freio, com este último tracionando o trator teste com o motor ligado e a caixa de câmbio na posição neutra.

A eficiência da resistência ao rolamento foi calculada a partir da equação (2), estimando-se a eficiência da transmissão em 0,87, conforme Schlosser<sup>12</sup>:

$$\eta_{RR} = \frac{Q}{Q + RR} \quad (2)$$

Onde:

$\eta_{RR}$  = Eficiência da resistência ao rolamento;

$Q$  = Força de tração (kN);

$RR$  = Força de resistência ao rolamento do pneu (kN).

A eficiência de tração foi calculada através da equação (3):

$$\eta_{EF} = \eta_{\delta} \times \eta_{RR} \times \eta_T \quad (3)$$

Onde:

$\eta_{EF}$  = Eficiência de tração;

$\eta_{\delta}$  = Eficiência do patinamento;

$\eta_{RR}$  = Eficiência da resistência ao rolamento;

$\eta_T$  = Eficiência da transmissão.

A eficiência do patinamento, que é uma eficiência média em relação ao patinamento das rodas traseiras do trator 4x2, foi calculada pela equação (4):

$$\eta\delta T = 1 - \delta T \quad (4)$$

Onde:

$\eta\delta T$  = Eficiência no patinamento do eixo traseiro;

$\delta T$  = Patinamento no eixo traseiro;

Utilizou-se o software SISTANVA<sup>13</sup> para a execução das análises estatísticas. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com experimentos fatoriais. O contraste entre os fatores e entre os níveis foi realizado através do teste de Tukey 5%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos trabalhos realizados no experimento, indicam que as forças impostas à barra de tração foram significativamente diferentes (TABELA 2), mostrando a utilização de cargas adequadas ao trator de teste.

TABELA 2 – Forças de tração impostas a barra de tração do trator de teste.

Cargas na barra de tração	Força de tração (kN)
3 – Alta	15,31 <sup>a</sup>
2 – Média	13,07 <sup>b</sup>
1 - Baixa	6,64 <sup>c</sup>

Médias com mesmo índice não diferem significativamente pelo teste de Tukey 5%.

Os valores relativos à influência das pressões internas e cargas impostas na barra de tração do trator de teste, em relação as eficiências da resistência ao rolamento, patinamento e tração, encontram-se na TABELA 3.

TABELA 3 – Influência da pressão interna nas três cargas impostas na barra de tração do trator de teste na eficiência da resistência ao rolamento, patinamento e tração.

Pressão interna (kPa)	Cargas na BT	Eficiência da transmissão ( $\eta_T$ )	Eficiência da resistência ao rolamento ( $\eta_{RR}$ )	Eficiência patinamento traseiro ( $\eta_{\delta T}$ )	Eficiência tração ( $\eta_{EF}$ )
110	Carga 2	0,87	0,793	0,763	0,53 <sup>a</sup>
110	Carga 1	0,87	0,650	0,894	0,50 <sup>b</sup>
110	Carga 3	0,87	0,820	0,708	0,50 <sup>b</sup>
95	Carga 2	0,87	0,757	0,802	0,53 <sup>a</sup>
95	Carga 1	0,87	0,636	0,902	0,50 <sup>b</sup>
95	Carga 3	0,87	0,795	0,727	0,50 <sup>b</sup>
81	Carga 3	0,87	0,635	0,803	0,57 <sup>a</sup>
81	Carga 2	0,87	0,791	0,810	0,56 <sup>a</sup>
81	Carga 1	0,87	0,811	0,896	0,50 <sup>b</sup>

Médias com mesmo índice não diferem significativamente pelo teste de Tukey 5%.

As informações da TABELA 3 indicam que com a utilização de pressões internas de 110kPa e 95kPa, as maiores eficiências de tração foram obtidas para a carga média. Já para a pressão interna de 81kPa a maior eficiência foi alcançada com o carregamento mais elevado, entretanto, nesta situação, esta não diferiu significativamente da carga média.

De acordo com a TABELA 4, avaliando-se as eficiências de tração médias em função das pressões internas, observa-se que a maior eficiência encontra-se com a menor pressão interna (81kPa), a qual foi significativamente diferente das demais.

TABELA 4 – Influência das pressões internas na eficiência de tração.

Pressões internas (kPa)	Eficiência de tração ( $\eta_{EF}$ )
81	0,54 <sup>a</sup>
110	0,52 <sup>b</sup>
95	0,50 <sup>b</sup>

Médias com mesmo índice não diferem significativamente pelo teste de Tukey 5%.

A FIGURA 1 mostra o comportamento da eficiência de tração e do patinamento das rodas motrizes do trator em função das pressões internas utilizadas. Para índices de patinamento baixo, até 13%, ocorreu um desempenho semelhante quanto à eficiência de tração nas três pressões internas utilizadas. Acima de 13%, as maiores eficiências de tração ocorreram utilizando-se a mais baixa pressão interna (81kPa). Para as pressões de 95kPa e 110kPa a diferença no desempenho não se mostrou significativamente diferente, tendo sido a mesma até 19% de patinamento. Para todas as situações de carregamento a máxima eficiência de tração ocorreu com o patinamento variando entre 18% e 20%, de maneira semelhante ao estudo de Charles<sup>14</sup>, apresentado pelo fabricante de pneus Pirelli<sup>10</sup>.

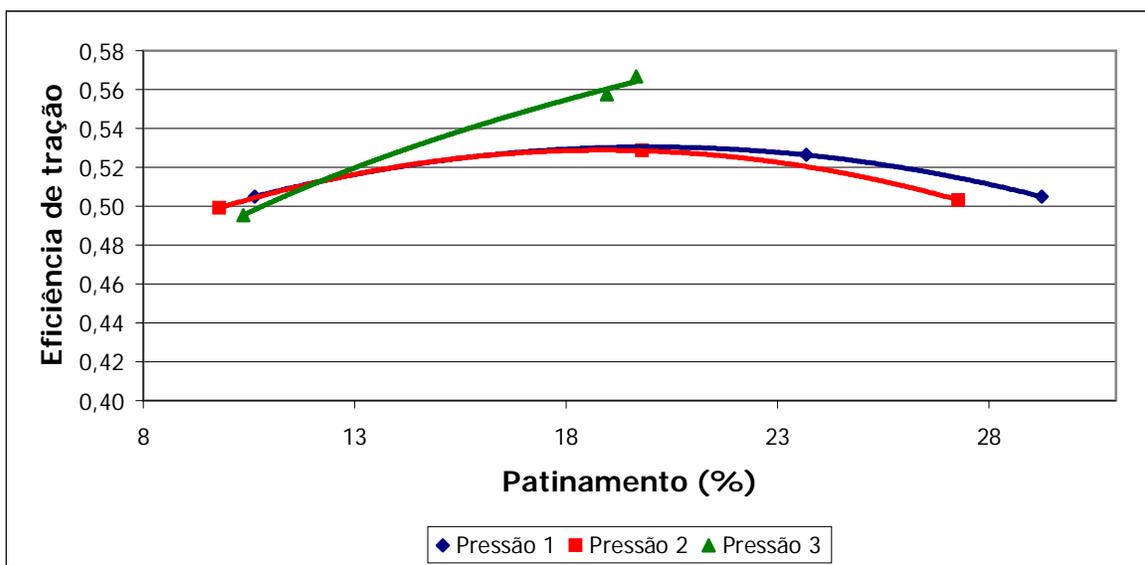


FIGURA 1 – Comportamento da eficiência de tração e patinamento do trator 4x2 em relação as pressões internas dos pneus de tração.

A FIGURA 2 mostra o comportamento da eficiência de tração e da força de tração do trator em função das pressões internas dos pneus. Para a força de tração de até 10kN as eficiências de tração são semelhantes, seja qual for o carregamento utilizado. Acima de 10kN a maior eficiência de tração foi obtida quando os pneus de tração foram utilizados com a menor pressão (81kPa), mostrando uma tendência de aumento da eficiência inversamente proporcional ao aumento da pressão interna dos pneus de tração.

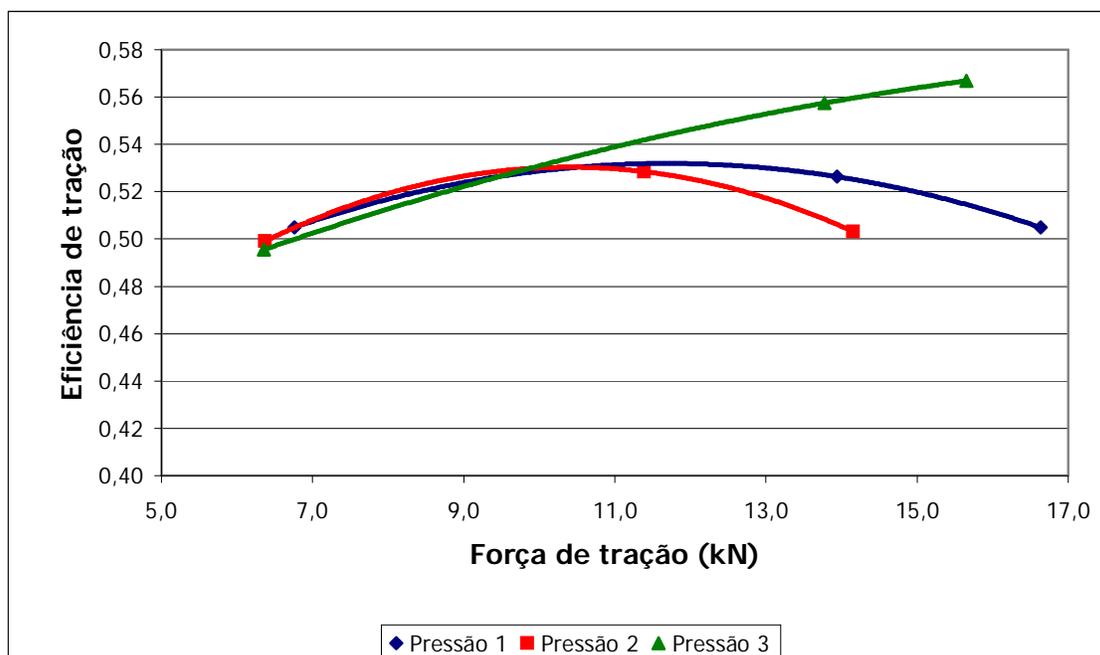


FIGURA 2 - Comportamento da eficiência de tração e força de tração executada pelo trator 4x2 em relação as pressões internas dos pneus de tração.

## CONCLUSÕES

Para as condições em que foram realizados os testes pode-se concluir que:

- ✓ a maior eficiência de tração ocorreu com a carga média na barra de tração (13kN);
- ✓ o aumento da eficiência de tração se deu com a diminuição da pressão interna nos pneus de tração;
- ✓ a maior eficiência de tração foi atingida com níveis de patinamento entre 18% e 20%.

## AGRADECIMENTOS

A todos os alunos da turma de 2002 da Pós-Graduação em Engenharia Rural - Curso de Especialização em Gerenciamento e Utilização de Máquinas Agrícolas do DER – FAEM – UFPel, pelo auxílio na coleta de dados deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- <sup>1</sup> CHARLES, S.M. *Effects of ballast and inflation pressure on tractor tire performance*. Firestone Tire and Rubber CO, V. 65, N.2, 1984. p.11-13.
- <sup>2</sup> MARQUEZ, L. *Laboreo-Solotractor 90*. Parte III, Cap. 3.1, Adaptacion del tractor a la labor. 1990. p.128-145.
- <sup>3</sup> SCHLOSSER, J.F. *Motores e tratores agrícolas*. Caderno didático. DER / CCR / UFSM. 1997. Parte 2, p.41.
- <sup>4</sup> REIS, Â. V. dos; MACHADO, A. L. T.; TILLMANN, C. A. da C.; et al. *Motores, tratores, combustíveis e lubrificantes*. Pelotas: Universitária UFPel, 1999. 315p.
- <sup>5</sup> MIALHE, L. G. *Máquinas Motoras na Agricultura*. V.2.2. EPU: Editora da Universidade de São Paulo, 1980. São Paulo. p.140-221.
- <sup>6</sup> ZOMBORI, J. *Drawbar pull tests of various traction devices on sandy soils*. *Journal Terramechanics*. v.4, n.1, p. 9-17, 1967.
- <sup>7</sup> BARGER, E. L. *Tratores e seus Motores*. Ed Edgard Blücher Ltda.: São Paulo, SP, 1966. p.206-231.
- <sup>8</sup> RUTHERFORD, I. & MCALLISTER, M. *Tyres and traction*. NIAE, 1983. 12p.
- <sup>9</sup> REMPFER, M. & SCHWANGHART, H. *Economic and ecological benefits of central tire inflation systems on agricultural vehicles*. Institute of Agricultural machinery, Technical University of Munich, Germany, 1996. AGENG Madrid 96. Paper n.º96A-068. 8p.
- <sup>10</sup> PIRELLI. *Manual Técnico. Pneus para Agricultura*. 1998. p.66.
- <sup>11</sup> STRECK, E. V., KAMPF, N., KLAMT, E. *Atualização da classificação taxionômica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul*. Informativo EMATER-RS, Porto Alegre, n. 9, 1999. 5p.
- <sup>12</sup> SCHLOSSER, J.F. *Influencia del avance cinematico de las ruedas delanteras motoras en la eficiencia en tracción de los tractores agrícolas*. Madrid, Espanha: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 1996. 236p.
- <sup>13</sup> SISTANVA. *Sistema de análise de variância-PC*. Setor de informática, CNPTrigo, EMBRAPA. Versão2.0.
- <sup>14</sup> CHARLES, S.M. *Effects of ballast and inflation pressure on tractor tire performance*. Firestone Tire and Rubber CO - Akron, OH. v.65, n.2, 1984. p.11-13.