

ACUMULAÇÃO DIFERENCIAL DE NUTRIENTES POR CINCO CULTIVARES DE MILHO (*Zea mays* L.). II – ACUMULAÇÃO DE MICRONUTRIENTES*

A.G. DE ANDRADE**
H.P. HAAG***
G.D. DE OLIVEIRA***
J.R. SARRUGE***

RESUMO

No presente trabalho, os autores apresentam os resultados de um ensaio de campo empregando os cultivares Agroceres 256, Agroceres 504, Centralmex, H-7974 e Piranão no sentido de aquilatar diferenças na acumulação e exportação de micronutrientes. O ensaio foi conduzido num regossol de fertilidade mediana, exceto em relação ao K que é baixo, situado no município de Piracicaba, SP. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com 4 repetições. Foram seguidas as práticas culturais comuns e a adubação constituiu de 83 g da fórmula 30–120–70 por metro linear por ocasião do plantio e 33 g por metro linear da fórmula 50–0–4, em cobertura 22 dias após a germinação. Plantas foram coletadas a partir dos 20 dias após a germinação, em intervalos de 20 dias até os 120 dias. As plantas foram divididas em “colmo + folhas”, pendão e espiga e analisadas para B, Cu, Fe, Mn e Zn. Concluíram os autores que diferenças na acumulação de micronutrientes manifestam-se antes da fase de crescimento intenso. Os cultivares atingem o máximo da quantidade dos nutrientes nas seguintes épocas, em dias: Cu (61–85); Fe (71–76); Mn (82–94); Zn (87–108). Verificaram, ainda, que as quantidades máximas extraídas em mg/planta são: Cu (2,06–3,49); Fe (26,66–36,28); Mn (9,92–14,39); Zn (5,88–6,69). Finalmente a exportação de nutrientes nas espigas por hectare (50.000 plantas) colhidas é: Cu (26–35 g); Fe (200–220 g); Mn (90–140 g) e Zn (160–250 g).

INTRODUÇÃO

A produção final de uma cultura é o reflexo da interação entre diversos fatores que, fundamentalmente, estão ligados ao germoplasma e ao meio ambiente. A produção de uma planta traduz o potencial de cada um desses fatores e sua integração no indivíduo.

No passado, os geneticistas procuravam aumentar a produção final, sem se preocupar com o complexo de fatores envolvidos na interação genótipo-ambiente. Contudo, a adaptação da planta ao solo, clima, a resistência às doenças e ao acamamento, constituem hoje uma importante parcela dos estudos de melhoramento. A criação de plantas

* Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor para obtenção do grau de MESTRE pela E.S.A. “Luiz de Queiroz”, USP. Suporte financeiro da EMBRAPA, Brasília-DF. Entregue para publicação em 22/07/1975.

** Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.

*** E.S.A. “Luiz de Queiroz”, USP, Depto. de Química, Piracicaba-SP.

cada vez mais eficientes do ponto de vista fisiológico, é uma das preocupações da genética fisiológica, e que grande contribuições trará para o aumento da produtividade (DUNCAN, 1967; SPRAGUE, 1969; DONALS, 1968).

Muitos processos já se fizeram notar acerca dos aspectos genéticos da absorção, translocação e utilização dos nutrientes minerais (EPSTEIN, 1972).

Os problemas relacionados com a nutrição da planta geralmente se tem tentado resolver modificando as condições de solo. Contudo, há possibilidade de se tirar partido das diferenças genéticas entre plantas, com vistas a adequá-la ao ambiente, com prováveis ganhos na produção, sem alterações muitas vezes dispendiosas nas práticas de cultivo. Este tipo de trabalho já havia sido sugerido, desde 1928, por GREGORY & CROWTHER (1928).

No Brasil, embora o trabalho de melhoramento tenha alcançado um desenvolvimento elevado, de tal forma que os cultivares apresentam produções de até 15 t/ha em condições experimentais; não se tem um nível de conhecimento da fisiologia e nutrição mineral dos cultivares obtidos, compatível com a necessidade, embora inúmeros ensaios de adubação tenham sido conduzidos.

O presente trabalho tem a finalidade de aquilatar diferenças na acumulação dos micronutrientes e outros parâmetros vinculados, entre os cultivares: Agrocere 256, Agrocere 504, Centralmex, H-7974 e Piranão, com base nas seguintes características: a) acumulação de nutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) em função do estágio de desenvolvimento; b) exportação de nutrientes.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os seguintes cultivares de milho (*Zea mays* L.): Agrocere 256, Agrocere 504, Centralmex, H-7974 e Piranão. O experimento foi conduzido no município de Piracicaba, num solo classificado como Regossol, série Sertãozinho (RANNI, 1956), de média fertilidade, exceto em relação ao teor de K que é baixo.

Foram seguidas as práticas culturais comuns e a adubação consistiu de 83 g da fórmula 30-120-70, por metro linear no plantio, e 33 g/metro linear da fórmula 50-0-40, em cobertura, 22 dias após germinação.

A população de plantas foi de 50.000 por hectare.

Plantas foram coletadas a partir dos 20 dias após a germinação, em intervalos de 20 dias, até aos 120 dias. As plantas colhidas foram divididas em "colmo + folhas", pendão e espiga, e analisadas quimicamente para B, Cu, Fe, Mn e Zn seguidos os métodos descritos em SARRUGE & HAAG (1974).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Acumulação de micronutrientes

Os resultados obtidos, relativos ao teor e quantidade de micronutrientes nos cinco cultivares estão contidos nos Quadros 1 a 4.

A quantidade dos micronutrientes necessária para promover um crescimento adequado é muito pequena, e a faixa de teores considerada adequada é muito ampla (JONES, 1972; LOCKMAN, 1969; NEUBERT et al., 1969; LUTZ et al., 1972). A variação destes teores com os fatores ambientais, tais como, pH do solo e presença de outros íons, é elevada (WARNOCK, 1970; LUTZ et al., 1972; OLSEN, 1972); e a ocorrência de falhas na amostragem, preparação e análise química, são fatores que contribuem para tornar difícil a generalização sobre o comportamento dos cultivares.

Nos cultivares estudados verificou-se que as diferenças tenderam a aparecer logo no início do ciclo, se bem que estas diferenças fossem eliminadas posteriormente. Vale salientar, que nos estudos da influência do genótipo sobre a absorção de micronutrientes, as análises são feitas aos 30 e 40 dias após a semeadura (veja-se BROWN, 1967; BROWN & AMBLER, 1970; CLARK & BROWN, 1974a) quando já se pode notar sintomas de deficiência porventura existentes.

Verificou-se contudo, que as diferenças mais acentuadas entre cultivares apareceram quando a acumulação se aproximou do ponto máximo.

As diferenças de acumulação de micronutrientes encontradas, refletem a interação entre o cultivar e o ambiente, mais que diferenças absolutas na capacidade de extração.

Para se testar diferenças genéticas na capacidade de acumulação de micronutrientes, recomenda-se cultivar plantas em solos deficientes no nutriente considerado, para que tenha contrastes significativos (CLARK & BROWN, 1974a), pois nos solos com teores normais de micronutrientes, os cultivares tendem a se comportar de forma idêntica (BROWN, 1967; BROWN & AMBLER, 1970; BROWN & CLARK, 1974).

Em termos gerais, os cultivares apresentaram algumas diferenças em relação à acumulação de micronutrientes, embora estas não chegassem a merecer destaque especial. As quantidades e teores encontrados estão dentro dos limites citados na literatura.

O B foi analisado apenas na coleta procedida aos 80 dias após a germinação, devido às dificuldades para realizar a análise em todas as amostras. Foi escolhida esta idade por ser próxima do ponto de máximo para quase todos os nutrientes, e porque foi a época e parte da planta em que constatou as diferenças mais expressivas.

Os resultados obtidos acham-se expostos a seguir, e pelo valor de F nota-se que não houve diferenças entre cultivares.

Quantidade e teor de B na parte vegetativa dos cultivares
aos 80 dias após a germinação.

Cultivar	Teor (ppm)	Quantidade (mg/planta)
Agrocere 256	9,8	1,92
Agrocere 504	8,7	1,73
Centralmex	7,9	1,87
H-7974	9,0	1,95
Piranão	10,1	1,75
F		0,17
D.M.S. (Tukey) 5%		n.s.
C.V.%		25,2

Cobre

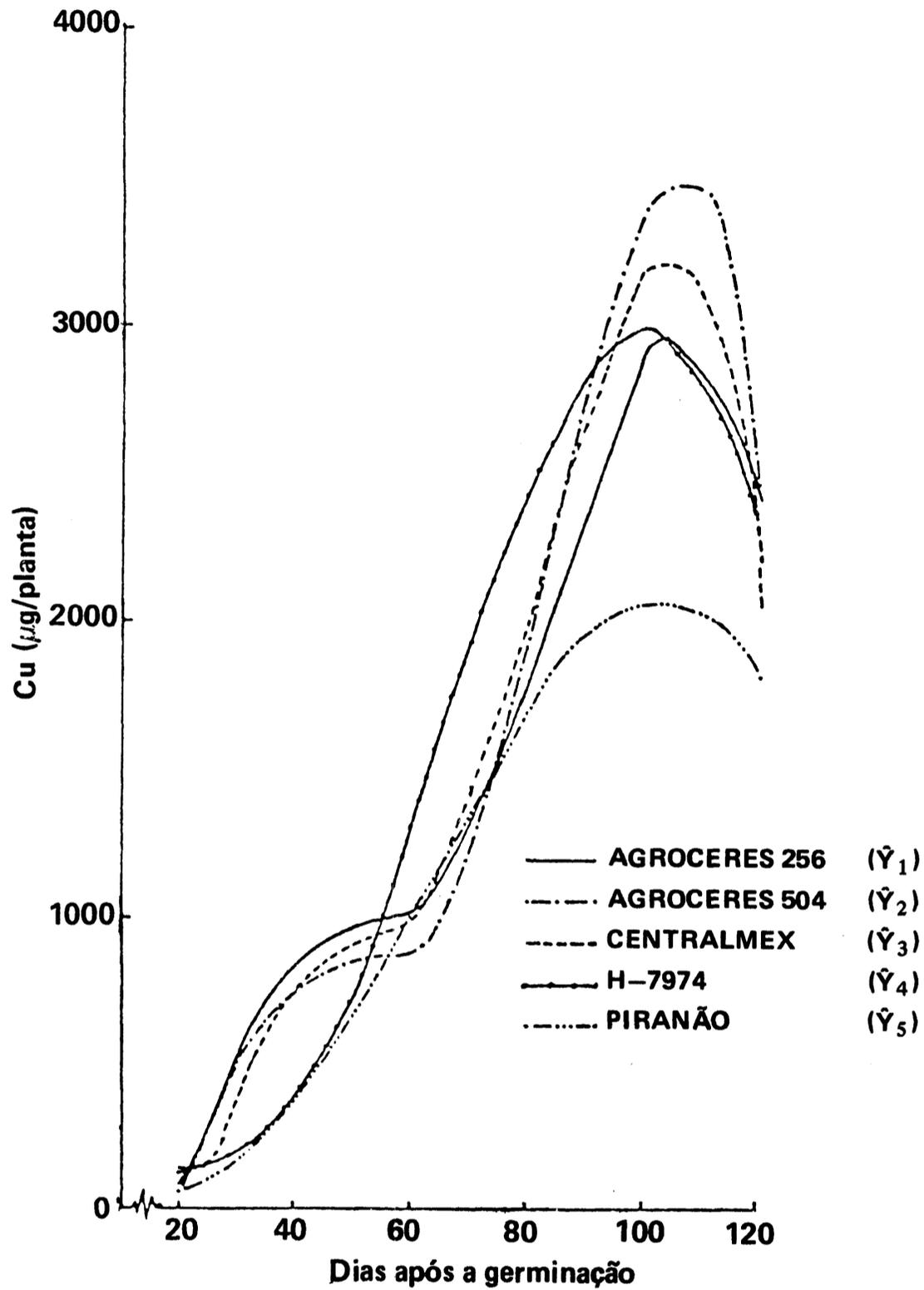
Os dados analíticos referentes à concentração e quantidade de Cu nos órgãos dos cultivares acham-se no Quadro 1.

As diferenças encontradas entre cultivares, indicadas pela significância do valor F, foram somente para a parte vegetativa aos 20, 60, 80 e 100 dias, sendo que aos 80 dias esta diferença não teve tendência a acarretar diferenças na quantidade de Cu na planta inteira. Aos 120 dias, embora as partes não tenham apresentado diferenças significativas, a quantidade total o foi.

As curvas e equações obtidas através da análise de regressão e que estão representadas na Figura 1, visualizam as diferenças entre cultivares em relação à quantidade total de Cu na planta.

QUADRO 1 - Concentração e quantidade de cobre nos órgãos dos cultivares em função do estágio de desenvolvimento.

Cultivar	Órgão	Idade do cultivar em dias após a germinação											
		20		40		60		80		100		120	
		ppm	mg	ppm	mg	ppm	mg	ppm	mg	ppm	mg	ppm	mg
Agroceres 256	colmo + folhas	11	0,056	8	0,791	5	0,953	4	0,789	14	1,912	11	1,567
	pendão					6	0,094	9	0,077	4	0,023	7	0,046
	espiga					5	0,067	6	0,792	5	0,916	4	0,799
	Total		0,056		0,791		1,114		1,658		2,851		2,414
Agroceres 504	colmo + folhas	12	0,073	9	0,690	6	0,941	6	1,174	14	2,594	11	1,599
	pendão					6	0,061	6	0,034	4	0,024	8	0,031
	espiga					4	0,037	5	0,588	5	0,856	5	0,814
	Total		0,073		0,690		1,039		1,796		3,474		2,444
Centralmex	colmo + folhas	8	0,046	8	0,675	5	0,983	6	1,308	15	2,582	10	1,320
	pendão					7	0,074	8	0,053	5	0,027	7	0,032
	espiga					7	0,048	5	0,558	4	0,644	4	0,695
	Total		0,046		0,675		1,105		1,919		3,253		2,047
H-7974	colmo + folhas	8	0,050	8	0,607	6	1,010	8	1,645	13	1,388	10	1,377
	pendão					11	0,133	7	0,048	6	0,032	7	0,034
	espiga					9	0,045	5	0,587	4	0,764	4	0,743
	Total		0,050		0,607		1,188		2,280		3,184		2,154
Piranão	colmo + folhas	7	0,041	8	0,484	6	0,906	5	0,869	11	1,381	9	1,159
	pendão					8	0,069	7	0,042	6	0,025	6	0,029
	espiga					3	0,032	5	0,639	5	0,791	3	0,598
	Total		0,041		0,484		1,007		1,550		2,197		1,786
F.	colmo + folhas		4,54*		1,72		0,034**		3,50*		9,52**		1,81
	pendão						1,97		1,98		0,64		0,74
	espiga						0,99		1,53		0,88		1,02
	Total		4,54*		1,72		0,021*		1,91		4,49*		4,48*
D.M.S. {Tukey} (5%)	colmo + folhas		0,026		n.s.		0,971	0,	0,834		0,761		n.s.
	pendão						n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	espiga						n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	Total		0,026		n.s.		0,995		n.s.		1,058		0,581
C.V.%	colmo + folhas		22,12		26,66		44,90		31,97		15,54		19,25
	pendão						46,96		45,45		34,01		51,12
	espiga						58,47		24,02		27,45		23,73
	Total		22,12		26,66		40,46		22,20		15,69		11,89



$$\hat{Y}_1 = -4.011,48 + 346,72 X - 9,052 X^2 + 0,100 X^3 - 0,00038 X^4 \quad (r^2 = 0,93)$$

$$\hat{Y}_2 = -4.961,81 + 447,38 X - 12,486 X^2 + 0,144 X^3 - 0,00056 X^4 \quad (r^2 = 0,92)$$

$$\hat{Y}_3 = -4.097,74 + 365,55 X - 10,149 X^2 + 0,120 X^3 - 0,00047 X^4 \quad (r^2 = 0,93)$$

$$\hat{Y}_4 = 1.309,57 - 105,31 X + 2,593 X^2 - 0,0137 X^3 \quad (r^2 = 0,87)$$

$$\hat{Y}_5 = 377,09 - 35,67 X + 1,154 X^2 - 0,0063 X^3 \quad (r^2 = 0,92)$$

Figura 1 – Curvas de regressão da quantidade de cobre (\hat{Y}) em função da idade (X) nos cultivares.

Os cultivares Agroceres 256 e 504, e o Centralmex, seguiram curvas do 4º grau devido a uma diminuição relativa na taxa de acumulação dos 40 aos 60 dias, enquanto o H-7974 e Piranão adaptaram-se melhor a curvas do 3º grau.

Os pontos de máximo se situaram entre 101 e 108 dias, e as quantidades máximas calculadas foram semelhantes às apresentadas aos 100 dias. Como estas foram diferentes entre cultivares, pode-se inferir que quantidades máximas também o foram, sendo que o contraste foi entre o cultivar Piranão e os demais. O ponto de inflexão principal (isto é, para a porção maior da curva), para as curvas de 4º grau, e o das curvas de 3º grau, são apresentadas a seguir:

Cultivar	Ponto de máximo (dias)	Quantidade máxima (mg/planta)	Ponto de inflexão (dias)
Agroceres 256	104	2,922	85
Agroceres 504	104	3,490	76
Centralmex	108	3,193	88
H-7974	101	3,009	63
Piranão	103	2,060	61

Vale salientar, que a diferença na quantidade de Cu entre o cultivar Piranão e os outros relacionou-se apenas à parte vegetativa, pois as espigas apresentavam quantidades similares.

Não se pode estabelecer comparações da quantidade de Cu encontrada com a apresentada por outros autores, havendo muita divergência na literatura. BENNE et al. (1964), citados em OLSON & LUCAS (1967), encontraram cerca de 4 mg/planta, cerca do dobro do encontrado neste trabalho. Mas, Morrison (1951), citado em MALAVOLTA et al. (1974), encontrou teores de 4,0 ppm nos grãos e 4,6 ppm no resto da planta, exceto espiga, inferior ao encontrado no presente trabalho.

CLARK & BROWN (1974a) cultivaram diversas linhagens de milho em solos deficientes em Cu, não verificando sintomas de deficiência em nenhum deles. Aos 21 dias após o plantio, encontraram uma concentração de 6,3 a 12,2 ppm, e citam como níveis deficientes de 4 a 5 ppm. Assim, os cultivares empregados no presente ensaio apresentaram concentrações adequadas de Cu no início do ciclo vegetativo.

Ferro

Os dados analíticos relativos à concentração e quantidade de Fe nos órgãos dos cultivares encontram-se no Quadro 2.

QUADRO 2 – Concentração e quantidade de ferro nos órgãos dos cultivares em função do estágio de desenvolvimento.

Cultivar	Órgão	Idade do cultivar em dias após a germinação											
		20		40		60		80		100		120	
		ppm	mg	ppm	mg	ppm	mg	ppm	mg	ppm	mg	ppm	mg
Agrocerees 256	colmo + folhas	141	0,716	56	5,672	49	8,463	78	15,198	225	33,282	177	25,560
	pendão					42	0,654	123	0,959	184	0,965	300	2,150
	espiga					26	0,321	39	5,187	23	4,472	26	5,167
	Total		0,716		5,672		9,438		21,344		38,719		32,977
Agrocerees 5J4	colmo + folhas	230	1,374	55	4,239	50	7,922	75	13,834	160	29,408	127	19,335
	pendão					44	0,474	102	0,596	249	1,145	217	0,896
	espiga					21	0,204	29	3,465	18	3,300	25	4,287
	Total		1,374		4,239		8,600		17,895		33,853		24,518
Centralmex	colmo + folhas	206	1,180	63	5,302	51	9,791	48	11,363	190	31,653	133	16,597
	pendão					32	0,341	128	0,957	201	1,044	281	1,288
	espiga					27	0,207	24	2,774	21	3,379	27	5,030
	Total		1,180		5,302		10,339		15,094		36,076		22,915
H-7974	colmo + folhas	266	1,744	69	5,371	39	6,385	69	15,084	104	18,980	153	20,072
	pendão					36	0,427	97	0,659	243	1,249	233	1,196
	espiga					32	0,176	27	3,165	24	4,382	27	4,947
	Total		1,744		5,371		6,988		18,908		24,561		26,204
Piranão	colmo + folhas	220	1,256	73	4,442	39	5,853	96	16,465	179	22,982	206	25,347
	pendão					25	0,220	93	0,612	230	0,906	316	1,316
	espiga					18	0,177	22	2,850	24	3,884	26	5,336
	Total		1,256		4,442		6,250		19,928		27,772		31,998
F.	colmo + folhas	3,84*	0,77			0,98	0,50		0,50		1,40		3,00
	pendão					3,57*	1,59		1,59		7,73**		2,75
	espiga					0,64	1,84		1,84		1,29		0,78
	Total		3,84*		0,77		1,03	0,64	0,64		1,40		3,39*
D.M.S. (Tukey) (5%)	colmo + folhas	0,851	n.s.			n.s.	n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	pendão					0,383	0,383		n.s.		0,342		n.s.
	espiga					n.s.	n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
	Total		0,851		n.s.		n.s.	n.s.	n.s.		n.s.		n.s.
C.V.%	colmo + folhas	30,17	28,50			41,94	37,83		37,83		37,63		21,37
	pendão					40,26	38,80		38,80		14,45		41,89
	espiga					68,82	42,48		42,48		24,70		18,33
	Total		30,17		28,50		40,13	31,64		30,85		30,85	17,69

Pelos valores de F encontrados, verificou-se que, para parte vegetativa só houve diferenças entre cultivares aos 20 dias, para os pendões aos 60 e 100 dias, e para as espigas aos 120 dias.

Os cultivares diferiram quanto à época de maior acumulação relativa, e assim as curvas de regressão foram diferentes quanto ao grau. Os cultivares Agrocerees 256, H-7974 e Piranão seguiram curvas do 3º grau, enquanto o Agrocerees 504 e Centralmex seguiram curvas do 4º grau. A representação gráfica das curvas acha-se na Figura 2. A quantidade máxima extraída, e a época em que, teoricamente, a planta possuía esta quantidade são apresentados a seguir:

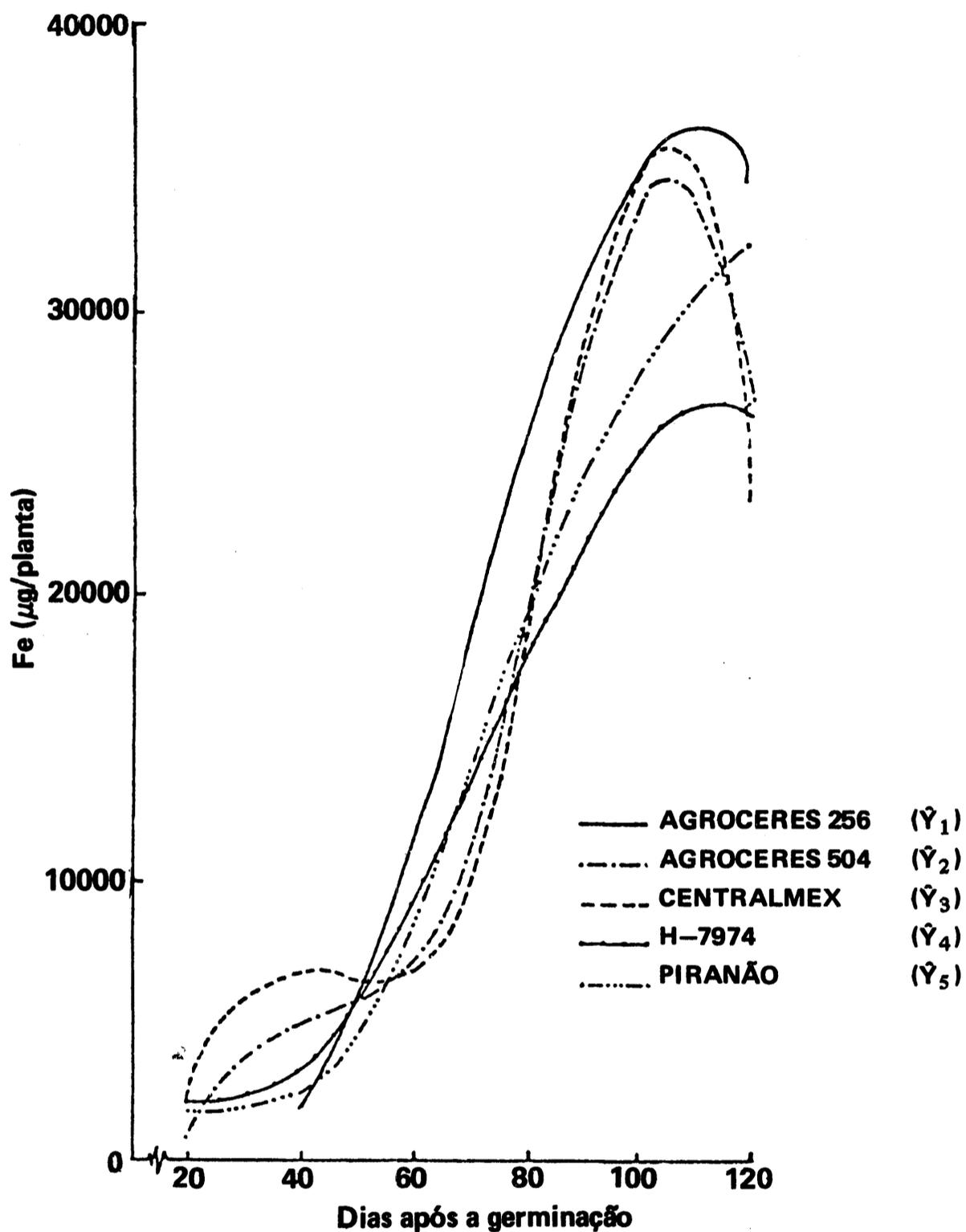
Cultivar	Ponto de máximo (dias)	Quantidade máxima (mg/planta)	Ponto de inflexão (dias)
Agrocerees 256	111	36,289	—
Agrocerees 504	106	34,678	—
Centralmex	106	35,982	—
H-7974	116	26,665	71
Piranão	120	32,206	76

Mesmo apresentando maior concentração de Fe no início do ciclo, o cultivar H-7974 apresentou dos 60 dias e aos 100, as menores concentrações, enquanto o cultivar Agrocerees 256, que apresentou a menor concentração dos 20 dias, teve as maiores no período de 60 a 120 dias. Um dos fatores determinantes desse comportamento deve ser a interação com P, Mg e Mn (OLSEN, 1972; WATANABE, 1969; BROWN & BELL, 1969; BROWN et al., 1972; LUTZ et al., 1972).

A possibilidade de contaminação e as interferências na sua análise, além da variação dos teores nas plantas (JONES, 1972), devem ter acarretado um coeficiente de variação alto, que encobriu a variação existente entre os cultivares.

Comparando-se os dados obtidos com os apresentados por BROWN & BELL (1969); LUTZ et al. (1972) e CLARK & BROWN (1974a), verificou-se que a quantidade extraída pelos cultivares utilizados foi superior à apresentada por estes pesquisadores, estando dentro dos limites citados por JONES (1972) e GORSLINE et al. (1965).

Segundo BROWN (1967) e BROWN & BELL (1969), quando as plantas crescem em solo com teor adequado de Fe as diferenças entre cultivares, em relação à extração deste nutriente, tende a desaparecer. É provável que este fato tenha contribuído para não se detectar diferenças entre os cultivares.



$$\hat{Y}_1 = 18.525,81 - 1.343,91 X + 28,645 X^2 - 0,136 X^3 \quad (r^2 = 0,76)$$

$$\hat{Y}_2 = -31.751,04 + 3.075,78 X - 92,259 X^2 + 1,140 X^3 - 0,0046 X^4 \quad (r^2 = 0,93)$$

$$\hat{Y}_3 = -53.561,61 + 4.937,09 X - 141,20 X^2 + 1,646 X^3 - 0,0064 X^4 \quad (r^2 = 0,86)$$

$$\hat{Y}_4 = 9.756,48 - 641,41 X + 14,79 X^2 - 0,069 X^3 \quad (r^2 = 0,87)$$

$$\hat{Y}_5 = 11.436,85 - 788,36 X + 16,94 X^2 - 0,0744 X^3 \quad (r^2 = 0,93)$$

Figura 2 – Curvas de regressão da quantidade de ferro (\hat{Y}) em função da idade (X) nos cultivares.

Manganês

Os dados analíticos referentes à concentração e quantidade de manganês nos órgãos dos cultivares encontram-se no Quadro 3.

Pelos dados expostos pode-se verificar que o comportamento dos cultivares foi semelhante ao relativo ao Cu e Fe. Diferenças significativas só foram encontradas para a parte vegetativa aos 120 dias, para os pendões aos 60 e 120 dias e para as espigas aos 100 dias.

A diferença entre indivíduos foi acentuada e superou as diferenças entre cultivares. Aos 60 dias a quantidade de Mn no cultivar Centralmex foi mais que o dobro da contida nas plantas do cultivar Piranão; mesmo assim, não houve diferença significativa entre estes cultivares.

A evolução da quantidade de Mn nas plantas pode ser explicada por uma equação do 2º grau, embora os coeficientes de determinação dessas curvas tenham sido os mais baixos em relação aos elementos pesquisados. As curvas e equações correspondentes acham-se na Figura 3.

Os pontos de máximo variaram de 82 a 94 dias, sendo os cultivares H-7974 e Piranão os mais tardios.

O Centralmex foi o cultivar que menos acumulou Mn, como se pode ver adiante. Como as curvas são de 2º grau, não possuem ponto de inflexão.

Cultivar	Ponto de máximo (dias)	Quantidade máxima (mg/planta)
Agroceres 256	82	14,390
Agroceres 504	83	11,485
Centralmex	83	9,922
H-7974	94	14,343
Piranão	90	11,015

O Mn é um micronutriente que apresenta uma faixa de teores adequados mais ampla. JONES (1972), cita que de 20 a 200 ppm na folha madura é adequado. Outros fatores como a acidez do solo (FRIED & PEECH, 1946; MOORE, 1972), e a adubação nitrogenada (OLSON & LUCAS, 1967), também influem na concentração deste micronutriente.

Benne et al. (1964) citados em OLSON & LUCAS (1967), encontraram cerca de 10–11 mg/planta na maturação fisiológica, no que concordou o presente trabalho.

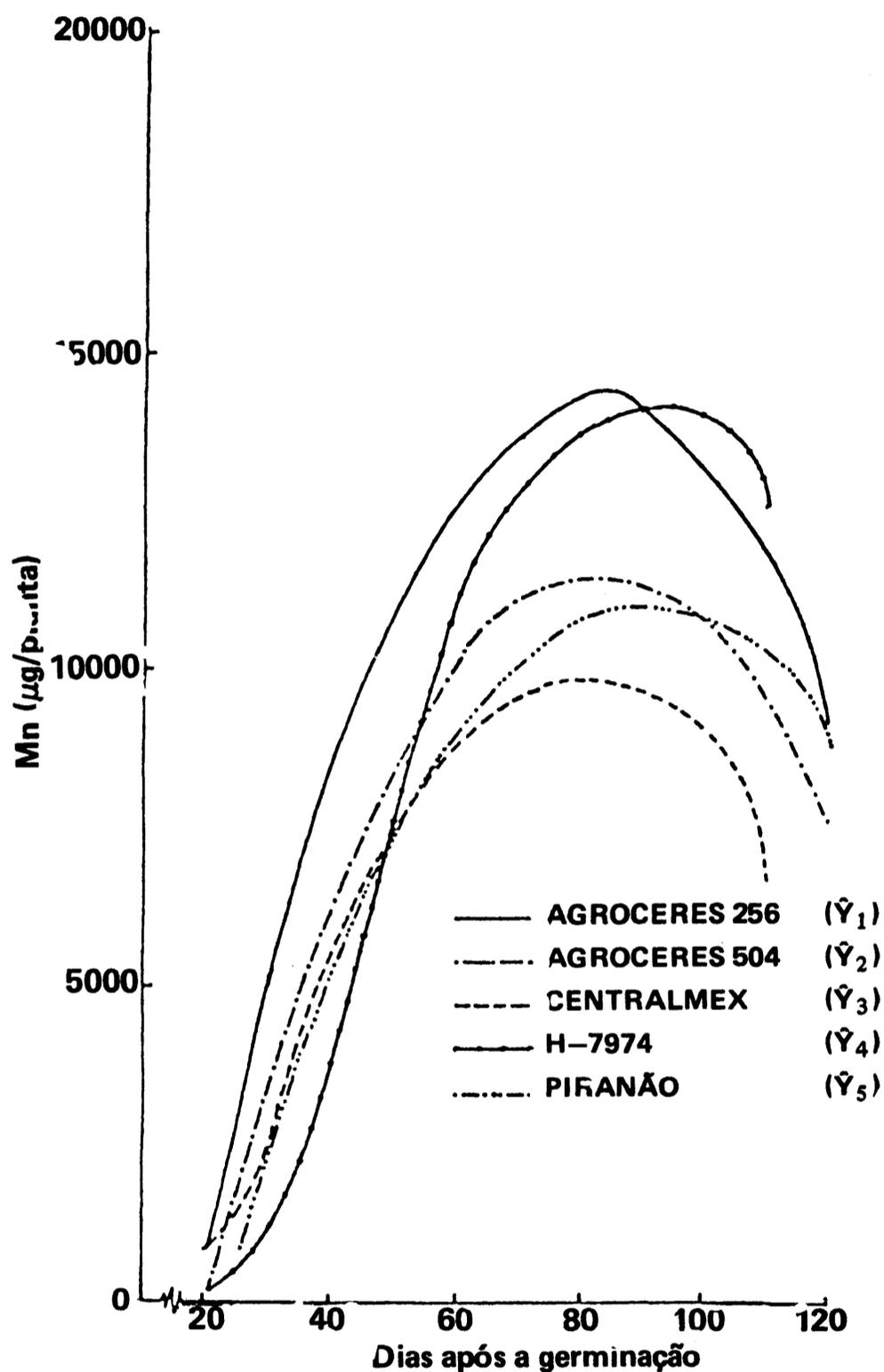
O Mn é um dos elementos que pode ser lavado das folhas (TUKEY et al. 1958), acarretando perdas deste nutriente durante o ciclo vegetativo.

Mesmo sabendo que a acumulação de Mn é geneticamente controlada (GORSLINE et al., 1964) é provável que a interação genótipo-ambiente seja um fator tão importante quanto o genótipo em si.

Pelos dados obtidos, pode-se afirmar que o cultivar Centralmex deve, em idênticas condições, absorver menor quantidade de Mn que os outros cultivares testados.

QUADRO 3 - Concentração e quantidade de manganês nos órgãos dos cultivares em função do estágio de desenvolvimento.

Cultivar	Órgão	Idade do cultivar em dias após a germinação											
		20		40		60		80		100		120	
		Mn ppm	Mn mg	Mn ppm	Mn mg	Mn ppm	Mn mg	Mn ppm	Mn mg	Mn ppm	Mn mg	Mn ppm	Mn mg
Agrocerees 256	colmo + folhas	70	0,351	80	8,001	80	13,842	65	12,338	56	8,018	64	9,136
	pendão					55	0,882	76	0,599	71	0,370	53	0,365
	espiga					37	0,472	10	1,421	7	1,353	10	1,942
	Total		0,351		8,001		15,196		14,358		9,741		11,442
Agrocerees 504	colmo + folhas	52	0,296	65	4,867	77	12,170	48	10,048	33	6,000	48	6,860
	pendão					50	0,455	58	0,347	58	0,258	51	0,209
	espiga					27	0,272	10	1,253	7	1,196	13	2,233
	Total		0,296		4,867		12,896		11,648		7,544		9,301
Centralmex	colmo + folhas	68	0,388	79	6,598	44	8,142	36	8,121	42	7,624	41	5,138
	pendão					42	0,421	54	0,384	43	0,270	45	0,199
	espiga					30	0,222	11	1,218	4	0,686	10	1,813
	Total		0,388		6,598		8,785		9,723		8,581		7,150
H-7974	colmo + folhas	66	0,428	77	5,911	52	8,391	68	14,761	66	12,018	72	9,486
	pendão					42	0,600	92	0,632	78	0,395	96	0,441
	espiga					38	0,228	10	1,166	7	1,303	11	2,211
	Total		0,428		5,911		9,219		16,559		13,716		12,138
Piranão	colmo + folhas	62	0,351	82	5,064	40	6,016	67	11,235	66	8,386	53	6,450
	pendão					37	0,337	70	0,461	72	0,288	65	0,278
	espiga					14	0,139	13	1,652	14	2,134	9	1,710
	Total		0,351		5,064		6,492		13,348		10,808		8,438
F.	colmo + folhas		1,24		1,91		2,19		1,67		2,06		3,48*
	pendão						6,03**		1,61		1,52		7,18**
	espiga		1,24		1,91		1,45		1,65		10,62**		0,64
	Total		1,24		1,91		2,30		1,67		2,17		3,13
D.M.S. (Tukey) (5%)	colmo + folhas		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.		4,460
	pendão						0,392		n.s.		n.s.		0,174
	espiga						n.s.		n.s.		0,718		n.s.
	Total		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
C.V.%	colmo + folhas		24,13		30,12		44,74		33,97		36,68		26,73
	pendão						32,34		41,25		31,74		25,98
	espiga						77,43		22,89		23,89		29,45
	Total		24,13		30,12		43,30		30,68		32,32		24,19



$\hat{Y}_1 = -8.967,45 + 566,68 X - 3,437 X^2$	$(r^2 = 0,61)$
$\hat{Y}_2 = -7.827,83 + 464,296 X - 2,7905 X^2$	$(r^2 = 0,60)$
$\hat{Y}_3 = -5.785,87 + 380,15 X - 2,30 X^2$	$(r^2 = 0,53)$
$\hat{Y}_4 = -9.253,66 + 502,01 X - 2,67 X^2$	$(r^2 = 0,75)$
$\hat{Y}_5 = -7.583,68 + 412,75 X - 2,29 X^2$	$(r^2 = 0,73)$

Figura 3 – Curvas de regressão da quantidade de manganês (\hat{Y}) em função da idade (X) nos cultivares.

Zinco

Os dados analíticos referentes à concentração e quantidade de Zn nos órgãos dos cultivares encontram-se no Quadro 4.

Pelos valores de F encontrados, verificou-se que somente aos 20 e 80 dias houve diferenças significativas entre os cultivares, para a parte vegetativa, e aos 60 dias para o pendão.

As curvas obtidas pela análise de regressão evidenciaram a semelhança de comportamento dos cultivares. Todos os cultivares seguiram curvas do 2º grau, isto é, a taxa de absorção é, teoricamente decrescente a partir dos 20 dias. O coeficiente de determinação das curvas esteve entre 0,71 e 0,73, mostrando que o erro é relativamente alto. As curvas e equações correspondentes acham-se na Figura 4.

Os cultivares diferiram quanto à época em que atingiram a quantidade máxima de Zn, sendo que o Agrocere 504 e Piranão foram os mais tardios. Os cultivares de porte normal apresentaram quantidade máxima de cerca de 6,50 a 6,70 mg/planta, enquanto o Piranão apresentou cerca de 5,90 mg/planta, o que mostra que sua absorção é similar aos outros.

Cultivar	Ponto de máximo (dias)	Quantidade máxima (mg/planta)
Agrocere 256	91	6,680
Agrocere 504	108	6,569
Centalmex	87	6,502
H-7974	92	6,695
Piranão	107	5,882

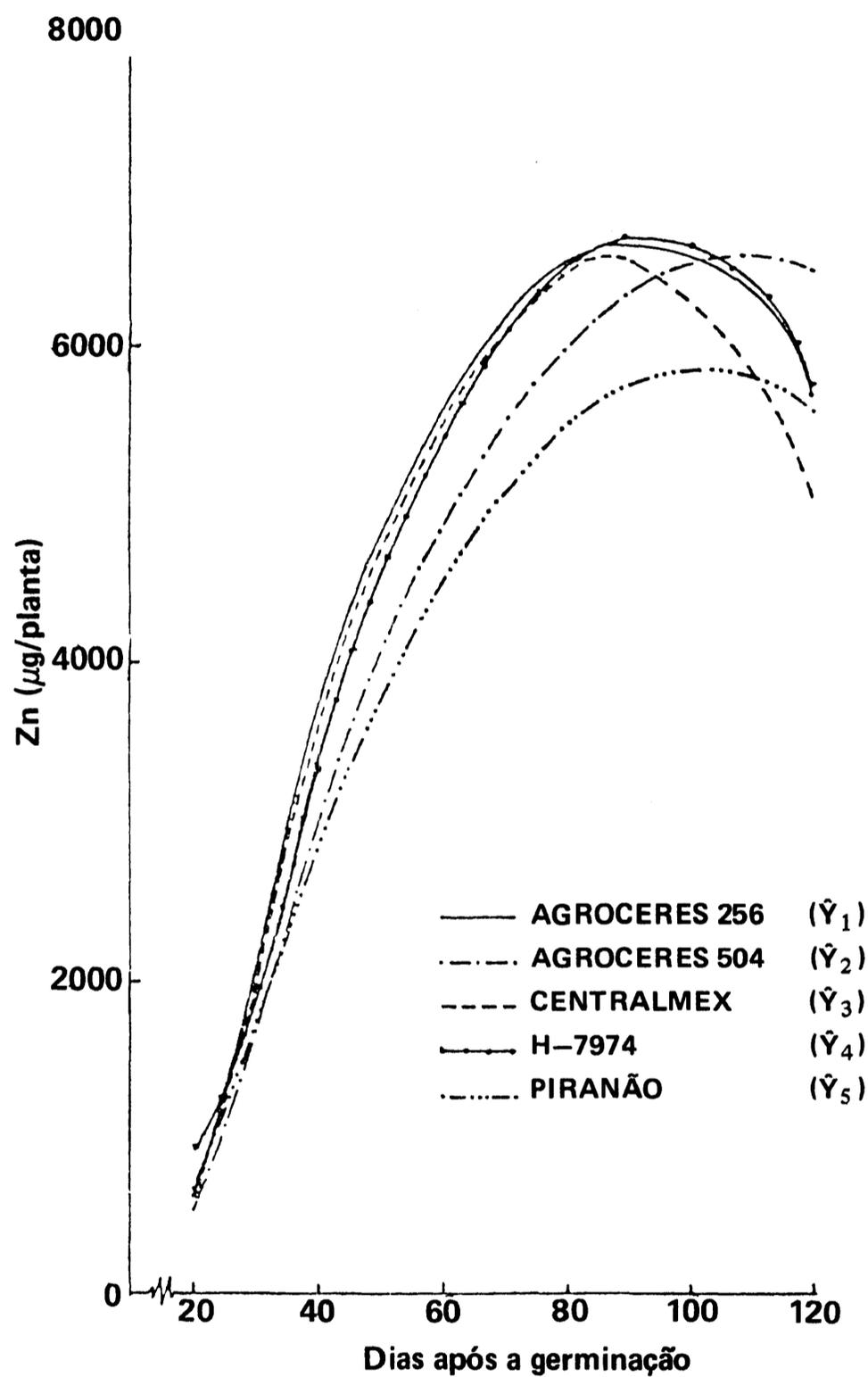
O solo utilizado no presente trabalho não responde à aplicação de Zn (BRASIL SOBRº, 1966), donde se deduz que seu teor deste elemento (20–100 ppm) está dentro dos limites satisfatórios.

A concentração de Zn na planta é um dado relativo, dependente do pH do solo (LUTZ et al., 1972) e do teor de P nos tecidos (WARNOCK, 1970). Este último autor encontrou teores adequados de 9 a 15 ppm no colmo e 10 a 18 na folha, aos 56 dias após o plantio. WATANABE et al. (1965), encontraram, nos estágios iniciais, 513 µg de Zn/vaso, correspondente a 17 ppm na planta inteira com um teor de P de 0,28%, como níveis suficientes para o milho. Os dados obtidos no presente trabalho indicaram que os cultivares empregados absorvem quantidades idênticas às citadas na literatura.

Como era de se esperar, a quantidade de Zn no cultivar Piranão não está ligada ao porte anão, determinado pelo gene *br₂*, embora a deficiência de Zn também provoque encurtamento dos entrenós (MALAVOLTA et al., 1974). O caráter anão, determinado geneticamente, está ligado ao bloqueio da síntese de giberelinas, sendo, portanto, independente da concentração de Zn.

QUADRO 4 - Concentração e quantidade de zinco nos órgãos dos cultivares em função do estágio de desenvolvimento.

Cultivar	Órgão	Idade do cultivar em dias após a germinação											
		20		40		60		80		100		120	
		ppm	mg	ppm	mg	Fpm	mg	ppm	mg	ppm	mg	ppm	mg
Agrocerees 256	colmo + folhas	33	0,171	50	4,761	22	3,752	16	3,234	11	1,563	11	1,114
	pendão					44	0,688	46	0,369	35	0,180	44	0,309
	espiga					38	0,481	26	3,480	20	3,823	24	4,772
	Total		0,171		4,761		4,921		7,083		5,566		6,195
Agrocerees 504	colmo + folhas	48	0,286	50	3,941	19	3,134	14	2,828	10	1,774	11	1,563
	pendão					51	0,493	40	0,235	86	0,255	48	0,268
	espiga					26	0,264	28	3,334	24	4,240	28	4,747
	Total		0,286		3,941		3,891		6,398		6,269		6,578
Centralmex	colmo + folhas	50	0,283	49	4,208	24	4,166	18	4,156	12	2,092	7	0,840
	pendão					44	0,471	57	0,420	40	0,210	47	0,199
	espiga					37	0,272	25	2,836	17	2,788	24	4,583
	Total		0,283		4,208		4,909		7,412		5,091		5,621
H-7974	colmo + folhas	57	0,353	52	4,129	23	3,600	17	3,600	12	2,098	10	1,092
	pendão					64	0,788	57	0,394	42	0,299	40	0,211
	espiga					42	0,250	28	3,302	20	3,710	26	4,622
	Total		0,353		4,129		4,638		7,297		6,107		5,926
Piranão	colmo + folhas	64	0,372	62	3,782	28	4,312	11	1,877	9	1,136	10	1,153
	pendão					46	0,442	56	0,372	51	0,225	31	0,136
	espiga					40	0,194	22	2,806	20	3,439	29	5,171
	Total		0,372		3,782		4,948		5,055		4,800		6,461
F.	colmo + folhas	6,17**	0,38			1,91		5,26**		2,12		1,18	
	pendão					4,13*		0,49		1,81		2,31	
	espiga					1,21		0,57		1,45		0,13	
	Total		0,38			0,82		2,17		0,95		0,24	
D.M.S. (Tukey) (5%)	colmo + folhas	0,144	n.s.			n.s.		1,682		n.s.		n.s.	
	pendão					0,338		n.s.		n.s.		n.s.	
	espiga					n.s.		n.s.		n.s.		n.s.	
	Total		0,144		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.	n.s.	
C.V.%	colmo + folhas	21,72	28,95			17,90		23,82		31,96		41,51	
	pendão					26,06		57,14		28,91		39,06	
	espiga					68,44		25,93		24,83		27,47	
	Total	21,72	28,95			21,22		19,88		23,33		25,93	



$$\hat{Y}_1 = -3.105,85 + 215,28 X - 1,184 X^2 \quad (r^2 = 0,72)$$

$$\hat{Y}_2 = -2.374,63 + 165,00 X - 0,761 X^2 \quad (r^2 = 0,71)$$

$$\hat{Y}_3 = -3.440,70 + 227,13 X - 1,297 X^2 \quad (r^2 = 0,73)$$

$$\hat{Y}_4 = -3.334,27 + 218,22 X - 1,187 X^2 \quad (r^2 = 0,71)$$

$$\hat{Y}_5 = -1.528,90 + 138,20 X - 0,6443 X^2 \quad (r^2 = 0,71)$$

Figura 4 – Curvas de regressão da quantidade de zinco (\hat{Y}) em função da idade (X) nos cultivares.

Exportação de nutrientes

Os dados referentes ao teor e quantidade de micronutrientes nas espigas acham-se no Quadro 5.

A análise estatística empreendida mostrou que, em relação à quantidade de nutrientes nos grãos, só houve diferença significativa em relação ao Mn, sendo que o Agroceres 504 apresentou maior quantidade que os outros cultivares.

É interessante assinalar que o cultivar Agroceres 504 (opaco-2) apresentou teores mais elevados em Mn e Zn que os outros cultivares.

Em relação a “palha + sabugo”, encontrou-se diferenças significativas ao nível de 5% para o Cu.

Para se avaliar a ordem de grandeza na exportação de nutrientes em uma cultura utilizando estes cultivares, calculou-se a quantidade nas espigas para uma colheita média de 6000 kg/ha de grãos, para uma população de 50.000 plantas/ha.

Nutriente	Quantidade exportada por ha
Cobre (Cu)	26 – 35 g
Ferro (Fe)	200 – 220 g
Manganês (Mn)	90 – 140 g
Zinco (Zn)	160 – 250 g

Em termos gerais, pode-se afirmar que, mesmo se os cultivares absorverem quantidades diferentes de nutrientes, a sua exportação através das espigas foi similar.

QUADRO 5 - Concentração e quantidade de micronutrientes exportados pela espiga do cultivar.

Cultivar	Órgão	Nutriente exportado pelo cultivar											
		Cu		Fe		Mn		Zn					
		ppm	mg	ppm	mg	ppm	mg	ppm	mg				
Agrocerec 256	grãos	3	0,32	27	2,73	12	1,17	25	2,54				
	palha ** sabugo	4	0,15	28	1,00	14	0,41	12	0,45				
	Total		0,47		3,73		1,58		2,99				
Agrocerec 504	grãos	4	0,46	32	3,45	18	1,91	40	4,28				
	palha ** sabugo	7	0,21	27	0,82	15	0,46	16	0,50				
	Total		0,67		4,27		2,37		4,78				
Centralmex	grãos	4	0,53	26	3,17	10	1,16	27	3,24				
	palha ** sabugo	5	0,19	26	1,05	14	0,55	16	0,63				
	Total		0,72		4,22		1,71		3,87				
H-7974	grãos	4	0,48	31	3,54	10	1,14	32	3,68				
	palha ** sabugo	4	0,14	24	0,85	14	0,48	16	0,54				
	Total		0,62		4,39		1,62		4,22				
Piranão	grãos	4	0,52	27	3,13	9	1,04	30	3,56				
	palha ** sabugo	6	0,23	22	0,94	14	0,59	12	0,50				
	Total		0,75		4,17		1,63		4,06				
* Palha que recobre a espiga													
F.	grãos		3,01		1,04		4,76 *		1,96				
	palha ** sabugo		3,66 *		1,37		1,28		0,65				
D.M.S. (Tukey) (5%)	grãos		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.				
	palha ** sabugo		0,08		n.s.		n.s.		n.s.				
C.V.	grãos		23,44%		19,56%		25,15%		26,22%				
	palha ** sabugo		20,77%		17,79%		24,28%		32,42%				

CONCLUSÕES

Acumulação de nutrientes

- Diferenças na acumulação de micronutrientes manifestam-se antes da fase de crescimento intenso (20 dias), embora possam não ser mais detectadas posteriormente.
- Há diferenças na taxa de acumulação de alguns nutrientes (Zn, por ex.) entre cultivares, sem afetar a quantidade máxima acumulada.
- A seleção voltada para a obtenção de plantas, simplesmente mais produtivas deve, salvo casos específicos, levar a plantas com exigências nutricionais semelhantes.
- Os cultivares atingem o máximo da quantidade de nutrientes nas seguintes épocas, em dias: Cu (101–104); Fe (106–120); Mn (82–94); Zn (87–108).
- As quantidades máximas extraídas pelos cultivares estão dentro dos limites, em mg/planta: Cu (2,06–3,49); Fe (26,66–36,29); Mn (9,92–14,39) e Zn (5,88–6,69).

Exportação de nutrientes

- Não há diferenças na quantidade de nutrientes exportada nos grãos dos cultivares, exceto para o Mn.
- Além da diferença na quantidade de nutrientes translocada para a espiga, pode haver diferenças na distribuição dentro da espiga.
- A exportação de nutrientes nas espigas dos cultivares são da seguinte ordem, por hectare colhido: Cu (26–35 g); Fe (200–220 g); Mn (90–140 g) e Zn (160–250 g).

SUMMARY

DIFFERENTIAL ACCUMULATION OF NUTRIENTS BY FIVE CULTIVARS OF CORN (*Zea mays* L.). II – MICRONUTRIENTS ACCUMULATION

The objective of the present work was to examine the differences in growth, yield, accumulation and transport of nutrients between the cultivars Agroceres 256, Agroceres 504, Centralmex, H-7974 and Piranão. The experiment was carried out in the municipality of Piracicaba, State of São Paulo, Brazil. The soil type was a sandy oxisol of medium fertility, except for K which was low. The experimental set-up was a random block design with four replications. Common cultivation practices were followed, and the fertilizer used consisted of 83 g of a formula: 30–120–70, per meter length at planting, and 33 g of the formula: 50–0–45 per meter length as dressing 22 days after germination. The plant population density was 50,000 per hectare. Plants were collected for analysis at 20 days after germination, and there after at intervals of 20 days up to 120 days. The plants were divided into “stems + leaves”, tassels, and ears for chemical analysis of Cu, Fe, Mn and Zn.

Conclusions:**Accumulation of nutrients**

- Differences in the accumulation of micronutrients appeared before the period of rapid growth (20 days) although afterwards no differences were detectable.
- The maximum level of nutrients are attained in the following period (in days): Cu (101–104); Fe (106–120); Mn (82–94); Zn (87–108).
- The maximum quantities taken-up (in mg/plant) are: Cu (2.06–3.49); Fe (26.66–36.29); Mn (9.92–14.39); Zn (5.88–6.69).

Transport of nutrients

- The transport of nutrients into the ears of the different cultivars are (per ha harvested): Cu (26–35 g); Fe (200–220 g); Mn (90–140 g); Zn (160–250 g).

LITERATURA CITADA

- BRASIL SOBR^o, M.O.C., 1966. Levantamento do teor de zinco em alguns solos do município de Piracicaba. Piracicaba, SP., 96 pp. Tese (cátedra). ESALQ.
- BROWN, J.C., 1967. Differential uptake of Fe and Ca by two corn genotypes. *Soil Sci.*, 193: 331-338.
- BROWN, J.C. & BELL, W.D., 1969. Iron uptake dependent upon genotypes of corn. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33:99-101.
- BROWN, J.C. & AMBLER, J.E., 1970. Further characterization of iron uptake in two genotypes of corn. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34:249-252.
- BROWN, J.C., AMBLER, J.E., CHANEY, R.L. & FOY, C.E., 1972. Differential response of plant genotypes to micronutrients. IN: Mortvedt, J.J. et al. (eds.). *Micronutrients in agriculture*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wis., p. 389-413.
- BROWN, J.C. & CLARK, R.B., 1974. Differential response of two maize imbeds to molybdenum stress. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 38:331-333.
- CLARK, R.B. & BROWN, J.C., 1974a. Differential mineral uptake by maize imbeds. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 5:213-227.
- DONALD, C.M., 1968. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica*, 17:385-403.
- DUNCAN, W.G., 1967. Corn yield to meet the challenge. IN: *Maximum crop yield - the challenge*. American Society of Agronomy (publicação especial n^o 9), Madison, Wis., p. 51-56.
- EPSTEIN, E., 1972. *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. John Wiley and Sons. Inc., New York, London. 412 p.
- FRIED, M. & PEECH, M., 1946. The comparative effects of lime and gypsum upon plants grown on acid soils. *J. Amer. Soc. Agron.*, 38:614-623.
- GORSLINE, G.W., THOMAS, W.I. & BAKER, D.E., 1964. Inheritance of P, K, Mg, Cu, B, Zn, Mn, Al, Fe concentration by corn (*Zea mays* L.) leaves and grain. *Crop Sci.*, 4:207-210.
- GORSLINE, G.M., BAKER, D.E. & THOMAS, W.I., 1965. Accumulation of eleven elements by field corn (*Zea mays* L.). The Pennsylvania Agricultural Experiment Station. Bull. 725.

- GREGORY, F.G. & CROWTHER, F., 1928. A physiological study of varietal difference in plants. Part I: A study of the comparative yields of barley varieties with different manurings. *Ann. Bot.*, 42:757-770.
- JONES, J.B., Jr., 1972. Plant tissue analysis for micronutrients. IN: Mortvedt, J.J. et al. (eds.). *Micronutrients in agriculture*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wis., p. 319-346.
- LOCKMAN, R.B., 1969. Relationships between corn yields and nutrient concentration in seedling whole-plant samples. *Agron. Abstr.*, p. 97. American Society of Agronomy, Madison, Wis.
- LUTZ, J.A., Jr., GENTER, C.F. & HAWKINS, G.W., 1972. Effect of soil pH on element concentration and uptake by maize. I: P, K, Ca, Mg and Na. *Agron., J.*, 64:581-583.
- MALAVOLTA, E., HAAG, H.P., MELLO, F.A.F. & BRASIL SOBR^o, M.O.C., 1974. *Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas*. Liv. Pioneira editora, São Paulo, 727 pp.
- MOORE, D.P., 1972. Mechanisms of micronutrients uptake by plants. IN: Mortvedt, J.J. et al. (eds.). *Micronutrients in agriculture*. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wis., p. 171-198.
- NEUBERT, P., WRAZIDLO, W., VIELEMEYER, N.P., HUNDT, I., GULMICK, F. & BERGMANN, W., 1969. *Tabellon zur planzenanalyzeerste orietierende ubersicht*. Institut fur planzener-nahrung. Jena, Berlin.
- OLSEN, S.R., 1972. Micronutrients interactions. IN: Mortvedt, J.J. et al. (eds.). *Micronutrients in agriculture*. Soil Science of America, Inc. Madison, Wis., p. 243-264.
- OLSON, R.A. & LUCAS, R.E., 1967. Fertility requirement: secondary and micronutrients. IN: Pierre, W.H. et al. (eds.). *Advances in corn production: principles and practices*. The Iowa State University Press. Ames, Iowa., p. 285-330.
- RANZANI, G., 1956. Levantamento da carta de solo da Secção Técnica "Química Agrícola" da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP. Tese (livre-docente) – ESALQ.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P., 1974. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba, SP. Departamento de Química, ESALQ (publicação especial).
- SPRAGUE, G.F., 1969. Germ Plasm manipulation in the future. IN: J.D. Eastin et al. (eds.). *Physiological aspects of crop yield*. American Society of Agronomy. Crop Sci. Society of America, Madison, Wis., p. 375-395.
- TUKEY, H.B., TUKEY JR., H.B. & WITWER, S.H., 1958. Loss of nutrients by foliar leaching as determined by radioisotopes. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 71:496-506.
- WARNOCK, R.E., 1970. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus - induced zinc deficiency. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34:765-769.
- WATANABE, F.S., LINDSAY, W.L. & OLSEN, S.R., 1965. Nutrient balance involving phosphorus, iron, and zinc. *Soil Sci. Amer.*, 29:562-565.

