

ESTUDOS SOBRE A NUTRIÇÃO MINERAL DO SORGO GRANÍFERO. VII ABSORÇÃO DE SULFATO MARCADO POR RAIZES DESTACADAS (*)

E. Malavolta **

C.O. Ponchio, F.A. Monteiro, G.M.A. SILVA
& J.C. Chitolina

F.D. Nogueira, P.A. Jaha, R.M. DelGiudice
& V.L. G Assis

A.C.P. Aguirre, A.A. Caetano & L.L.C. Garcia

E. Matsui, E.C.S. Dantas, L.C. Castanheira
& E. Santos

A.N. Gonçalves, B.F. Faganello, M. Moraes
& S.M. Cicero ***

RESUMO

Um estudo da absorção de sulfato por raízes destacadas de sorgo granífero mostrou: mecanismo (ou sítios) múltiplo para absorção; o tamanho do espaço livre aparente; a influência da temperatura, pH; a dependência da atividade metabólica.

INTRODUÇÃO

A planta através do processo global de absorção retira do meio ambiente os constituintes minerais indispensáveis ao seu pleno desenvolvimento. Dentre os elementos minerais essenciais à vida da planta encontra-se o enxofre que é um constituinte obrigatório das proteínas, sintetizadas pelo vegetal. Sua absorção pela planta é feita preferencialmente sob a forma de sulfato (FERRARI e PASSERA, 1962; MALAVOLTA, 1970; PETERSSON, 1966). Entretanto poderá ocorrer, em pequena quantidade a absorção de SO_2 , via foliar (MALAVOLTA, 1967).

* Entregue para publicação em 22-12-1977.

Com ajuda do BNDE (FUNTEC 293), FAPESP, CNEN, CAPES & CNPq.

** Departamento de Química e CENA, ESALQ, Piracicaba.

*** Estudantes pós graduados de Solos & Nutrição de Plantas.

SHARGOOL e NGO (1975) trabalhando com raízes destacadas de plântulas de nabo e com ^{35}S , em diferentes concentrações de sulfato, constataram a existência de dois sítios de absorção ativa para essa substância.

PETTERSSON (1966) estudou a absorção de sulfato radioativo por plantas jovens de girassol cultivadas em solução nutritiva completa. Determinou que o tamanho do Espaço Livre Aparente (ELA) correspondia de 14 a 57% do volume de raízes, sendo que esta variação do porcentual de volume dependia diretamente da concentração de sulfato na solução. Sugeriu também a existência de uma direta entre a concentração de sulfato no ELA e a taxa de absorção ativa do sulfato. Destacou ainda o efeito estimulante da água no aumento da velocidade de transporte do íonio.

LEGGETT e EPSTEIN (1956) realizaram estudos de absorção de sulfato marcado por raízes destacadas de cevada e concluíram que a absorção do sulfato envolve a união de íonios e sítios específicos de carregadores. Observaram que o pH do meio e a presença de Ca^{+2} interferiram na absorção de sulfato.

EPSTEIN (1955) demonstrou a componente passiva de SO_4^{-2} por raízes destacadas de cevada. Avaliou com a ajuda daquele íonio, o "espaço exterior" do tecido.

O presente trabalho objetivou o estudo da absorção de sulfato radioativo por raízes destacadas de plantinhas de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sob condições controladas para se determinar o efeito do tempo, da concentração de sulfato externa, presença de inibidores, da aeração, temperatura e pH sobre o processo global.

MATERIAL E MÉTODOS

Cultivares utilizadas

As cultivares utilizadas para condução dos ensaios foram as seguintes.

- a) Tey-101 (Contibrasil)
- b) E-57 (Agroceres)
- c) Tey-102 (Contibrasil)

Somente no ensaio experimental em que se estudou o efeito de inibidores é que foram usadas todas as cultivares acima relacionadas. Para os demais ensaios — tempo, concentração, aeração, temperatura, pH na absorção e determinação do ELA — foi utilizada a cultivar Tey-101 (Contibrasil)

Obtenção das mudas e raízes

Utilizou-se como substrato vermiculita moída colocada em bandejas rasas de plástico (10x30x40 cm) numa camada de 5 cm de espessura umedecida com solução de CaSO_4 10^{-4}M .

Antes de por as sementes a germinar, eram elas desinfetada mergulhando em hipoclorito de sódio a 1%, enxaguando em seguida com água destilada e secando com toalha de papel. Após esse tratamento semeou-se no leito de vermiculita. Até que as platinhas atingissem 2 a 3 cm de altura, foram mantidas ao abrigo da luz direta, de acordo com MALAVOLTA (1975).

Após uma semana — em função do crescimento — as platinhas foram transplantadas para bandejas de 15 litros contendo solução nutritiva de Hoagland e Arnon diluída de 1/5, conforme recomendação de MALAVOLTA (1975). Para permitir o transplante lançou-se mão de uma lâmina de aglomerado de madeira com 30 furos de 2 cm de diâmetro, distribuídos em 3 fileiras de 10 furos. Essa lâmina ajustava-se à bandeja com solução nutritiva à semelhança de uma tampa. Fez-se arejamento forçado da solução.

Com 15 dias de idade as platinhas eram retiradas da solução nutritiva lavadas fartamente com água destilada e, em seguida, cortadas na região do colo, reunindo raízes de 3 plantas, as quais eram colocadas dentro dos frascos correspondentes aos respectivos tratamentos.

Efeito do tempo de absorção

Como modelo estatístico usou-se o delineamento inteiramente casualizado com 6 repetições, conforme recomenda PIMENTEL GOMES (1970).

Utilizou-se a cultivar Tey-101 (Contibrasil)

Foram utilizados 5 tratamentos correspondentes aos tempos de contacto de 5, 15, 45, 60 e 180 minutos.

Cada conjunto de sistema radicular foi colocado em um frasco de vidro de boca larga, com capacidade de 120 ml, um para cada tratamento, contendo as seguintes soluções: 10 ml da solução estoque Na_2SO_4 10^{-2}M , em CaSO_4 10^{-4}M ; 2 ml da solução estoque H_2 $^{35}\text{SO}_4$; 88 ml de água destilada.

O tempo de contato — 5, 15, 45, 60 e 160 — era contado a partir do momento em que se colocavam as raízes na solução, onde eram mantidas durante todo o período com arejamento forçado.

Findo o tempo de contato para cada tratamento as raízes eram lavadas em água destilada por 3 vezes, e colocadas a secar em estufa de

ventilação forçada a $70^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Após a secagem o material era finamente moído, tomando-se 50 mg, colocados em cubeta de vidro para contagem a qual era realizada em escalímetro com contador Geiger-Muller.

Efeito da concentração iônica externa

O delineamento experimental neste ensaio foi também inteiramente casualizado, usando-se entretanto 10 tratamentos com 6 repetições observadas as recomendações de PIMENTEL GOMES (1970).

Cada um dos 10 tratamentos representava uma concentração SO_4 como se segue: $1 \times 10^{-4}\text{M}$, $2 \times 10^{-4}\text{M}$, $5 \times 10^{-4}\text{M}$, $1 \times 10^{-3}\text{M}$, $2 \times 10^{-3}\text{M}$, $4 \times 10^{-3}\text{M}$, $6 \times 10^{-3}\text{M}$, $8 \times 10^{-3}\text{M}$, $1 \times 10^{-2}\text{M}$, $2 \times 10^{-2}\text{M}$.

O ensaio com a duração de 120 minutos, foi conduzido como o anterior.

Efeito da aeração, temperatura pH

Como nos experimentos anteriores o delineamento foi inteiramente casualizado com 6 tratamentos e duas repetições.

Foram utilizados 6 tratamentos com as seguintes características: sem arejamento; com arejamento, pH 3, pH 6; 0°C e 40°C .

Os tratamentos relacionados com pH foram controlados com solução tampão adequada. Os tratamentos relacionados com temperatura, 0°C e 40°C foram realizados, respectivamente, em gelo fundente e banho-maria com temperatura controlada. Todos os tratamentos, com exceção do "sem arejamento, receberam aeração forçada na solução.

Conjuntos de sistema radicular preparados conforme o descrito foram colocados um em cada frasco com as características já descritas.

Cada frasco, representando um tratamento, recebeu a seguinte solução:

Na_2SO_4 10^{-4}M (solução estoque)	10 ml
H_2O destilada	85 ml
H_2 $^{35}\text{SO}_4$ (solução estoque)	5ml

Para os tratamentos pH 3 e pH 6 os 10 ml de Na_2SO_4 10^{-2}M em CaSO_4 10^{-4}M foram substituídos por 10 ml de soluções dos mesmos sais nas mesmas concentrações, tamponados, respectivamente, para pH 3 e pH 6.

O período de exposição foi de 120 minutos após o qual as raízes foram lavadas, secas, moídas e a determinação do sulfato absorvido realizada de acordo com o procedimento descrito anteriormente.

Determinação do espaço livre aparente (ELA)

O presente ensaio foi constituído de 6 tratamentos com 2 repetições. Os tratamentos do presente ensaio foram estabelecidos com base do tempo de lavagem (dessorção) das raízes após um período de 2 horas de exposição em $^{35}\text{SO}_4^{-2}$.

Os tempos de exposição foram 0, 5, 15, 45, 60 e 120 minutos cada um correspondendo a um tratamento.

Todos os 6 tratamentos receberam solução correspondente a: 10 ml de solução estoque NaSO_4 10^{-2}M em CaSO_4 10^{-4}M , 5 ml de solução estoque $\text{H}_2^{35}\text{SO}_4$ e 85 ml de água destilada. As raízes preparadas de acordo com o descrito foram colocadas nos frascos de vidro, contendo a solução acima especificada onde permaneceram por 120 minutos, enquanto era feita a aeração da solução. Terminado este tempo, as raízes foram lavadas rapidamente em água destilada e colocadas em seguida em frascos contendo água destilada onde permaneceram por períodos variáveis de 5, 15, 45, 60 e 120 minutos. O tratamento 0 (zero) correspondeu aquele que foi retirado da solução $^{35}\text{SO}_4^{-2}$ lavado rapidamente em água destilada e encaminhado à secagem. Os outros tratamentos, após o período específico de permanência em água destilada, eram retirados e encaminhados à secagem.

Após a secagem o material de todos os tratamentos foi moído, pesado (50 mg), colocados na cubeta de vidro e determinado o teor de $^{35}\text{SO}_4^{-2}$ no esclímetro já mencionado.

Efeito de inibidores

Usou-se delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos, incluindo a testemunha, 3 variedades e 2 repetições, com base nas recomendações de PIMENTEL GOMES (1970).

No presente ensaio foram utilizadas 3 cultivares de sorgo granífero, a saber: Tey-101 (Contibrasil), E-57 (Agroceres) e Tey-102 (Contibrasil) das quais tomaram-se quantidades adequadas de raízes.

Foram usados 3 inibidores metabólicos: o NaF, inibidor da glicólise, o KCN, inibidor da cadeia de transporte eletrônico terminal e 2,4-DNP, desacoplador da fosforilação oxidativa. A testemunha foi representada por um tratamento com o mesmo peso de raiz, mesma solução mas sem a presença de quaisquer dos 3 inibidores.

Cada repetição, constituída de 12 vidros, sendo 3 para as testemunhas, 3 para o NaF 0,04M, 3 para o KCN 0,5M, 3 para o 2,4DNP 10^{-3}M — um para cada variedade — recebeu as soluções discriminadas abaixo:

O tratamento NaF foi efetivado primeiramente em solução de NaF 0,04 em quantidade suficiente para tratar aproximadamente 1g de

Tratamentos	Solução estoque de NaSO ₄ 10 ⁻² M em CaSO ₄ 10 ⁻⁴ M ml	NaF ml	KCN ml	2,4-DNP ml	H ₂ O destilada ml	Solução estoque de Na ₂ ³⁵ SO ₄ ml
Testemunha	10	0	0	0	85	5
KCN	10	0	1	0	84	5
NaF	10	1	0	0	85	5
2,4-DNP	10	0	0	10	75	5

raízes. Nessa solução foram mantidas por 2 horas, com arejamento forçado, e em seguida, após esse tempo, as raízes foram retiradas, enxaguadas e colocadas em solução com ³⁵SO₄²⁻ e à semelhança dos demais tratamentos, mantidas na solução, com arejamento por 2 horas.

Após o período de 2 horas de permanência das raízes nas soluções contendo ³⁵SO₄²⁻ com arejamento forçado, as mesmas foram retiradas, enxaguadas, secas em estufas, moídas e 50 mg de raízes, de cada tratamento, foram colocadas em cubetas de vidro e feita a contagem em escalímetro com contador G-M.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva de absorção está mostrada na Figura 1.

A análise estatística mostrou que as diferenças dos tratamentos foram significativas ao nível de 1%.

A função analítica que descreve a curva no intervalo de tempo de 5 a 180 minutos é:

$$y = 1,639 - 1,565 e^{-0,006618t}$$

y = umoles de SO₄²⁻ absorvido por grama de matéria seca (gms)
t = tempo em minutos

O coeficiente de correlação com os pontos experimentais foi de 99,999% o que demonstra que os resultados experimentais são bons.

Para um tempo de absorção suficientemente grande, o total absorvido tenderá ao valor constante de 1,639 umoles/gms. A valor limite é esperado para raízes destacadas, pois não havendo translocação não poderá absorver indefinidamente.

Supondo que a função descreva bem o comportamento da curva

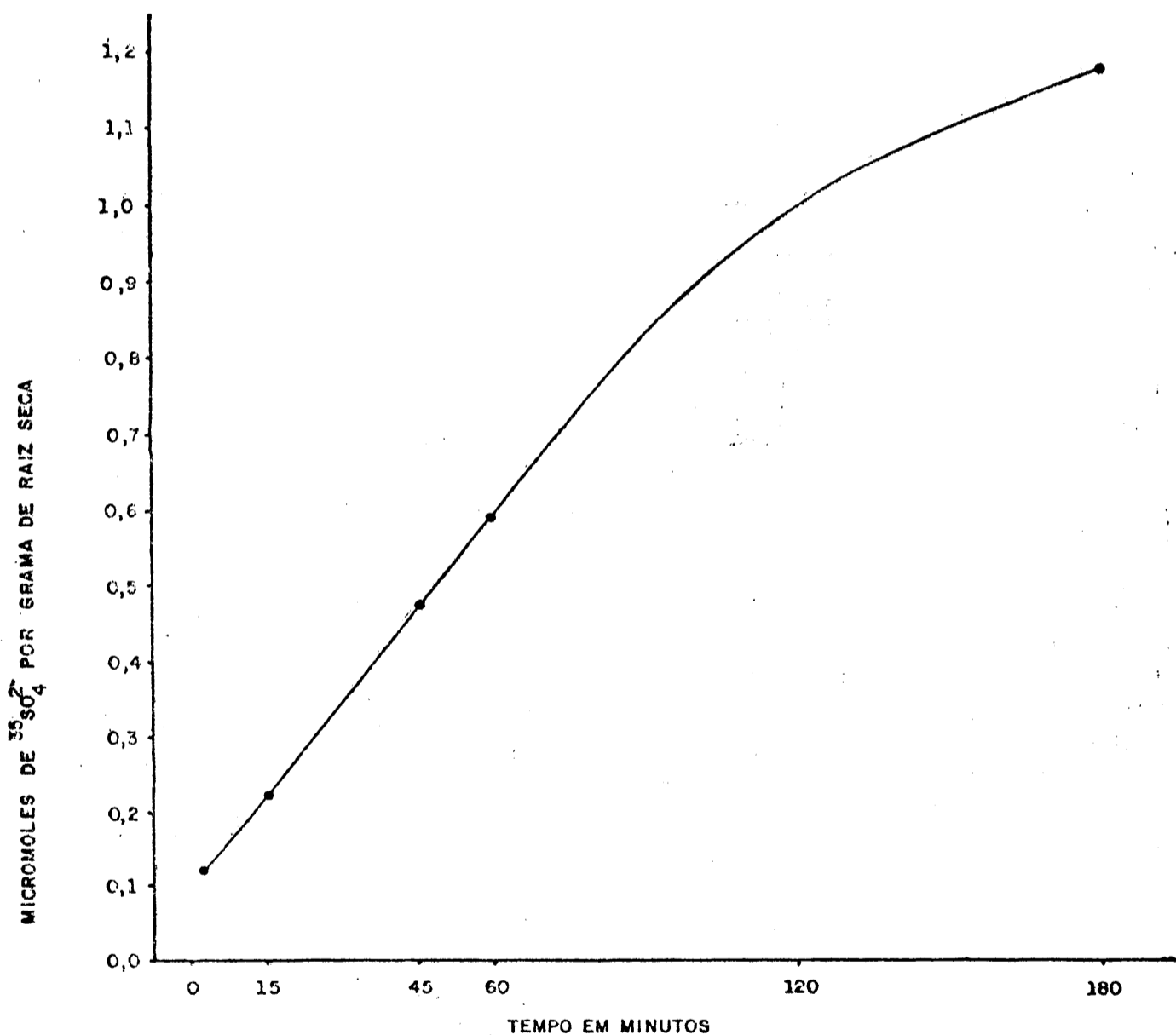
para t 180 minutos, pode-se calcular o tempo necessário para atingir 95% do máximo possível ($t_{95\%}$).

$$t_{95\%} = 446 \text{ minutos}$$

A velocidade de absorção será:

$$v = \frac{dy}{dt} = 0,0104 e^{-0,006618t} \text{ umoles/gms por minuto}$$

A velocidade é maior no início, tendo para $t \rightarrow 0$, $v_0 = 0,624$ umoles/gms por hora.



Os resultados obtidos são semelhantes aqueles encontrados por FERRARI e RENOSTO (1972), com SO_4^{2-} em cevada e por PHILLIPS et alii (1971) com P, também em cevada, nos quais a absorção aumentou com o tempo de contato ficando constatado que a maior intensidade de

absorção ocorreu nos primeiros 60 minutos de contato. Observa-se ainda a tendência de absorção zero, no tempo zero, concordando com os resultados obtidos por EPSTEIN (1975), LAUCHLI e EPSTEIN (1970) e PHILIPPS et alii (1971).

Efeito da concentração iônica externa

A análise de variância mostrou, através do teste de F, existir diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre os tratamentos.

O teste de Tukey mostrou existir diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, entre todos os tratamentos, com exceção dos tratamentos 1 e 2, em que se trabalhou com as menores concentrações de sulfato ($1 \times 10^{-4}M$ e $2 \times 10^{-4}M$), os quais não diferiram entre si.

O aumento da concentração na solução externa contribuiu para aumentar a absorção global de sulfato pelas raízes destacadas. Esse fato foi constatado por SHARGOOL e NGO (1975) em raízes de plântulas de nabo em diferentes concentrações de sulfato. Nessa ocasião aqueles pesquisadores constataram a presença de dois mecanismos de absorção de sulfato um de baixa afinidade que passava a operar em concentrações mais elevadas e um segundo de alta afinidade que operava em baixas concentrações.

A diferença não significativa na absorção de sulfato entre os tratamentos 1 e 2 (1×10^{-4} e $2 \times 10^{-4}M$) faz supor que a absorção de sulfato nos dois tratamentos foi limitada pela deficiência de sulfato na solução externa. Esse fato pode, em parte, ser confirmado pela ocorrência de significância no tratamento 3 em que a concentração externa de sulfato era de $5 \times 10^{-4}M$.

A curva de absorção apresentada na Figura 2 e as transformações sugeridas por LINEWEAVER e BURK (1934) e por HOFSTEE (1952) são apresentadas nas Figuras 3 e 4. Todas elas apresentam indícios seguros da existência de mecanismos distintos de absorção de sulfato. NISSEN (1971) trabalhando com raízes de cevada nas concentrações de 10^{-6} a $10^{-1}M$ de sulfato encontrou 4 inflexões na curva e 5 constantes cinéticas (Km) nas concentrações de 10^{-5} , 10^{-4} , 10^{-3} , 10^{-2} e $10^{-1}M$ em sulfato.

Efeito da aeração, temperatura e pH

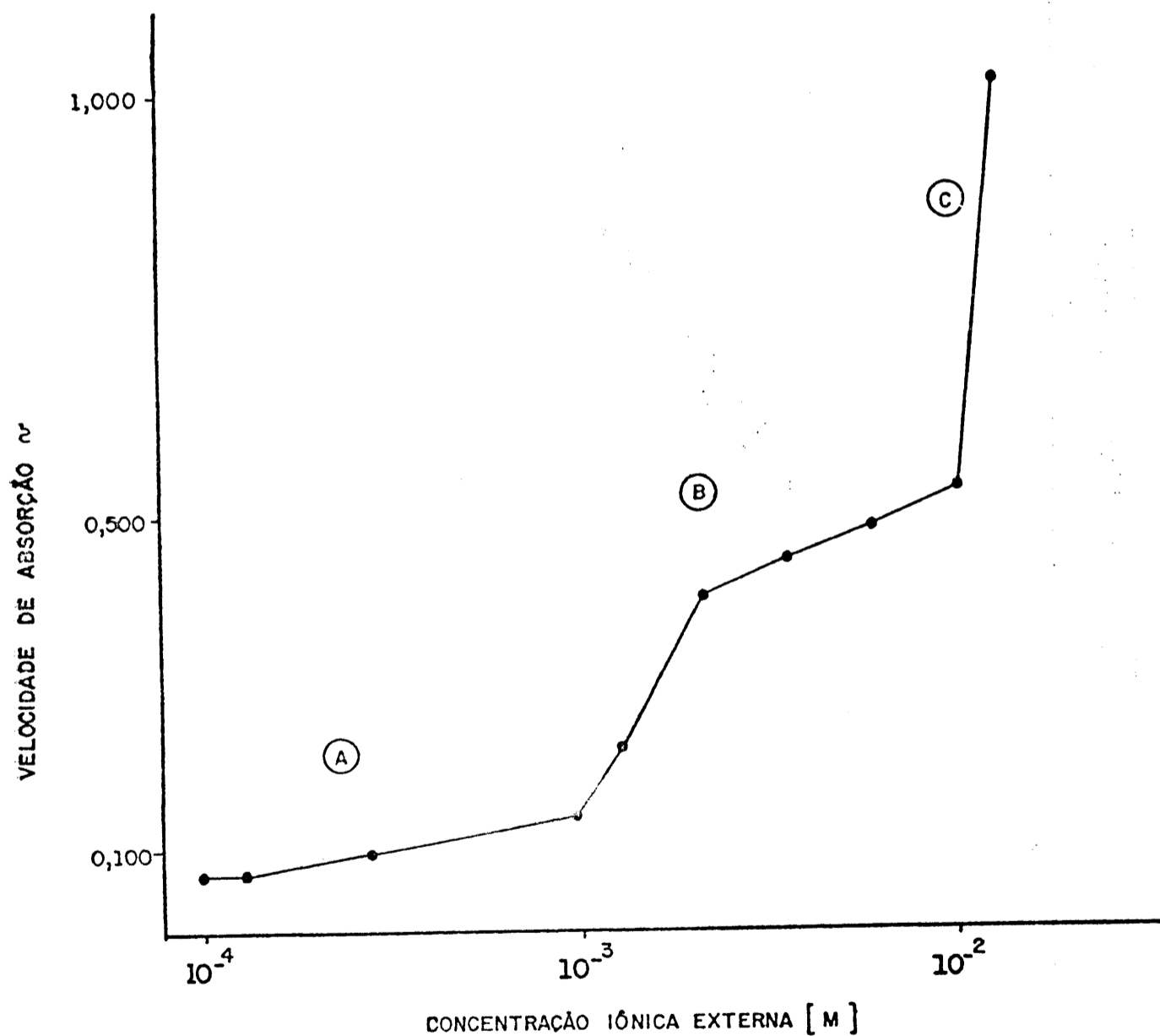
Os resultados obtidos são apresentados na Figura 5 e representam a média de 2 repetições utilizando-se raízes de sorgo da variedade Tey 101. Pode-se observar pela análise estatística que os tratamentos foram significativos ao nível de 1% de probabilidade.

Quanto ao pH houve pequena diminuição quando passou de 6 a 3, o que está de acordo com PERSSON (1969) que trabalhou com raízes

de trigo obteve os mesmos resultados. HENDRIX (1967) trabalhando com feijão, e JACKSON e ADAMS (1963) trabalhando com raízes destacadas de cevada encontraram os mesmos resultados, entretanto, a pH 7,0 a absorção de sulfato foi tão baixa quanto a pH 3,0.

Quanto à aeração: no tratamento sem aeração menor quantidade de sulfato foi absorvida do que no tratamento com aeração. Esses resultados estão de acordo com EPSTEIN (1975), que observou uma inibição na absorção iônica quando as condições eram anaeróbicas, afirmando que: embora, a absorção dos íons depende do metabolismo aeróbico.

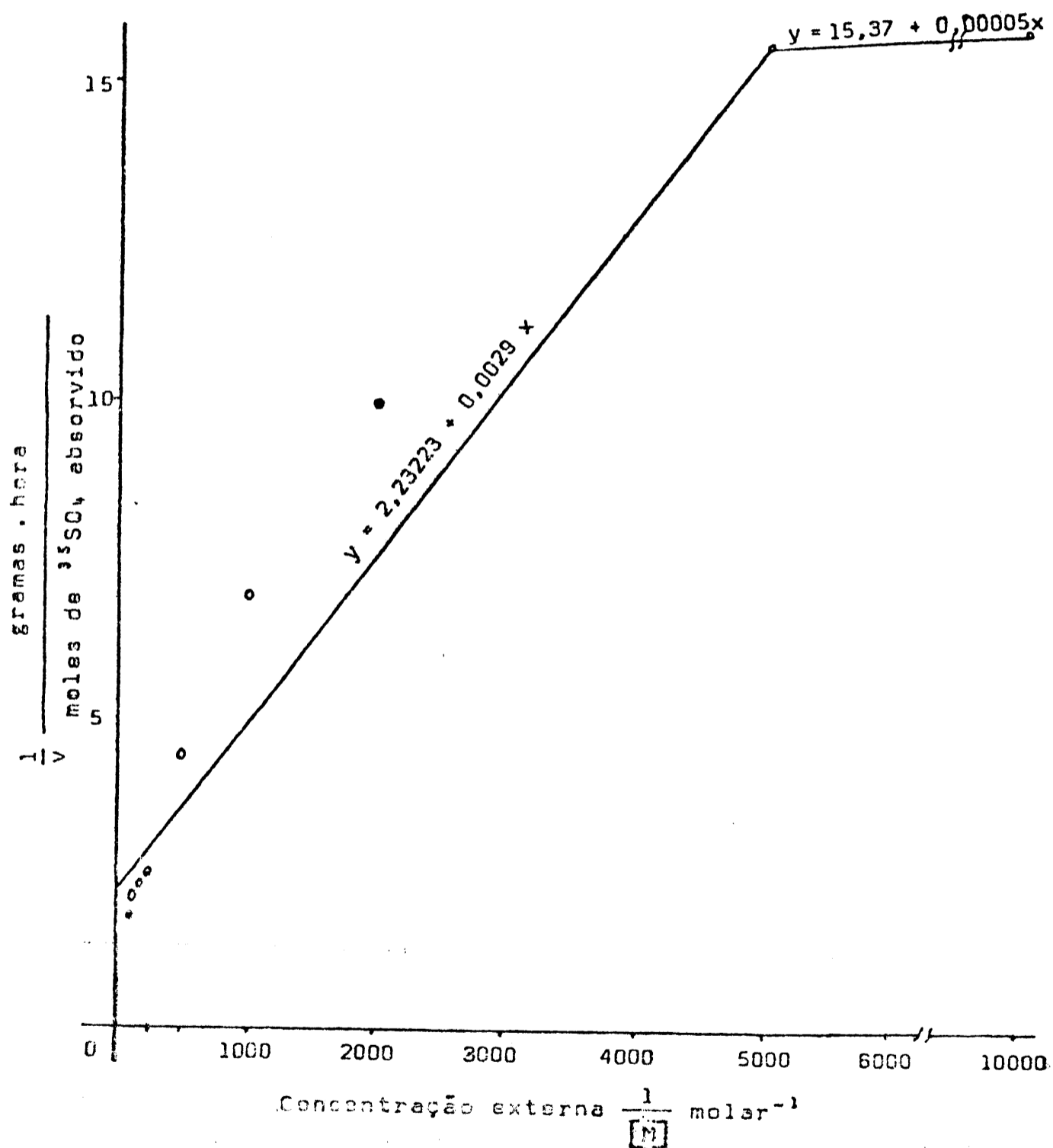
(MICHAELIS - MENTEN)



Quanto à temperatura: houve um aumento na absorção de sulfato pelas raízes, comparando-se as 3 temperaturas na figura (0°C , 25°C e

40°C). A maior absorção deu-se a 40°C durante duas horas, tempo em que foi conduzido o experimento, entretanto, isso não quer dizer que a melhor temperatura de retenção de sulfato pelas raízes e transporte para a parte aérea, pois essas temperaturas podem não ser coincidentes. PERSSON (1969) trabalhando com raízes de trigo observou que a um máximo de absorção e transporte de sulfato dava-se a 30°C, enquanto que a retenção pelas raízes dá-se a um máximo de 20°C.

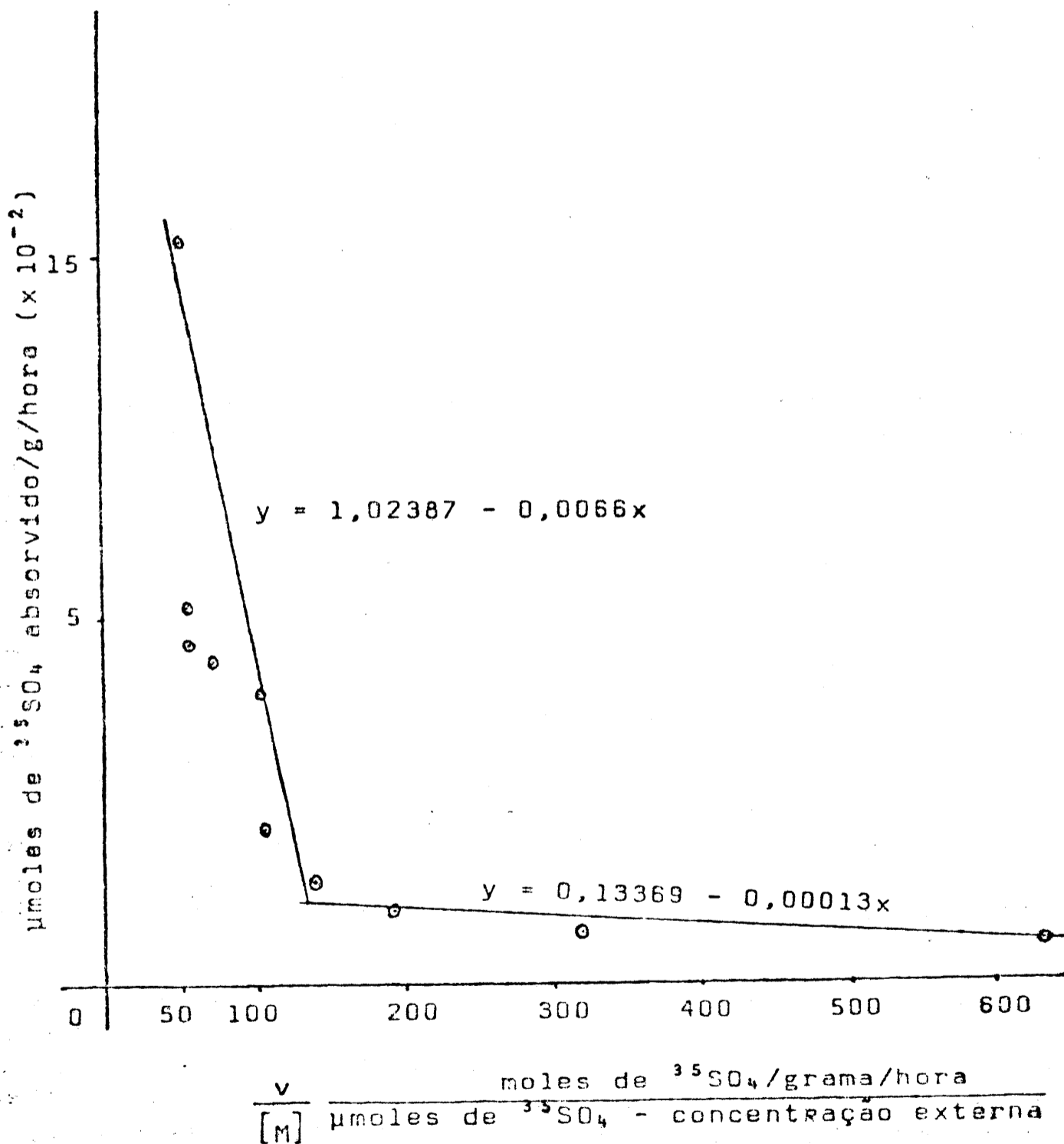
A maior absorção a 40°C sugere uma predominância na absorção ativa, em detrimento de uma absorção passiva a baixas temperaturas. EPSTEIN (1975), diz que os processos metabólicos ativos são diminuídos severamente perto da temperatura de congelamento.

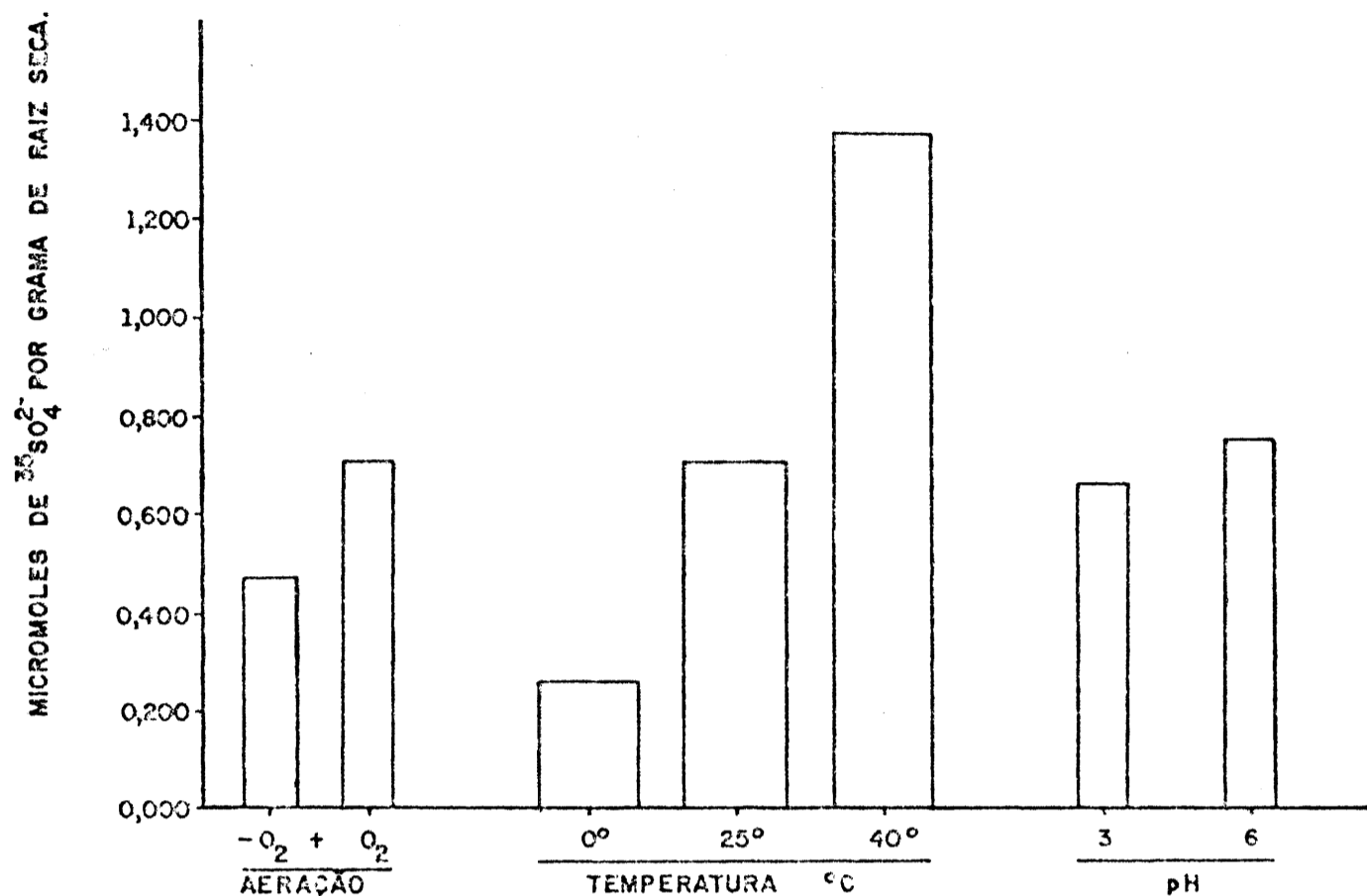


Determinação do espaço livre aparente (ELA)

Os resultados obtidos no presente ensaio são mostrados na Figura 6. Observa-se que a “dessorção” se estabilizou aos 45 minutos.

Calculando-se o espaço livre aparente (ELA) com base nos valores obtidos no tratamento 1 — aquele que não sofreu “dessorção” — e equivale 1,040 umoles/g matéria seca (raiz) e naqueles obtidos a partir de 45 minutos de permanência em sulfato de cálcio na concentração de 1 umol/ml de solução, correspondente a média dos valores estabilizados e igual a 0,398 umoles de SO_4^{-2} /g matéria seca obteve-se um espaço livre aparente (ELA) igual a 0,642 ml/g de raiz seca.



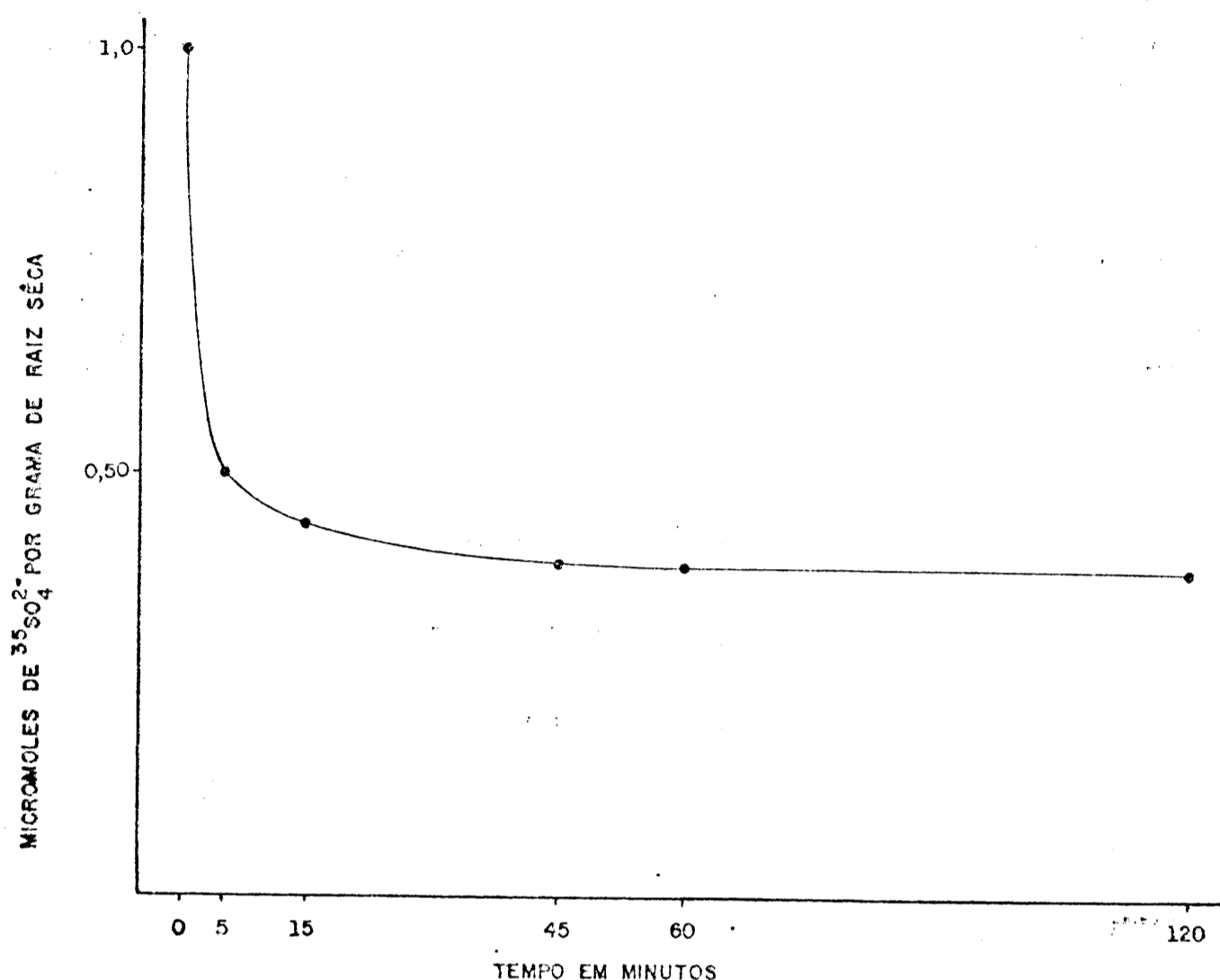


As conclusões de Levitt (1957), Bernstein e Nieman, Ingelsten e Hylmo, citados por EPSTEIN (1975) mostraram que o espaço livre aparente (ELA) da maioria dos tecidos de plantas superiores ocupa, regra geral, 0,10 a 0,15 ml/g de matéria fresca. Os valores mais elevados, quase sempre encontrados, são devidos a uma fina camada de solução que permanece aderida aos tecidos, mesmo após um cuidadoso trabalho, visando remover a referida camada.

Considerando os percentuais de água existentes nos tecidos vegetais frescos e comparando o valor do ELA, em peso seco, obtido no presente trabalho com os valores do ELA em peso fresco, sugeridos pelos pesquisadores acima mencionados, verifica-se que os valores encontrados se enquadram razoavelmente naqueles previstos.

Desta forma, com base nos resultados obtidos verifica-se que aproximadamente 62% do sulfato encontrado no tecido foi absorvido através do processo passivo de absorção. Os restantes 38% foram absorvidos metabolicamente.

Com base nos dados obtidos verifica-se que a "dessorção" por 5 minutos removeu 51% do sulfato encontrado no ELA. Essa remoção aumentou com o tempo, estabilizando-se aos 45 minutos de "dessorção" quando a totalidade do sulfato existente no ELA for removida. Com 15 minutos de dessorção a remoção de sulfato correspondeu a 57%.



Os percentuais acima obtidos destacam a importância de um criterioso e padronizado método de lavagem dos tecidos vegetais quando se trabalha com radioisótopos. Uma lavagem excessiva e não padronizada poderia alterar, significativamente, os resultados de um trabalho.

Efeito de inibidores

Os resultados obtidos neste ensaio são apresentados na Figura 7.

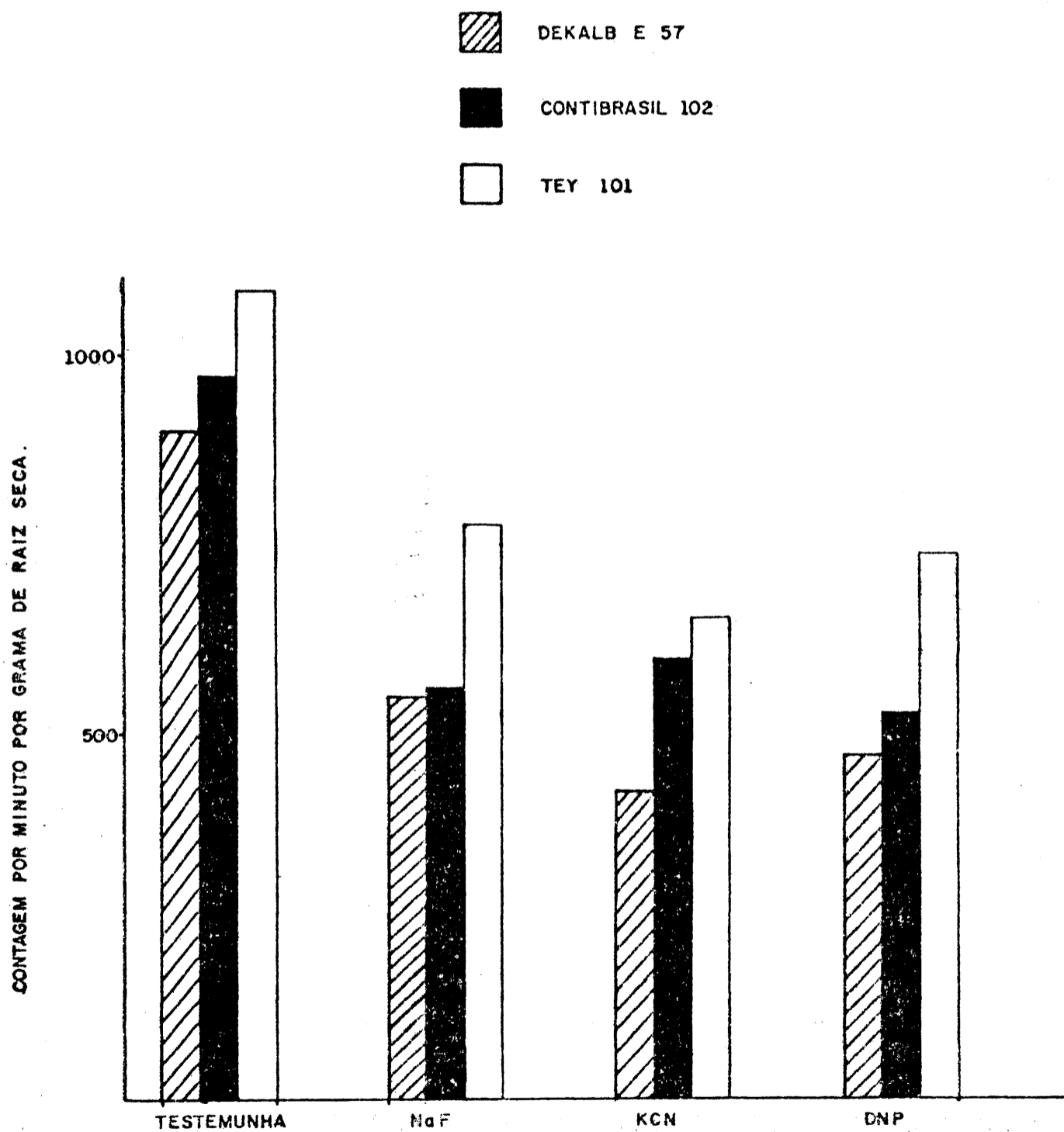
A análise de variância mostrou existir diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de F, entre os tratamentos, entre os inibidores, entre as cultivares, e entre inibidores x cultivares.

Observou-se com base nos dados obtidos comportamento diferencial entre as cultivares estudadas, relativamente aos inibidores utilizados no ensaio. A cultivar Tey-101 foi a que apresentou maior capacidade de absorção de SO_4^{-2} na presença dos inibidores estudados, seguida pela Tey-102 e, em último lugar, E-57.

Baseados nos valores médios de absorção de SO_4^{-2} pelas cultivares estudadas sob a ação dos inibidores verificou-se que o KCN foi o mais

eficiente, seguido pelo 2,4 DNP e NaF em ordem decrescente de eficiência. A maior eficiência de um inibidor determinou decréscimo na absorção de SO_4^{-2} pelas raízes.

	E-57	Tey-102	Tey-101
Testemunha	100%	100%	100%
NaF	61%	57%	70%
KCN	50%	61%	60%
2,4-DNP	57%	59%	68%



Cada cultivar respondeu diferentemente a ação de cada inibidor.

Os inibidores utilizados no presente ensaio interferem diretamente no metabolismo das células das raízes, determinando alterações que, possivelmente afetariam a absorção iônica ativa. Admitindo-se uma eficiência de 100% na absorção ativa do tratamento 1 (testemunha) de cada cultivar foi possível estabelecer o percentual de absorção de SO_4^{-2} para cada cultivar sob o efeito de cada um dos inibidores, como segue:

KCN	—	43%
2,4-DNP	—	38%
NaF	—	37%

As respostas obtidas no presente trabalho relativamente ao efeito do CN- do 2,4-DNP na redução da absorção de SO_4^{-2} por raízes destacadas de sorgo foram semelhantes àquelas obtidas por SHARGOOL e NGO (1975) em nabo.

LUNDEGARDH (1939) demonstrou que a resposta diferencial de variedade a diversos inibidores foi individual e específica. Os resultados obtidos por estes pesquisadores são concordantes com aqueles obtidos no presente trabalho em que ficou constatada resposta específica de cada cultivar de sorgo granífero para cada inibidor usado.

RESUMO E CONCLUSÕES

Foram realizados diversos experimentos com o objetivo de estudar o efeito de alguns fatores que afetam a absorção iônica de SO_4^{-2} em raízes destacadas de sorgo granífero, usando-se o radioisótopo ^{35}S como traçador. Os fatores estudados foram: tempo de absorção, concentração iônica externa, aeração, temperatura e pH na absorção iônica, determinação do espaço livre aparente (ELA) e efeito de inibidores na absorção iônica.

Os resultados obtidos nos diversos ensaios permitiram as seguintes conclusões:

a) no experimento relacionado com tempo de contato, a maior intensidade de absorção ocorreu nos primeiros 5 minutos, decrescendo progressivamente nos 15, 45 e 60 minutos seguintes. A intensidade de absorção decresceu acentuadamente a partir dos 60 minutos de exposição.

b) ficou constatada, no experimento de concentrações externas crescentes de sulfato existência de mecanismos distintos para absorção de sulfato operando em baixas concentrações e em altas concentrações;

c) a temperatura na solução foi um dos fatores que mais afetou a absorção de sulfato seguindo-se o pH e, por último, o arejamento;

d) o espaço livre aparente (ELA) determinado foi o 0,642 ml/g de raís seca;

e) calculou-se com base nos dados obtidos que 62% do sulfato encontrado nas raízes (peso seco foram absorvidos através do processo passivo, enquanto que os 38% restantes, por processo ativo;

f) a cultivar Tey-101 foi aquela que apresentou maior capacidade de absorção de sulfato na presença de inibidores; Tey-102 mostrou capacidade intermediário enquanto que a E-57 apresentou a menor capacidade de absorção;

g) os inibidores foram efetivos em reduzir a absorção de sulfato, destacando-se o KCN como o mais eficiente e o NaF como o menos eficiente.

SUMMARY

STUDIES ON THE MINERAL NUTRITION OF GRAIN SORGHUM. VII SULFATE UPTAKE BY EXCISED ROOTS

Some aspects of SO_4^{2-} -absorption by excised roots of "*Sorghum bicolor* (L.) Moench" namely, inhibition effects of NaF, KCN, 2,4- DNP and factors such as aeration, solution pH and temperature on the rate of absorption were studied.

The excised roots showed multiphasic mechanism of SO_4^{2-} -absorption. The relative absorption rates, presented by three varieties, were in decreasing order: Tey-101, Contibrasil-101 and Dekalb-E-57. Inhibition effects on the absorption of SO_4^{2-} by excised roots were shown in the case of the three inhibitors studied hereof. Aeration and solution temperature are important factors on SO_4^{2-} -absorption.

At the external solution concentration of $\text{Na}_2\text{SO}_4 10^{-3}\text{M}$ the best fitted equation to the experimental values was shown to be:

$$\text{umoles/g dry matter} = 1,639 - 1,585 \exp. (-0,006618t)$$

LITERATURA CITADA

- EPSTEIN, E. 1955. Passive permeation and active transport of ions in plant roots. *Plant Physiol.* 30: 529-535.
- EPSTEIN, E. 1975. *Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas*. Tradução e notas de E. Malavolta. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos. São Paulo. USP.
- FERRARI, G. e PASSERA, C. 1962. The penetration of ions into plants tissues. II. Active transport of sulphates in pectocellulose tissues, and critical considerations on the method of its measurement. *Agrochimica*, 6: 323-336.
- FERRARI, G. e F. RENOSTO. 1972. Regulation of sulfate uptake by Excised Barley Roots in the Presence of Selenate; *Plant Physiol.* 49: 114-116.

- HENDRIX, J.E. 1967. The effect of pH on the uptake and accumulation of phosphate and sulfate ions by bean plants. *Am. J. Bot.* 54: 560-564.
- HOFSTEE, B.H. 1952. On the evaluation of the constants V_m and K_m in enzyme reactions. *Science* 116: 329-331.
- JACKSON, P.C. & ADAMS, H.R. 1963. Cation anion balance during potassium and sodium absorption by garley roots. *J. Gen. Physiol.* 46: 369-386.
- LAUCHLI, A. e EPSTEIN, E. 1970. Transport of potassium and rubidium in plant roots: the significance of calcium. *Plant Physiol.* 45: 639-641.
- LEGGET, E.J. e EPSTEIN, E. 1956. Kinetics of sulfate absorption by barley roots. *Plant Physiol.* 31(3): 222-226.
- LINEWAVER, H. e BURK, D. 1934. The determination of enzyme dissociation constants. *Jour. Amer. Chem. Soc.* 56: 658-666.
- LUNDEGARDH, H. 1939. An electric chemical theory of salt absorption and respiration. *Nature.* 143: 203-204.
- MALAVOLTA, E. 1970. Curso Pós Graduado de Solos e Nutrição de Plantas. Nutrição Mineral de Plantas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", (mimeografado).
- MALAVOLTA, E. 1975. Práticas de Nutrição Mineral de Plantas, Piracicaba ESALQ, (Apostila mimeografada).
- PERSSON, L. 1969. Labile-bound sulfate in wheat roots: Localization, nature and possible connection to the active absorption mechanism *Physiol., Plant* 22: 959-976.
- PR NISSEN, P. 1971. Uptake of sulfate by roots and leaf slices of barley *Plant Physiol.* 24: 315-324.
- PETTERSSON, SUNE. 1966. Artificially induced water and sulfate transportation through sunflower roots. *Physiol. Plant* 19: 581-601.
- PHILLIPS, J.W., D.E. BAKER e C.O. GLAGETT. 1971. Kinetics of P absorption by excised roots and leaves of corn hybrids. *Agron. Journ.* 63: 517-519.
- PIMENTEL GOMES, F. 1970. *Estatística Experimental*. 4.^a ed. São Paulo, Nobel.
- SHARGOOL, P.D. e NGO, T.T. 1975. The uptake of sulfate by excised roots of rape seedlings (*Brassica napus*, var. Target). *Can J. Bot.* 53: 914-20.

