

ESTUDOS SOBRE A NUTRIÇÃO MINERAL DO SORGO SACARINO
(*Sorghum bicolor* (L) Moench). I. DEFICIÊNCIAS DE
MACRO E MICRONUTRIENTES E TOXIDAZ DE ALUMÍNIO,
CLORO E MANGANÊS*

E. Malavolta**
E.L.M. Coutinho***
G.C. Vitti***
N.U. Alejo***
N.J. Novaes***
V.L. Furlani Neto***

RESUMO

Sorgo sacarino, cv *Brandes*, foi cultivado em solução nutritiva deficiente em macro e micronutrientes e com excesso de alumínio, cloro e manganês. Foram obtidos sintomas das deficiências e excessos provocados no meio e o material foi analisado. Obteve-se uma estimativa das exigências nutricionais. Análises tecnológicas do colmo, mostraram os efeitos das deficiências de nitrogênio, fósforo e potássio sobre as mesmas.

* Entregue para publicação em 10.9.1979. Com ajuda do BNDE, FAPESP, CNEN e CNPq.

** Departamento de Química e CENA, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

*** Alunos de Pós-Graduação, disciplina LQI-860, Nutrição Mineral de Plantas.

INTRODUÇÃO

O problema internacional gerado pelos altos preços do petróleo, motivou séria crise energética, que afetou a maior parte dos países ocidentais, entre eles o Brasil, cuja civilização é altamente dependente daquele hidrocarboneto e seus derivados. Procurando superar esse impasse, as atenções das autoridades brasileiras, tem sido voltadas para a produção de fontes alternativas de combustível, consubstanciadas na exploração de plantas produtoras de carboidratos, como matéria prima na fabricação de álcool carburante, substituto mais econômico do petróleo.

Nessa conjuntura, o sorgo sagarino, juntamente com a mandioca, foi considerado uma das alternativas de complementação da cana-de-açúcar, que já possui tradição e infraestrutura no setor, na produção de álcool anidro (MARQUES & FERNANDES, 1979).

Variedades de sorgo sacarino como Rio, Ramada e Roma tem produzido respectivamente médias de 3,9; 4,6 e 4,7 t açúcar/ha em médias de cinco anos nos testes realizados em Welasco, Texas, num período de 110 dias do plantio à colheita conforme FREEMAN (1974), citado por SCHAFFERT & TREVISAN (1978). Segundo esses autores, estas variedades foram desenvolvidas em ambientes sub-tropicais e comportaram-se razoavelmente bem em Sete Lagoas no ano agrícola de 75/76 durante as multiplicações.

Segundo COLEMAN (1970), o sorgo tem menores necessidades de água e fertilizantes do que a cana-de-açúcar e, além disso, possibilita duas colheitas no mesmo ano, se a rebrota for aproveitada. O maior potencial do sorgo sacarino é o aproveitamento do equipamento ocioso das usinas nos meses de janeiro, fevereiro e março, quando plantado respectivamente nos meses de outubro, novembro e dezembro. Com pequenas adaptações, o equipamento utilizado para o processamento de cana-de-açúcar poderá ser utilizado para obtenção do mel de sorgo doce que é a matéria prima na produção do álcool, conforme já utilizado com sucesso em Welasco no Texas.

Em extensa revisão bibliográfica, SERRA (1979) faz uma comparação do sorgo sacarino com outras matérias primas (cana e mandioca), quanto a composição, produtividade e rendimento de fermentação em álcool etílico, indicando que as características básicas, agrônômicas e tecnológicas, mostram o sorgo sacarino como uma cultura com potencial e viabilidade para ser utilizada na produção de álcool etílico.

Entretanto, quase nada se sabe a respeito das exigências nutricionais, bem como do efeito que a adubação poderá ter nas qualidades tecnológicas do sorgo sacarino (brix, quantidade de caldo, sacarose, açúcares redutores, açúcares totais, pureza, etc.).

Dessa forma, utilizando-se a técnica da diagnose por subtração em solução nutritiva, o presente trabalho teve as seguintes finalidades:

a. obtenção de um quadro de sintomas de carência dos nutrientes, e os de toxidez de Cl, Mn e Al.

b. Verificação do efeito das deficiências e excessos no teor foliar dos mesmos, na produção e qualidades tecnológicas.

c. avaliação do estado nutricional através de testes bioquímicos (atividade da redutase de nitrato) de testes rápidos no tecido e da diagnose foliar.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de sorgo sacarino cultivar *Brandes* foram previamente desinfetadas com água sanitária diluída 1/10 e colocadas a germinar em vermiculita umidecida com uma solução de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 10^{-4}M , ficando as mesmas ao abrigo da luz direta, até que germinassem.

Após as plântulas atingirem aproximadamente 10 cm de altura, foram transferidas para bandejas de 30 l de capacidade, contendo solução nutritiva completa de HOAGLAND &

ARNON (1950) diluída a 1/5. Aproximadamente duas semanas depois, foram transferidas para vasos de plástico de 1 litro de capacidade, contendo as soluções nutritivas dos diferentes tratamentos segundo MALAVOLTA (1979a).

Utilizou-se o delineamento estatístico inteiramente casualizado. Desde a instalação até o final do experimento, foram tomados todos os cuidados necessários para o bom desenvolvimento das plantas. As soluções nutritivas foram trocadas quinzenalmente.

Vinte e sete dias após o transplante, algumas plantas dos tratamentos completos, menos N, menos P e menos K foram transferidas para vasos de 2,5 l de capacidade; quarenta e três dias após o transplante, quatro repetições destes mesmos tratamentos foram transferidas de vasos de 1 litro para tambores plásticos com 30 l de capacidade, visando as análises tecnológicas.

Ao se acentuarem os sintomas de carência ou toxidez, as plantas eram colhidas separando-se os seus órgãos, que eram secos em estufa a 70-80°C, pesados, moidos e reservados para análise mineral.

Coletou-se aos 27, 34 e 41 dias após o transplante, amostras de folhas para a avaliação do estado nutricional das plantas de sorgo sacarino, segundo as técnicas da diagnose foliar, testes rápidos e teste bioquímico (atividade da redutase de nitrato) respectivamente. Estas técnicas são descritas em MALAVOLTA (1979a, 1979b, 1979c).

No fim do ciclo (aproximadamente três meses depois do início do ensaio) foram colhidas as plantas referentes aos tratamentos completo, menos N, menos P e menos K, para análises tecnológicas, anotando-se o peso de matéria fresca. Nestas plantas determinou-se no colmo: peso do caldo, brix, açúcares redutores e sacarose.

Para a determinação dos vários elementos minerais neste ensaio, utilizou-se os seguintes métodos analíticos:

- a. Nitrogênio - determinado pelo semimicro Kjeldahl.
- b. Fósforo - determinado pelo método do vanado - molibdato de amônio.
- c. Potássio, Cálcio, Magnésio, Ferro, Manganês e Zinco - determinados por absorção atômica.
- d. Cloro - determinado por colorimetria do triocianato férrico.
- e. Boro - determinado por colorimetria, após reação com curcumina.
- f. Enxofre - determinado por turbidimetria do sulfato de bário.
- g. Molibdênio - determinado por colorimetria do tiocianato.
- h. Alumínio - determinado por espectrofotometria após reação com eriocromo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sintomas de deficiência e toxidez

Os sintomas de deficiência e toxidez manifestaram-se na seguinte ordem cronológica: menos Fe, menos Ca, mais Mn, mais Al, menos N e menos Zn nos primeiros 20 dias após o transplante; menos Mg, menos Mn, menos B, mais Cl e menos S uma semana antes do emborrachamento; menos K, menos P e menos Mo depois da formação da panícula. O tratamento menos Cu não apresentou sintomas de carência. A seguir descrevem-se os sintomas observados nas plantas submetidas aos diferentes tratamentos.

Deficiência de nitrogênio - As plantas cultivadas em solução menos N, mostraram inicialmente as folhas mais velhas totalmente cloróticas. Em estágio mais avançado da

carência, as pontas e as margens destas folhas secavam e tornavam-se necróticas; o sistema radicular era relativamente prejudicado, apresentando um menor número de radículas. Paralelamente observou-se um menor desenvolvimento geral da planta, sendo notadamente afetado o diâmetro do caule e o número de perfilhos.

Deficiência de fósforo - As folhas mais velhas inicialmente apresentavam uma coloração verde mais escura; com o decorrer do tempo, estas folhas exibem uma clorose gradativa das pontas e margens em direção ao centro da lâmina. Finalmente as pontas e as margens ficavam necróticas devido à morte do tecido.

Apesar do aparecimento destes sintomas, o desenvolvimento das plantas não foi afetado pela carência. O acúmulo de P na fase de pré-tratamento e a presença de 6 ppm/l de P na solução nutritiva, parece ter sido suficiente para atender as exigências da planta.

Deficiência de potássio - Os primeiros sintomas de carência manifestaram-se com o aparecimento de uma clorose ao longo das bordas das folhas mais velhas. O amarelecimento progredia na direção da nervura principal, permanecendo entretanto, a parte central verde. Em estádios avançados estas folhas tornavam-se inteiramente cloróticas e secavam.

Deficiência de cálcio - O crescimento foi severamente afetado, mostrando-se a planta extremamente raquítica e com ausência de perfilhamento. O sistema radicular foi severamente prejudicado pela omissão deste nutriente na solução nutritiva; as folhas mais novas inicialmente mostraram uma clorose internerval, seguido de um amarelecimento e posterior esbranquiçamento de uma região limitada da margem. Neste último estágio, as plantas paralisavam o seu crescimento, apresentando-se a lâmina destas folhas dilaceradas.

Deficiência de magnésio - Inicialmente as folhas mais velhas mostraram uma clorose internerval; com o passar do tempo, no tecido internerval apareciam pontuações

avermelhadas, que coalesciam, estendendo-se no sentido longitudinal da lâmina foliar. Estes sintomas de carência eram acompanhados por uma redução no crescimento e ausência de perfilhos.

Deficiência de enxofre - As plantas submetidas a este tratamento, mostraram uma leve clorose nas folhas superiores. Estas plantas apresentaram um desenvolvimento normal até o fim do ciclo, e contrariamente ao esperado, apresentaram um elevado número de perfilhos. O acúmulo de S na fase de pré-tratamento e a presença de 5 ppm/l de S na solução nutritiva, parece ter sido suficiente, para garantir o desenvolvimento das plantas. Notou-se maior incidência de pulgões.

Deficiência de boro - As folhas mais novas do sorgo deficiente em boro apresentavam manchas branco - amareladas na parte mediana e próxima da base destas folhas; estas manchas coalesciam, formando estrias paralelas às nervuras. O sistema radicular apresentava-se com uma coloração mais escura, e as pontas das raízes relativamente engrossadas.

Deficiência de cobre - Não se observou durante o transcorrer do ensaio, sintomas visuais de carência deste nutriente. O acúmulo de Cu na fase de pré-tratamento, parece ter sido suficiente para garantir o desenvolvimento normal destas plantas, além de contaminações diversas.

Deficiência de ferro - As plantas apresentaram uma clorose internerval, em faixas que se estendiam em todo o comprimento das folhas superiores; estas folhas tornavam-se totalmente esbranquiçadas com a evolução da deficiência. O sorgo sacarino apresentou-se como uma excelente planta indicadora da falta de Fe.

Deficiência de manganês - As folhas mais novas mostraram inicialmente faixas longitudinais bem distintas de tecidos verdes e amarelos; posteriormente estas folhas perdiam quase totalmente a cor verde, tornando-se esbranquiçadas. Nestas regiões esbranquiçadas apareciam manchas

necróticas, que coalesciam, paralelamente à nervura principal; em seguida ocorria a morte deste tecido, que se desprendia.

Deficiência de molibdênio - As folhas mais velhas mostraram a princípio, ao longo das margens, uma coloração amarelada-avermelhada; posteriormente esta faixa marginal secava e tornava-se necrótica.

Deficiência de zinco - Os primeiros sintomas de carência deste micronutriente, foram o encurtamento dos internódios e uma redução no sistema radicular, com o engrossamento de raízes. Nas folhas mais novas observou-se uma leve clorose internerval.

Toxidez de alumínio - Observou-se inicialmente uma acentuada redução no desenvolvimento das plantas. O sistema radicular mostrou-se pouco desenvolvido, evidenciando-se o engrossamento das raízes e a ausência de radículas. As folhas mais velhas apresentavam uma clorose ao longo das margens.

Este tratamento, comparativamente, foi mais prejudicial ao desenvolvimento das plantas que os tratamentos excesso de Cl e excesso de Mn.

Toxidez de cloro - As plantas mostraram inicialmente um amarelecimento ao longo das margens e pontas das folhas mais velhas. O limite externo destas faixas tornava-se necrótico, assumindo uma coloração pardo-avermelhada. Paralelamente observou-se uma redução no crescimento e ausência de perfilhos.

Toxidez de manganês - As folhas mais novas exibiam sintomas característicos de deficiência de Fe; com a progressão dos sintomas, as folhas mais velhas mostravam uma clorose internerval com pontuações avermelhadas, que se estendiam no sentido longitudinal de lâmina foliar.

Produção de matéria seca

Na Tabela 1 é apresentada a produção de matéria seca total e das diferentes partes das plantas de sorgo sacarinao.

Verifica-se através destes dados a grande influência dos tratamentos menos Ca e mais Al no desenvolvimento e produção de matéria seca.

Atendo-se apenas a produção de matéria seca total, e organizando-a numa determinada ordem, tem-se uma sequência da influência dos tratamentos no desenvolvimento das plantas. Esta observação é baseada no fato de que, a menor produção de matéria seca de um determinado tratamento, era função de maior precocidade e intensidade da carência ou toxidez.

A produção de matéria seca total foi afetada na seguinte ordem decrescente: menos S, menos Cu, menos P, completo, menos B, menos Zn, menos K, menos Mo, menos N, mais Mn, menos Mn, menos Mg, mais Cl, menos Fe, mais Al, menos Ca.

Observa-se que a omissão de Ca e a de Fe foram as que mais implicaram na redução de matéria seca. A omissão de S e Cu não se fez sentir no crescimento e na produção.

Dentre os tratamentos mais Al, mais Cl e mais Mn, o primeiro foi o que mais significativamente reduziu a produção.

Composição mineral

Os resultados analíticos dos elementos, nas diversas partes da planta, encontram-se nas Tabelas 2 e 4.

Verifica-se que a omissão ou excesso de um determinado elemento, causou respectivamente diminuição e aumento do teor na planta. Observa-se ainda através destes dados, as relações inversas entre os teores de K, Ca e Mg; Mn e Fe; Al, Ca.

É comumente aceito que o Al deprime a absorção de Ca. LEE (1971), informou que o Al compete com o Ca pelos sítios ativos de absorção das raízes.

No presente experimento, confrontando-se os dados da concentração de Ca nas raízes e nas folhas (tratamento completo e mais Al), pode-se admitir que o Al deprimiu a absorção de Ca. Entretanto para o P, isto não se verificou.

Considerando-se os teores de Al nas diferentes partes da planta, verifica-se que o mesmo ocorreu em maior concentração nas raízes; isto, talvez, devido à baixa mobilidade do elemento (FOY & BROWN, 1963).

PRATT (1966) informou que a toxidez de Al não pode ser diagnosticada apenas pelos sintomas visuais ou pelo teor do elemento nas partes aéreas das plantas. A redução no crescimento ocorre, porém não é um sintoma específico. Segundo o autor, a concentração de Al nas raízes, poderá ser empregada com a finalidade de diagnóstico.

Por outro lado, quando se examina os dados de concentração de Fe nas diferentes partes da planta no tratamento mais Mn, verifica-se como tendência geral, um aumento na concentração do mesmo nas raízes e uma redução nos teores das partes aéreas.

Na Tabela 5 são apresentadas algumas relações foliares no fim do ciclo da cultura, consideradas adequadas dentro das condições deste ensaio.

Devido serem bastante escassas as informações sobre a nutrição mineral e adubação do sorgo sacarino, tentou-se através da Tabela 6, fornecer as quantidades de nutrientes extraídas pela cultura, admitindo-se uma população de 150.000 plantas/ha.

É importante conhecer-se estas quantidades, inclusive aquelas exportadas pela colheita, uma vez que parte dos nutrientes será devolvida ao solo como restos culturais e parte deverá ser restituída sob a forma de adubação.

Os cálculos foram baseados nos dados de matéria seca e teor de nutrientes no tratamento completo.

Verifica-se que as exigências totais de macronutrientes, obedeceram a seguinte ordem decrescente: K, N, Ca, Mg, S, P e para os micronutrientes: Fe, Mn, Zn B, Cu e Mo.

Convém chamar a atenção para as quantidades de nutrientes nos colmos, visto que, estes serão exportados pela colheita, se o objetivo é a produção de álcool. Nota-se que 37%, 18%, 46%, 38%, 36% e 43% da quantidade total extraída respectivamente de N, P, K, Ca, Mg e S estão nos colmos.

Nas Tabelas 7 e 8 encontra-se uma tentativa de classificar-se os teores foliares em duas categorias: normal e deficiente. É apresentada uma faixa de variação, onde os limites inferior e superior correspondem respectivamente, ao menor e maior teor encontrado dentro das quatro repetições dos diferentes tratamentos.

Observa-se que os teores foliares de P são relativamente baixos. Isto explica-se pela colheita das plantas no estágio de maturação dos grãos; neste estágio a maior parte do elemento translocou-se para os grãos.

Diagnose foliar

No presente ensaio, a cultivar *Brandes* de sorgo sacarina foi cultivada em solução nutritiva completa de HOAGLAND & ARNON (1950), deficiente em N, deficiente em P, deficiente em K (quatro repetições), onde as doses de N, P e K corresponderam respectivamente: um décimo, um quinto e um sexto da dose do tratamento completo.

No estágio de perfilhamento (27 dias após o transplante), coletou-se duas folhas medianas (folha +3 e +4) dos tratamentos. Para análise química utilizou-se o terço médio das mesmas, retirando-se a nervura central.

Os resultados das análises químicas dos elementos e de matéria seca, são apresentados nas Tabelas 9 e 10.

Analisandose a Tabela 9, verifica-se que para os tratamentos deficientes, os teores foliares correspondentes foram mais baixos. Chama a atenção nestes dados o alto teor de N, o qual, é provavelmente explicado pelo estágio de desenvolvimento em que as folhas foram colhidas. MALAVOLTA & LOURENÇO (1978) obtiveram resultados semelhantes em sorgo grânifero.

Em outras gramíneas, como por exemplo o arroz, a maior absorção de N e P se dá durante os estádios iniciais do crescimento (MALAVOLTA, 1978); portanto é de esperar-se neste estágio, uma grande influência destes nutrientes na acumulação de matéria seca das plantas.

Através da Tabela 10 verifica-se que esta observação também é válida para a cultura do sorgo sacarino.

Através deste ensaio, não é possível obter-se conclusões definitivas sobre a diagnose foliar como um método de avaliar o estado nutricional do sorgo sacarino. É questionável se o estágio de perfilhamento é a época mais adequada para a amostragem, embora constitua-se bastante sugestiva, pelo fato de uma eventual deficiência em condições de campo poder ser corrigida a tempo.

Atividade da redutase do nitrato

Muitos tem se preocupado em estabelecer uma correlação entre o estado nutricional da planta, atividade da redutase de nitrato e produtividade. Sabe-se que é possível avaliar o estado nutricional da planta, com respeito ao N e a disponibilidade do elemento no meio através da determinação da atividade do enzimo.

Já se verificou que um alto nível de N na adubação coincide com o acúmulo de nitrato na folha em condição de baixa atividade da redutase de nitrato, bem como, que o enzimo

é induzido pela presença de nitrato e a sua atividade diminui rapidamente na ausência deste ânion. A atividade decresce também devido ao acúmulo de nitrito (CASAGRANDE *et alii*, 1972).

MALAVOLTA *et alii* (1976) sugeriram que a determinação da redutase de nitrato em milho, parece fornecer melhor indicação do estado nutricional do que a análise das folhas para N total.

Aos 41 dias após o transplante das plantas, tomou-se discos de folhas medianas dos dois tratamentos (quatro repetições) e determinou-se a atividade da redutase de nitrato, conforme técnica descrita em MALAVOLTA (1979c).

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 11.

Verifica-se através destes dados, que o inverso do esperado ocorreu, ou seja, a produção de NO_2^- foi maior no tratamento deficiente. Sendo este enzima de síntese induzida, era de se esperar uma maior atividade da redutase de nitrato no tratamento completo.

Testes rápidos

Dentro de certos limites existe uma proporção direta entre quantidades de um elemento no solo ou solução nutritiva a seu teor no suco celular das plantas (MALAVOLTA 1979b). Logo, a análise do suco celular pode dar uma boa informação sobre a nutrição do vegetal, indicando eventuais deficiências e os meios de corrigi-las.

RAUSCHKOLB *et alii* (1976) verificaram que a aplicação de testes rápidos aos 35-40 dias após a germinação de sorgo apresentou coeficientes de correlação de 0,9652 e 0,9948 entre o teor de N- NO_3^- determinado com a produção obtida.

O objetivo deste ensaio foi avaliar o estado nutricional de plantas de sorgo sacarino através da determinação dos teores de N- NO_3^- , P- H_2PO_4^- e K^+ pela técnica de Purdue modificada, conforme descrito em MALAVOLTA (1979b).

Para tanto, foram utilizados a nervura principal da última folha bem desenvolvida dos tratamentos completo, menos N, menos P e menos K aos 34 dias após o transplante das plantas para os diversos tratamentos.

Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 12.

Verifica-se através destes dados, boa correlação entre os níveis dos elementos na solução nutritiva e a concentração encontrada nos tecidos da planta, indicando ser este método bom instrumento auxiliar na determinação do estado nutricional da planta e da disponibilidade de nutrientes na solução nutritiva.

Análises tecnológicas

Para avaliação de características tecnológicas do sorgo sacarino variedade *Brandes*, foram coletadas as plantas dos tratamentos completo, menos N, menos P e menos K dos tanques com capacidade para 30 l de solução, aproximadamente três meses após iniciado o ensaio.

Inicialmente procedeu-se à separação dos colmos e determinada a matéria fresca dos mesmos. Em seguida, nesses colmos, determinou-se o peso do caldo, brix, açúcares redutores totais, açúcares redutores, sendo que a sacarose foi calculada pela diferença entre esses açúcares, multiplicado pelo fator 0,05, conforme dados da Tabela 13.

Analisando-se os dados dessa Tabela observa-se que quando a matéria prima para a produção de álcool, ou seja, açúcares redutores totais, surpreendentemente o tratamento P apresenta maiores valores, bem como para brix e sacarose. Por outro lado, o tratamento completo apresentou melhores rendimentos de matéria fresca e peso de caldo.

O tratamento menos N foi o que apresentou qualidades tecnológicas e rendimentos (matéria fresca e caldo) inferiores, enquanto que o menos K foi superior ao completo quanto a porcentagem de açúcares redutores.

SERRA (1979) apresenta dados médios de três variedades de sorgo sacarino (Brandes, Dale e Rio) em Ribeirão Preto como; kg de caldo/t colmo (370 a 640); brix (15 a 21); açúcares redutores totais (13 a 20); açúcares redutores (1,5 a 9,0) e sacarose (8 a 17,5).

Comparando-se esses dados com o da Tabela 13, observa-se que todas as características tecnológicas estão com valor abaixo do mínimo obtido por esse autor, com exceção da % de açúcares redutores.

Tomando-se o peso do caldo e o peso da matéria fresca do colmo, estimou-se a quantidade de caldo (em kg) por tonelada do colmo, conforme dados apresentados na Tabela 14. Verifica-se através desses dados que o tratamento menos K foi o que apresentou menores valores, abaixo mesmo do valor mínimo citado por SERRA (1979), enquanto que o tratamento menos P apresentou maiores valores e os tratamentos completo e menos N valores intermediários, estando esses três tratamentos dentro dos limites citados por esse autor, ou seja, de 370 a 640 kg caldo/tonelada de colmo.

Para se estimar o rendimento em álcool de colmo do sorgo sacarino variedade Brandes estimou-se uma produção de 35 t/ha de colmo por tratamento, avaliou-se a produção de caldo/ha, e em seguida a quantidade de açúcares redutores totais/ha.

Considerando que 1 mol (180 g) de glucose produz 2 moles (92 g) de álcool etílico, teremos que 100 g de açúcares redutores produzirá 64,31 mol de álcool etílico, porém, admitindo-se uma eficiência de 90% no rendimento de fermentação (sistema Mèlle-Boinot) pode-se considerar a produção de 57,88 ml de álcool etílico/100 g de açúcares redutores.

Através dessas informações avaliou-se o rendimento em álcool por ha de sorgo sacarino nos tratamentos analisados. Os resultados são apresentados na Tabela 14.

Analisando-se os dados, observa-se a seguinte ordem decrescente de rendimentos de álcool/ha: menos P, completo, menos N e menos K.

Comparando-se esses resultados com os estimados por SERRA (1979), observa-se que os mesmos estão bem abaixo dos valores isto é, 1100 a 3825 para produção de 20 e 45 t/ha de colmos. A causa principal dessa diferença se deve ao baixo teor de açúcares redutores totais avaliados no presente experimento.

RESUMO E CONCLUSÕES

No presente trabalho cultivou-se em solução nutritiva sorgo sacarino cv. Brandes, com objetivo de se estudar os efeitos das deficiências e excessos minerais no crescimento, composição mineral e produção de matéria seca. Concomitantemente, verificou-se os efeitos das deficiências de N, P e K em algumas características tecnológicas desta gramínea.

Observou-se que a omissão de nutrientes e o excesso de Al, Cl e Mn, produziram respectivamente, sintomas típicos de carência e toxidez.

Os dados de produção total de matéria seca para os diferentes tratamentos, obedeceram a seguinte ordem decrescente: -S, -Cu, -P, completo, -B, -Zn, -K, -Mo, -N, +Mn, -Mn, -Mg, +Cl, -Fe, +Al e -Ca. Estes resultados evidenciaram a precocidade com que os sintomas de deficiência ou toxidez apareceram, porquanto as plantas foram colhidas quando os mesmos eram evidentes ou no fim do ciclo.

As seguintes concentrações foliares caracterizaram a deficiência dos nutrientes nos diversos tratamentos: N - 1,87%; P - 0,14%; K - 0,73; Ca - 0,40% (Folhas inf.) e 0,12% (folhas sup.); Mg - 0,05% (folhas inf.) e 0,06 (folhas sup.); S - 0,16%; B - 32 ppm (folhas inf.) e 15 ppm (folhas sup.); Cu - 8 ppm; Fe - 157 ppm (folhas inf.) e 162 ppm (folhas sup.); Mn - 339 ppm (folhas inf.) e 144 ppm (folhas sup.); Mo - 0,54 ppm; Zn - 16 ppm. Os teores foliares que corresponderam a toxidez foram: folhas inferiores - Al - 640 ppm; Cl - 3,85%; Mn - 1440 ppm; folhas superiores - Al - 1220 ppm; Cl - 2,37%, Mn - 445 ppm.

Estimou-se as quantidades extraídas pela cultura, admitindo-se uma população de 150.000 plantas/ha: N - 89,0 kg; P - 10,2 kg; K - 91,5 kg; Ca - 31,5 kg; Mg - 18,1 kg; S - 11,6 kg; B - 90,0 g; Cu - 61,0 g; Fe - 1704,0; Mn - 256,0 g; Mo - 2,4 g; Zn - 146,0 g.

Estimou-se o rendimento em álcool etílico por hectare, o qual obedeceu a seguinte ordem decrescente: -P, completo, -N e -K.

SUMMARY

Studies on the mineral nutrition of sweet sorghum. I. Deficiency of macro and micronutrients and toxicity of Al, Cl, and Mn.

Sweet sorghum cv Brandes was grown in nutrient solution under stress of macro and micronutrients, as well as in the presence of toxic levels of Al, Cl and Mn.

Symptoms of deficiency were observed in all cases, with the possible exception of Cu. Toxicity symptoms of the elements tested were also observed. As a rule, there was good agreement between abnormalities induced with those described in the literature for cereals.

Dry matter production was affected in the following increasing order: -S = -Cu = -P = complete, -B, -Zn, -K, -Mo, -N, excess Mn, -Mg, excess Cl, -Fe, excess Al and -Ca.

The following leaf contents correspond to deficiency level: N - 1.87%, P-0.14%, K-0.73%, Ca-0.40% (lower leaves) and 0.66% (upper leaves); S-0.16%; B-32 ppm (lower leaves) and 15 ppm (upper leaves), Cu-8 ppm; Fe-157 ppm (lower leaves) and 162 ppm (upper leaves); Mn-339 ppm (lower leaves) and 144 ppm (upper leaves); Mo-0.54 ppm; Zn-16 ppm.

Leaf contents associated with toxicity symptoms were: Al-640 ppm; Cl-3.85%; Mn-1440 ppm, and, 1220, 2.37% and 445 ppm, respectively for lower and upper leaves.

Nutrient requirements of weet sorghum were estimated to be in kg/ha: N-89.0, P-10.2, K-91.5, Ca-31.5, Mg-18.1, and S-11.6; in g/ha: B-90.0, Cu.61.0, Fe-1,704.0, Mn-256, Mo-2-4, and Zn-146.

Only N and K significantly affected ethyl alcohol yield.

COLABORADORES

Colaboraram na realização deste trabalho mais os seguintes alunos de Pós Graduação: A.A. Cavalcanti Lima, C. Manechini, C.M. Haddad, H.E.P. Martinez, J.W.Lemos, J.B.O. X. Menezes, J.C.Gomes de Oliveira, L.M.B.F.Jardim, M. A. Oliveira, O.M. Carvalho Fº, R.M. Pfeifer, S.F.Jorge, E.J.C. Pereira, T.J.A.Silva, J.A.Almeida, J.C.Heinklen, H. Weber, M.R.S.Rodrigues, M.M.Ferreira, R.M.Schunke, C.A.Sansígolo, D.Martins, I.A.Guerrini, L.C.R. Pessenda, P.C.O.Trivelin, J. A.Silveira, L.Barbosa, S.T.Cassini, W.Mattos, Z.Tenório, S. Omae, A.Jaehn, E.F.da Costa, J.H.Ferreira, M.B. Rodrigues, S.L.C.Carvalho, L.H.I.Nakayama, A.P.Camarão, E.Lima, J.H. A.Araujo, D.H.Silva, M.B.Rodrigues, F.A.Fernandes.

LITERATURA CITADA

- CASAGRANDE, A.; CORDEIRO, D.A.; AGUIAR, I.B.; BIASI, J.; PEDROSO, P.A.C., 1972. Uso da determinação da atividade da redutase como indicador da carência nitrogenada em café, 12 pp, (datilografado).
- COLEMAN, O.H., 1970. Syrup and sugar from sweet sorghum. In: WALL, J.S. & ROSSO, W.M. Sorghum production and utilization. Westport, Conn., The Avei Publishing, cap. 11, p.416-40.
- FOY, C.D. & BROWN, J.C., 1963. Toxic factors in acid soils. I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24:503-507.

- HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I., 1950. The water culture method for growing plants without soil, Riverside, California, Agricultural Experiment Station (Circular, 347).
- LEE, C.R., 1971. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. *Agron. J.* 63:604-608.
- MALAVOLTA, E., 1979. Nutrição mineral e adubação do arroz de sequeiro. *Boletim Técnico Ultrafertil*, 36 p.
- MALAVOLTA, E., 1979a. Deficiência de macro e micronutrientes e toxidez de Cl, Mn e Al no sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*). Curso de Pós-Graduação de Solos e Nutrição de Plantas, disciplina de Nutrição Mineral de Plantas, E. S.A."Luiz de Queiroz", Piracicaba, 12 p. (mimeografado).
- MALAVOLTA, E., 1979b. Testes rápidos em tecido vegetal. Curso de Pós-Graduação de Solos e Nutrição de Plantas. E. S.A."Luiz de Queiroz", Piracicaba, 11 p. (mimeografado).
- MALAVOLTA, E., 1979. Determinação da atividade da redutase de nitrato (RNO_3) na função do fornecimento de N-NO_3^- para o sorgo sacarino. Curso de Pós-Graduação de Solos e Nutrição Mineral de Plantas, E.S.A."Luiz de Queiroz", 6p. (mimeografado).
- MALAVOLTA, E. *et alii*, 1976. Estudos sobre a nutrição mineral do milho. II. Efeito de doses crescentes de N, P e K no crescimento, produção e composição mineral da variedade Piranão em condições controladas. *An. Esc. Sup. Agric.* "Luiz de Queiroz", 33:479-499.
- MALAVOLTA, E. & LOURENÇO, R.S., 1978. Estudos sobre a nutrição mineral do sorgo granífero. II. Nota sobre a amostragem para a diagnose foliar. In: Reunião Brasileira de Milho e Sorgo, XI. Piracicaba, Anais, Depto. Genética, E.S.A."Luiz de Queiroz", p. 701-705.
- MARQUES, H.L. & FERNANDES, G.B., 1979. Competição de cultivares de sorgo sacarino. EBAPA, Comunicado Técnico nº 002, Salvador, Bahia, 11 p.

- PRATT, P.F., 1966. Aluminum. In: CHAPMAN, H.D. Diagnostic criteria for plants and soils, California University, p. 3-12.
- RAUSCHKOLB, R.S.; BROWN, A.L.; SALISBERY, R.L.; QUICK, J.; PRATO, J.D.; PELTON, R.E.; KEGEL, F.R., 1976. Rapide tissue testing for nitrogen in corn and sorghum. In: Soil and Plant - Tissue Testing in California. Ed. H. M. Reisenauer publ. pela Division of Agricultural Sciences, University of California, Bol. 1879.
- SCHAFFERT, R.E. & TREVISAN, W.L., 1978. O programa de melhoramento do sorgo no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. In: Reunião Brasileira de Milho e Sorgo, XI., Piracicaba, 1976. Anais. Depto. Genética, E. S. A. "Luiz de Queiroz", p.603-609.
- SERRA, G.E., 1979. O sorgo sacarino como matéria prima para a produção de álcool etílico. In: I Simpósio Brasileiro de Sorgo, Brasília, Anais, EMBRAPA, p. 105-116.

Tabela 1 - Peso de matéria seca (g) das diferentes partes das plantas de sorgo sacarino, cultivadas em solução nutritiva (média de quatro repetições)

Tratamento	Matéria seca (g)				
	raiz	colmo + perfilhos	folhas	paní- cula	Total
Completo (3)	7,05	16,77	8,19	5,57	37,58
Menos N (2)	3,05	6,41	3,49	3,32	16,27
Menos P (2)	6,70	17,60	6,97	9,07	40,34
Menos K	6,21	9,96	6,72	5,45 (1)	28,34
Menos Ca	0,67	1,01	1,00	-	2,68
Menos Mg	2,95	4,15	5,95	-	13,05
Menos S	9,49	30,94	10,68	6,90	58,01
Menos B	7,22	18,24	9,20	-	34,66
Menos Cu	8,13 (1)	21,57 (1)	8,34	9,71	47,75
Menos Fe	1,29	2,06	3,53 (1)	-	6,88
Menos Mn	2,63	5,51	5,52	-	13,66
Menos Mo	5,42	8,55	4,65	4,35	22,97
Menos Zn	5,60	16,51	6,66	3,47	32,24
Menos Al	0,82	0,97	1,05	-	2,84
Mais Cl	2,39 (1)	3,52 (1)	4,37 (1)	-	10,28 (1)
Mais Mn	3,30	5,36	6,26	-	14,92
F	27,25*	13,53*	33,47*	31,39*	24,82*
d.m.s. (Tuckey 5%)	2,85	12,71	2,53	3,30	18,02
C.V. (%)	23,99	44,34	16,89	41,56	28,40

* - Significativo ao nível de 5%.

(1) - Média de três repetições

(2) - Plantas cultivadas em vasos com 2,5 l de solução nutritiva

(3) - Média das quatro repetições mais homogêneas.

Tabela 2 - Teores de macronutrientes na matéria seca das diferentes partes de plantas de sorgo sacarino, cultivadas em solução nutritiva (média de quatro repetições)

Tratamento	%					
	N	P	K	Ca	Mg	S
<u>Completo</u>						
Raiz	1,10	0,17	2,14	0,60	0,12	0,24
colmo + perf.	1,31	0,17	0,66	0,48	0,26	0,20
folhas	2,36	0,34	1,89	0,96	0,75	0,21
panícula	1,82	0,31	0,50	0,18	0,19	0,17
<u>Menos N</u>						
Raiz	1,34	-	-	-	-	-
colmo + perf.	0,90	-	-	-	-	-
folhas	1,87	-	-	-	-	-
panícula	1,21	-	-	-	-	-
<u>Menos P</u>						
Raiz	-	0,09	-	-	-	-
colmo + perf.	-	0,06	-	-	-	-
folhas	-	0,14	-	-	-	-
panícula	-	0,20	-	-	-	-
<u>Menos K</u>						
Raiz	-	-	0,72	2,07	0,16	-
colmo + perf.	-	-	0,67	0,99	0,56	-
folhas	-	-	0,73	1,71	0,85	-
panícula	-	-	0,27	0,12	0,21	-
<u>Menos Ca</u>						
Raiz	-	-	3,32	0,20	0,15	-
colmo + perf.	-	-	4,28	0,14	0,43	-
folhas inf.	-	-	1,78	0,40	0,80	-
folhas sup.	-	-	3,41	0,12	0,64	-
<u>Menos Mg</u>						
Raiz	-	-	3,75	0,78	0,02	-
colmo + perf.	-	-	2,77	0,38	0,02	-
folhas inf.	-	-	2,63	0,39	0,05	-
folhas sup.	-	-	3,22	0,31	0,06	-
<u>Menos S</u>						
Raiz	-	-	-	-	-	0,15
colmo + perf.	-	-	-	-	-	0,10
folhas	-	-	-	-	-	0,16
panícula	-	-	-	-	-	0,14

Tabela 3 - Teores de micronutrientes na matéria seca das diferentes partes de plantas de sorgo sacarino, cultivadas em solução nutritiva (média de quatro repetições)

Tratamento	ppm					
	B	Cu	Fe	Mn	Mo**	Zn
<u>Completo</u>						
Raiz	16	15	925	70	1,04	38
Colmo	8	10	137	22	0,25	18
Folhas	38	12	277	92	0,66	40
Panicula	11	10	82	28	0,27	25
<u>Menos B</u>						
Raiz	11	-	-	-	-	-
Colmo	19	-	-	-	-	-
Folhas inf.	32	-	-	-	-	-
Folhas sup.	15	-	-	-	-	-
<u>Menos Cu</u>						
Raiz*	-	15	-	-	-	-
Colmo + perf.*	-	6	-	-	-	-
Folhas	-	8	-	-	-	-
Panicula	-	8	-	-	-	-
<u>Menos Fe</u>						
Raiz	-	-	820	168	-	-
Colmo + perf.	-	-	50	84	-	-
Folhas inf.*	-	-	157	204	-	-
Folhas sup.*	-	-	162	79	-	-
<u>Menos Mn</u>						
Raiz	-	-	985	14	-	-
Colmo + perf.	-	-	272	11	-	-
Folhas inf.	-	-	339	4	-	-
Folhas sup.	-	-	144	11	-	-
<u>Menos Mo**</u>						
Raiz	-	-	-	-	0,08	-
Colmo + perf.	-	-	-	-	0,12	-
Folhas	-	-	-	-	0,54	-
Panicula	-	-	-	-	0,03	-
<u>Menos Zn</u>						
Raiz	-	-	-	-	-	28
Colmo + perf.	-	-	-	-	-	8
Folhas	-	-	-	-	-	16
Panicula	-	-	-	-	-	18

* - Média de três repetições

** - Média de duas repetições

Tabela 4 - Teores de elementos na matéria seca das diferentes partes das plantas de sorgo sacarino, cultivadas em solução nutritiva (média de quatro repetições)

Tratamento	%			ppm		
	P	Ca	Cl	Al	Mn	Fe
<u>Excesso Al</u>						
Raiz	1,38	0,13	-	2.000	-	-
Colmo + perf.	0,34	0,57	-	390	-	-
Folhas inf.	0,35	0,52	-	640	-	-
Folhas Sup.	0,29	0,38	-	1.220	-	-
<u>Excesso Cl*</u>						
Raiz	-	-	2,72	-	-	-
Colmo + perf.	-	-	8,18	-	-	-
Folhas inf.	-	-	3,85	-	-	-
Folhas sup.	-	-	2,37	-	-	-
<u>Excesso Mn</u>						
Raiz	-	-	-	-	14.800	1.662
Colmo + perf.	-	-	-	-	1.065	40
Folhas inf.	-	-	-	-	1.440	203
Folhas sup.	-	-	-	-	445	76

* - Média de três repetições.

Tabela 5 - Relações adequadas nas folhas de sorgo sacarino, no fim do ciclo*

Relação	Valor
N/P	6,94
N/S	11,20
Ca/K	0,48
Ca/Mg	1,28
Ca/K+Mg	0,36
K/Mg	2,52
Fe/Mn	3,00
Fe/Zn	7,00
Zn/Cu	3,33
P/Zn	85,00

* - Baseadas no tratamento completo.

Tabela 6 - Exigências minerais do sorgo sacarino

Parte da Planta	kg/ha						g/ha					
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Raiz	12,0	1,8	22,5	6,0	1,0	2,5	17,0	16,0	978,0	74,0	1,0	40,0
Colmo + perifilhos	33,0	1,8	42,0	12,0	6,5	5,0	20,0	25,0	345,0	55,0	0,5	45,0
Folhas	29,0	4,0	23,0	12,0	9,0	2,6	47,0	15,0	340,0	113,0	0,8	49,0
Panícula	15,0	2,6	4,0	1,5	1,6	1,5	6,0	5,0	41,0	14,0	0,1	12,0
Total	89,0	10,2	91,5	31,5	18,1	11,6	90,0	61,0	1704,0	256,0	2,4	146,0

Tabela 7 - Teores normais e deficientes dos macronutrientes nas folhas de sorgo sacarino (tentativa)

Elemento (%)	Normal	Deficiente
N	2,35-2,38	1,82-1,93
P	0,31-0,38	0,15-0,13
K	1,78-2,00	0,68-0,78
Ca	0,93-1,00	0,35-0,45* 0,13-0,11**
Mg	0,66-0,85	0,04-0,06* 0,06-0,06**
S	0,20-0,22	0,14-0,18

* - folhas inferiores

** - folhas superiores

Tabela 8 - Teores normais e deficientes dos micronutrientes nas folhas de sorgo sacarino (tentativa)

Elemento (ppm)	fol.inferiores	fol.superiores	folhas*
<u>Boro</u>			
Normal	-	-	24-53
Deficiente	28-35	11-19	-
<u>Cobre</u>			
Normal	-	-	11-14
Deficiente	-	-	8- 9
<u>Ferro</u>			
Normal	-	-	240-315
Deficiente	140-175	146-178	-
<u>Manganês</u>			
Normal	-	-	89-95
Deficiente	319-360	143-145	-
<u>Molibdênio</u>			
Normal	-	-	0,65-0,67
Deficiente	-	-	0,43-0,66
<u>Zinco</u>			
Normal	-	-	38-43
Deficiente	-	-	15-18

* - Mistura das folhas superiores e inferiores

Tabela 9 - Teores de nutrientes na matéria seca das folhas medianas de sorgo sacarino, utilizadas para a diagnose foliar (média de quatro repetições)

Tratamento	%					ppm	
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
Completo	6,61	0,60	3,05	0,67	0,60	224	115
Menos N	1,92	-	-	-	-	-	-
Menos P	-	0,19	-	-	-	-	-
Menos K	-	-	1,13	-	-	-	-

Tabela 10 - Peso de matéria seca (g) das diferentes partes das plantas de sorgo sacarino, na época da diagnose foliar (27 dias após o transplante) - média de quatro repetições

Tratamento	Matéria seca (g)				
	Raiz	colmo + perfilhos	folhas	folhas da diagnose ⁽¹⁾	Total
Completo	2,27	2,74	2,73	1,30	9,04
Menos N	1,59	1,83	0,99	0,87	5,28
Menos P	2,34	2,93	2,64	1,23	9,14
Menos K	1,91	2,37	2,07	1,32	7,67
K	3,47	7,23*	30,39*	3,79*	13,52*
d.m.s.- (Tuckey 5%)	-	0,75	0,61	0,46	2,05
C.V. (%)	18,53	14,50	13,74	18,43	12,55

* - Significativo ao nível de 5%

(1)- Folhas medianas (+3 e +4).

Tabela 11 - Atividade da redutase de nitrato em folhas medianas de sorgo sacarino aos 41 dias após o transplante (média de quatro repetições)

Tratamento	$\omega\text{N-NO}_2^-/\text{g mat. fresca}/\eta$
Completo	1,5
Menos N	9,8

Tabela 12 - Teores de N-NO_3^- , $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$ e K^+ em folhas medianas de sorgo sacarino aos 35 dias após o transplante, obtidos pela técnica de testes rápidos (média de 4 repetições)

Tratamento	ppm				%	
	N-NO_3^-	Interpretação	$\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$	Interpretação	K^+	Interpretação
Completo	>1000	alto	75	médio	1,0	alto
Menos N	< 30	baixo	50	médio	0,5	alto
Menos P	>1000	alto	15	baixo	0,5	alto
Menos K	600	alto	30	baixo	0,2	baixo

Tabela 13 - Análises tecnológicas do sorgo sacarino, variedade Brandes (média de quatro repetições)*

Características	Tratamentos			
	Completo	-N	-P	-K
Matéria fresca (g)	124	32	93	94
Peso caldo (g)	67	17	56	29
Brix (÷ sólidos)	10,5	10	12,6	11,2
Açúcares redutores Totais (÷ caldo)	6,15	5,97	9,6	6,36
Açúcares redutores (÷ caldo)	2,01	2,12	3,3	2,7
Sacarose (÷ caldo)	3,94	3,66	6,05	3,48

* - Análises realizadas por H.V.Amorim, Deptº. Química, ESALQ.

Tabela 14 - Rendimento em álcool etílico do sorgo sacarino (estimativa)

Características	Tratamentos			
	Completo	-N	-P	-K
kg caldo/t colmo	540	531	602	308
kg caldo/ha	18900	18585	21070	10780
kg açúcares/ha	1162	1109	2023	886
l álcool/t	19	18	33	11
l álcool/ha	672	642	1171	397