

SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE POTÁSSIO INDUZIDOS PELO ACÚMULO DE AMINOÁCIDOS E AMÔNIA EM CANA-DE-AÇÚCAR⁽¹⁾

J. A. G. da SILVEIRA⁽²⁾ & O. J. CROCOMO⁽³⁾

RESUMO

Com o objetivo de estabelecer relações entre o aparecimento dos sintomas de deficiência de K e o acúmulo de compostos nitrogenados livres em cana-de-açúcar (*Saccharum sp. L.*), realizou-se um experimento em casa de vegetação e solução nutritiva contendo uma concentração deficiente em potássio ($K^+ = 0,1$ mM) combinada com três de NO_3^- : ($N_1 = 1,0$; $N_2 = 9,0$ e $N_3 = 18,0$ mM), mais o tratamento controle N_2K_2 ($N_2 = 9,0$ e $K_2 = 6,0$ mM). As plantas foram colhidas aos 60, 120 e 180 dias após plantio. Os resultados indicam que a precocidade e a intensidade dos sintomas visuais de deficiência de K foram positivamente relacionados com concentração de nitrato, aminoácidos, aminas e amônia na fração solúvel. A atividade de redutase do nitrato e a concentração de proteínas não foram alteradas significativamente pela carência de K. As concentrações de glutamina, asparagina, ácido aspártico, ácido glutâmico, arginina, putrescina e amônia na fração não-proteica aumentaram grandemente. Os níveis de putrescina e amônia foram maiores nas raízes em relação às folhas. É provável que o acúmulo de compostos nitrogenados nas plantas deficientes em K seja provocado por um descompasso entre a taxa de assimilação de nitrato e a produção de fitomassa. Os sintomas de deficiência de potássio devem ser induzidos pelo aumento na relação N-solúvel/K.

Termos de indexação: cana-de-açúcar, crescimento, metabolismo de nitrogênio, deficiência de potássio.

SUMMARY: *POTASSIUM DEFICIENCY SYMPTOMS INDUCED BY AMINO ACIDS, PUTRESCINE AND AMMONIA ACCUMULATION IN SUGARCANE PLANTS*

This work was developed to determine the relationship between the appearance of visual K-deficiency symptoms and the accumulation of free nitrogen compounds in sugarcane plants. The experiment was carried out in greenhouse conditions and nutrient solution. Four treatments were applied: N_1K_1 , N_2K_1 , N_3K_1 and N_2K_2 (control), where N_1 , N_2 and N_3 were increasing levels of $-NO_3^-$ (1.0; 9.0 and 18.0 mM respectively) and $K_1 = 0.1$ mM (potassium deficient level) and $K_2 = 6.0$ mM (control). The results showed that precocity and severity of K-deficiency symptoms were positively related with nitrate, amino acid, amine and ammonia concentrations in the non-protein fraction. The nitrate concentration in the stalks increased positively with the nitrate levels in the nutrient solution, while nitrate reductase activity and protein concentra-

(1) Recebido para publicação em junho de 1988 e aprovado em outubro de 1989.

(2) Professor da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e CENA/USP Caixa Postal 9, 13400 Piracicaba (SP). Bolsista do CNPq.

(3) Professor da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP/CEBTEC, 13400 Piracicaba (SP).

tion did not decrease in K-deficient plants. The concentration of glutamine, asparagine, aspartic acid, glutamic acid, arginine, putrescine and ammonia greatly increased in these plants. The accumulation of nitrogenous compounds in K-deficient plants could have been induced by an unbalance between nitrate assimilation and growth rate in K-deficient plants. The primary cause of visual K-deficiency symptoms could be the increase in the N-soluble/K ratio.

Index terms: sugarcane growth, nitrogen metabolism, potassium deficiency.

INTRODUÇÃO

A carência de potássio provoca profundas alterações no metabolismo do nitrogênio, acarretando diminuição no crescimento das plantas. Apesar das controvérsias existentes na literatura, com relação aos prováveis mecanismos envolvidos, tem-se, como consequência final da deficiência de K, grandes acúmulos de aminoácidos, aminas e amônia nas formas livres (Hsiao et al. 1970; Evans & Wildes, 1971; Blevins, 1985). Há dúvidas se a diminuição na intensidade de síntese de proteínas é efeito ou causa para o acúmulo de tais substâncias.

Algumas evidências sugerem que os sintomas visuais de deficiência de K estão positivamente relacionados com aumentos na relação N/K (Dibb & Thompson Jr., 1985). Baixas concentrações de K provocam maiores reduções no crescimento quando são combinadas com níveis mais elevados de N (Murphy, 1980). Nessas condições, a concentração de nitrogênio total é aumentada, evidenciando que os processos de absorção, transporte e assimilação de N inorgânico não são as causas primárias para a redução no crescimento. A redução na intensidade fotossintética poderia ser responsável pela diminuição na taxa de crescimento e na síntese de proteínas (Hsiao et al., 1970).

É provável que aumentos na atividade de redutase de nitrato, induzidos por incrementos no fluxo de nitrato, em plantas carentes em potássio, possam acelerar o aparecimento dos sintomas de deficiência de K. O conhecimento de mecanismos e processos relacionados com o metabolismo de nitrogênio poderá contribuir na diagnose precoce de distúrbios nutricionais envolvendo relações N/K.

Este trabalho tem como objetivo estabelecer relações entre o aparecimento dos sintomas de deficiência de potássio e a acumulação de compostos nitrogenados, utilizando cana-de-açúcar (*Saccharum* sp. L.) como planta experimental.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal e condições de crescimento

Gemas isoladas de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp. L.) NA5679 foram tratadas conforme Silva (1976) e colocadas para germinar em bandejas contendo vermiculita umedecida com CaSO_4 0,1 mM. Após emergência, quinze dias após plantio (DAP), as plântulas foram transferidas para vasos contendo três litros de solução nutritiva de Johnson descrita em Epstein (1972). As soluções foram renovadas a cada quinze

dias. Aos 60 DAP, as plantas foram transferidas para vasos contendo dez litros de solução, renovadas a cada trinta dias. O experimento foi realizado em casa de vegetação, Piracicaba (SP), em março-setembro. As amplitudes de variação das médias das temperaturas mínimas, médias e máximas no período foram 8/12, 17/22 e 26/31°C respectivamente.

Tratamentos e delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento em blocos inteiramente casualizados, com quatro tratamentos principais (combinações N_1K_1 , N_2K_1 , N_3K_1 e N_2K_2 - controle), três subtratamentos (épocas 60, 120 e 180 DAP), três repetições, em esquema fatorial. N_1 , N_2 e N_3 correspondem a concentrações de NO_3^- de 1,0; 9,0 e 18,0 mM respectivamente. K_1 corresponde a um nível deficiente em potássio ($\text{K} = 0,1$ mM) e $\text{K}_2 = 6,0$ mM. A combinação N_2K_2 foi tomada como controle. As concentrações de Na^+ e Cl^- (Na/Cl) nos quatro tratamentos foram, respectivamente: 2,0/3,0; 4,0/0,1; 12,0/0,1 e 4,0/6,0 mM. Os demais nutrientes foram fornecidos aos quatro tratamentos em iguais concentrações, conforme Johnson (apud Epstein, 1972).

Determinações analíticas - As plantas foram colhidas aos 60, 120 e 180 DAP, separadas em raízes, colmos + bainhas e folhas e colocadas para secagem em liofilizador (Silveira & Crocomo, 1981). A atividade de redutase de nitrato foi medida através do método in vivo de Hageman & Hucklescy (1971). A concentração de NO_3^- foi mensurada pelo método de Gine et al. (1983) e as de NH_3 livre, N-amino solúvel e putrescina, conforme Weatherburn (1967), Kabat & Mayer (1967) e Crocomo & Rossi (1967) respectivamente. Os aminoácidos foram quantificados na fração "solúvel" (etanol 80%) e na "total" (após hidrólise com HCl 6N), através de auto-analisador Beckman (Ochoa-Alejo & Crocomo, 1982). As proteínas foram mensuradas no resíduo após extração com etanol pelo método de Lowry et al. (1952). A concentração de K foi medida por fotometria de chama (Silveira, 1985) e a sacarose, determinada pelo método de Somogy-Nelson após hidrólise ácida do extrato etanólico (Amorim & Zago, 1978). Detalhes dos procedimentos analíticos encontram-se em Silveira (1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sintomas de deficiência de potássio e acúmulo de compostos nitrogenados solúveis

As concentrações das formas de N-solúvel (N-NO_3^- , N-amino , N-NH_3 , aminoácidos e putrescina), nas par-

tes das plantas aos 180 DAP, aumentaram proporcionalmente às concentrações de nitrato da solução nutritiva, nas plantas deficientes em K (Quadros 1 e 2). Ao mesmo tempo, a precocidade e a severidade dos sintomas visuais de deficiência foram proporcionais aos níveis de N: o tratamento N₃K₁ apresentou sintomas mais severos nas raízes e folhas, iniciando aos 30 DAP, enquanto N₂K₁ apresentou sintomas mais evidentes aos 120 DAP. O N₁K₁ apresentou os primeiros sintomas somente aos 180 DAP.

As concentrações de amônia livre nas raízes das plantas deficientes em K aumentaram cerca de dez vezes entre 60 e 180 DAP (Figura 1). Os aminoácidos da fração "solúvel", arginina, ácido aspártico, ácido glutâmico, glutamina e asparagina, nas folhas, também foram maiores nas plantas carentes em K (Quadro 2). Esses resultados evidenciam que o aumento no nível de nitrato, combinado com baixa disponibilidade de K, induz o aparecimento de sintomas de deficiência de K. Ochoa-Alejo & Crocomo (1982), trabalhando com o mesmo cultivar de cana-de-açúcar, obtiveram composição de compostos nitrogenados semelhantes quando em presença de níveis tóxicos de amônio na solução.

Quando se compara a redução relativa do acúmulo de fitomassa nas folhas do tratamento N₂K₁ contra o controle (N₂K₂), observa-se um decréscimo de 25% (Quadro 1). Entretanto, a diferença entre as concentrações de algumas formas de N-solúvel (principalmente amônia e putrescina), nos dois tratamentos, evidencia a ocorrência de acumulação de tais substâncias nas plantas deficientes em K. Este desbalanço nutricional é mais evidente nas raízes, onde se observa maior acúmulo de substâncias nitrogenadas solúveis, associado com maiores reduções relativas nas concentrações de K: 0,23 contra 2,46% nos tratamentos N₂K₁ e N₂K₂ respectivamente (Quadro 1). As concentrações de K nas folhas, nos dois tratamentos, foram de 0,59 e 1,95% respectivamente.

A relação N-amino solúvel/K deverá estar diretamente relacionada com a intensidade de deficiência de

Quadro 1. Concentração de N-protéico (%), N-amino solúvel (%), putrescina, amônia livre e de nitrato ($\mu\text{mol.g}^{-1}$ M.S.) e atividade de redutase de nitrato ($\mu\text{mol NO}_2^-.\text{gMF}^{-1}.\text{h}^{-1}$), concentração de K (%), de sacarose (%) e matéria seca (g.planta^{-1}) em folhas, colmos e raízes de cana-de-açúcar aos 180 DAP, nos quatro tratamentos

Parâmetros	Tratamentos				
	N ₁ K ₁	N ₂ K ₁	N ₃ K ₁	N ₂ K ₂ (¹)	d.m.s.(²)
Folhas					
N-protéico	0,80	2,40	2,45	2,41	0,35
N-amino solúvel	0,21	0,36	0,41	0,25	0,02
Putrescina	0,25	2,07	2,09	0,10	0,12
N-NH ₃	7,01	6,16	7,34	3,40	0,52
Red. do nitrato	0,15	1,87	1,87	2,13	0,50
K	1,12	0,59	0,61	1,95	0,25
Sacarose	0,36	0,79	0,25	0,77	0,15
Matéria seca	7,81	20,10	16,98	26,54	2,80
Colmos					
N-protéico	0,68	1,10	1,16	0,95	0,15
N-amino solúvel	0,16	0,34	0,38	0,18	0,02
N-NO ₃ ⁻	0,19	9,14	14,73	8,55	2,55
N-NH ₃	9,63	19,22	32,93	4,54	1,80
K	1,40	0,62	0,64	3,86	0,20
Sacarose	1,51	4,76	3,26	7,26	1,53
Matéria seca	5,99	13,52	12,99	37,15	5,05
Raízes					
N-protéico	1,45	3,10	3,15	3,20	0,32
N-amino solúvel	0,12	0,50	0,75	0,30	0,05
N-NH ₃	47,52	79,20	110,88	15,84	10,35
Putrescina	2,75	9,10	10,50	0,42	1,18
K	0,27	0,23	0,27	2,46	0,11
Matéria seca	6,65	9,29	7,89	16,06	3,10

(¹) Controle. (²) d.m.s.: diferença mínima significativa entre médias pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Coeficiente de variação = 13 %

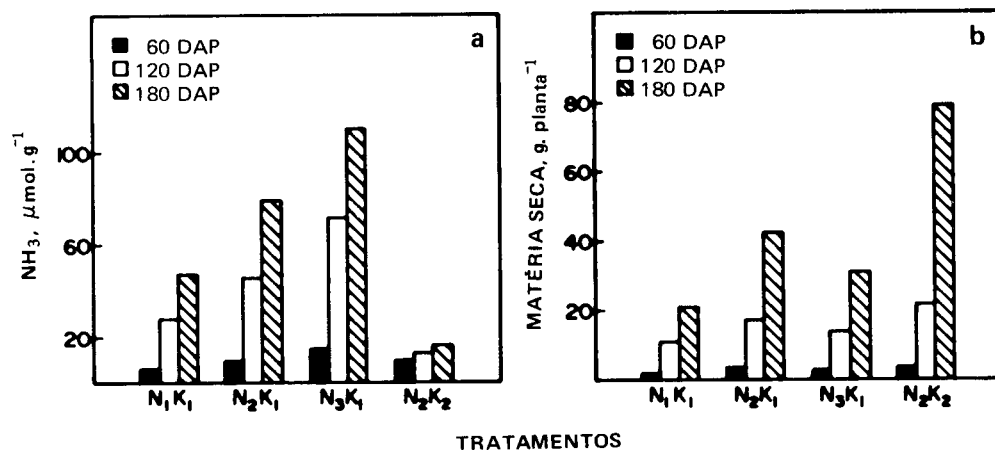


Figura 1. Concentração de NH₃ na matéria seca das raízes (a) e acúmulo de matéria seca (b) em plantas de cana-de-açúcar cv. 56-79, em três épocas de colheita, nos quatro tratamentos.

potássio. A maior redução relativa na concentração de K nas raízes, nas plantas carentes no elemento, pode estar relacionada com o envolvimento de K com o transporte de NO_3^- para a parte aérea: colmo para armazenamento e folhas para assimilação (Silveira & Crocomo, 1981).

Atividade de redutase de nitrato e concentração de proteínas

Os valores da atividade de redutase de nitrato (in vivo) nas folhas e concentração de N-protéico na três partes de cana-de-açúcar não apresentaram diferenças significativas entre as plantas deficientes apenas em K (tratamentos N_2K_1 e N_3K_1) e as do tratamento controle - através do teste de Tuckey a 5% (Quadro 1). As concentrações de vários aminoácidos da fração "total", principalmente arginina, ácido aspártico, ácido glutâmico, prolina e treonina, foram maiores nas plantas deficientes em K, sendo mais evidentes no tratamento N_3K_1 (Quadro 2). As plantas do tratamento N_1K_1 apresentaram valores muito baixos de concentrações de proteínas e atividade de redutase de nitrato devido à deficiência de nitrogênio.

As maiores concentrações dos aminoácidos nas frações "totais" e "solúveis" no tratamento N_3K_1 - Quadro 2 - sugerem que a deficiência de K afetou mais intensamente a fração de N-não protéico, estando de acordo com o observado em outros tipos de estresse (Beevers, 1976), inclusive o grande aumento na concentração de prolina: 57% no tratamento N_3K_1 em relação ao controle (Quadro 2). Hsiao et al. (1970) também observaram que a concentração de proteínas não foi diminuída pela deficiência de K, enquanto Zago (1978) verificou uma diminuição na intensidade de síntese protéica em condições de carência do elemento.

O aumento nas concentrações de NO_3^- no colmo, em resposta aos níveis crescentes de nitrato da solução - Quadro 1 - foi semelhante ao encontrado para plantas não deficientes em K (Silveira & Crocomo, 1981). A mesma resposta foi observada para atividade de redutase de nitrato nas folhas (Silveira, 1980). É provável que, nas condições de concentrações elevadas de nitrato e baixos níveis de K, possa ocorrer um desbalanço entre a taxa de assimilação de nitrato (Gutierrez, 1977) e a de crescimento da planta (Hsiao et al., 1970), provocando um acúmulo progressivo de aminoácidos, aminas e amônia na fração "solúvel".

A acumulação dos compostos nitrogenados solúveis nas plantas deficientes em K, principalmente no tratamento N_3K_1 , em função da idade, coincide com o agravamento dos sintomas de deficiência de K - Figura 2. A concentração de sacarose, nas folhas, aos 180 DAP, no tratamento N_3K_1 , foi de 0,25 contra 0,77% do tratamento controle - Quadro 1: houve, portanto, uma relação inversa entre as concentrações de sacarose e as de N-amino solúvel nesses dois tratamentos. O tratamento N_3K_1 apresentou uma redução na produção de fitomassa de 77, 64 e 47%, em relação ao tratamento controle, aos 60, 120 e 180 DAP respectivamente - Figura 1. A causa principal da diminuição no crescimento das plantas deficientes em K foi, provavelmente, de acordo com Huber (1985), a redução na taxa de fotossíntese.

Sintomas de deficiência de potássio e metabolismo de nitrogênio: um modelo qualitativo-conceitual.

Os dados analisados neste trabalho evidenciam que o acúmulo de aminoácidos, putrescina e amônia na

Quadro 2. Concentração de aminoácidos totais ⁽¹⁾ e da fração solúvel ($\mu\text{mol.g}^{-1}$ MS) em folhas de cana-de-açúcar aos 180 DAP, nos quatro tratamentos

Aminoácidos	Tratamentos			
	N_1K_1	N_2K_1	N_3K_1	N_2K_2 (controle)
Arginina	9,42 (6,20) ⁽²⁾	17,30 (6,35) ⁽²⁾	19,23 (7,32) ⁽²⁾	15,01 (2,02) ⁽²⁾
Lisina	18,28	31,03	33,24	32,40
Histidina	6,57	10,28	12,25	10,20
Ác. aspártico	50,28 (4,28) ⁽²⁾	94,56 (9,15) ⁽²⁾	103,97 (13,12) ⁽²⁾	90,40 (4,05) ⁽²⁾
Treonina	19,41	33,42	38,71	31,48
Serina	15,42	16,99	17,25	17,30
Ác. glutâmico	72,85 (6,30) ⁽²⁾	95,92 (11,05) ⁽²⁾	105,20 (15,03) ⁽²⁾	88,15 (5,04) ⁽²⁾
Prolina	26,28	49,71	55,35	35,12
Glicina	52,57	72,42	75,45	70,20
Alanina	45,14	69,71	72,85	71,35
Valina	39,42	52,99	56,57	51,23
Isoleucina	22,03	31,42	39,28	35,20
Leucina	41,71	60,43	74,04	76,35
Fenilalanina	20,21	28,13	36,37	32,24
Glutamina	... (6,21) ⁽²⁾	... (8,25) ⁽²⁾	... (9,50) ⁽²⁾	... (3,25) ⁽²⁾
Asparagina	... (10,03) ⁽²⁾	... (14,50) ⁽²⁾	... (14,80) ⁽²⁾	... (7,50) ⁽²⁾
NH_3 total	181,42	258,71	267,20	234,40

⁽¹⁾ Aminoácidos analisados após hidrólise da matéria seca em HCl 6N. ⁽²⁾ Fração extraída com etanol 80% a 85°C.

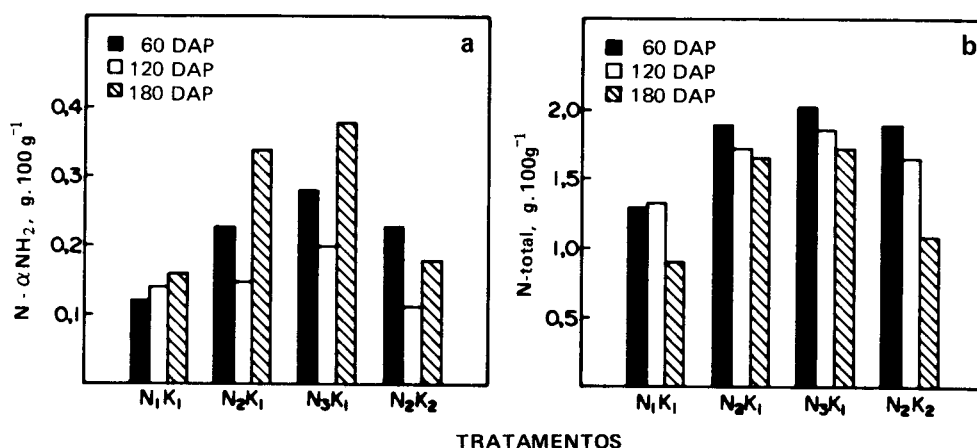


Figura 2. Concentração de N-alfa amino solúvel (a) e concentração de N-total (b) em matéria seca de folhas de cana-de-açúcar cv. NA 56-79, em três épocas de colheita, nos quatro tratamentos.

fração "solúvel" das plantas deficientes em K deve ser provocado por um descompasso entre a taxa de assimilação de nitrato e a taxa de fixação fotossintética de CO₂. A diminuição na síntese de proteínas não seria a causa primária para o acúmulo de tais compostos, conforme Evans & Wildes (1971), mas, sim, as reduções nas taxas de crescimento (Hsiao et al., 1970).

De maneira geral e simplificada, poderia ser imaginado um modelo dinâmico envolvendo os fluxos de nitrato da solução até as formas de aminoácidos e o de dióxido de carbono até sacarose ou fitomassa. A carência de K afetaria mais intensamente o fluxo de carbono, provocando acumulação de aminoácidos, aminas e amônia e diminuição nos níveis de sacarose, devido a sua utilização como esqueleto de carbono para assimilação de amônia. Tal sistema levaria a uma diminuição nas relações sacarose/N-solúvel e K/N-solúvel. Esse desbalanço nutricional afetaria processos chaves do crescimento como síntese de DNA, RNA e proteínas por efeito de poliaminas em concentrações elevadas (Zago, 1978).

A acumulação progressiva de arginina, glutamina e citrulina levaria à produção de putrescina e amônia (Crocomo & Basso, 1971; Smith, 1985). Esses compostos podem atuar como precursores de metabólitos secundários, os quais poderiam estar diretamente relacionados com os sintomas visuais de deficiência de potássio. O conhecimento dessas vias metabólicas poderia auxiliar na diagnose precoce da carência de K em plantas cultivadas, como preconizado por Bar-Akiva (1970).

CONCLUSÕES

1. Os sintomas visuais de deficiência de potássio em cana-de-açúcar são induzidos pelo acúmulo progressivo de compostos nitrogenados solúveis: aminoácidos, amidas, putrescina e amônia.

2. A precocidade e a intensidade dos sintomas de deficiência de K são proporcionais às relações N-solúvel/sacarose e N-solúvel/K nos tecidos das plantas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo (POTAFS) o apoio financeiro, e ao Prof. Dr. Luiz C. Basso, a determinação de putrescina em seus laboratórios.

LITERATURA CITADA

- AMORIM, V.H. & ZAGO, E.A. Análises para o controle da fermentação. Departamento de Química, ESALQ/USP. Piracicaba, SP. 1978. 26p. (mimeo)
- BARAKIVA, A. Chemical and biochemical measurements on plants as a mean controlling yield and plant performance. In: Congress International Potash Institute, 9., Berne, 1970. Proceedings. p.211-219.
- BEEVERS, L. Nitrogen metabolism in plants. In: ARNOLD, E., ed. London, John Wiley, 1976. 333p.
- BLEVINS, D.G. Role of potassium in protein metabolism in plants. In: MUNSON, R.D. ed. Potassium in agriculture. Madison, University of Wisconsin, 1985. p.413-424.
- CROCOMO, O.J. & BASSO, L.C. Accumulation of putrescine and relative aminoacids in potassium deficient in Sesamum. Phytochemistry, Oxford, 13:2659-2665, 1971.
- CROCOMO, O.J. & ROSSI, C. Determinação quantitativa de putrescina por cromatografia em papel de filtro. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 24:131-140, 1967.
- DIBB, D.W. & THOMPSON, JR., W.R. Interactions of potassium with other elements. In: MUNSON, R.D., ed. Potassium in agriculture. Madison, University of Wisconsin, 1985. p.515-533.
- EPSTEIN, E. Mineral nutrition of plant: principles and perspectives. London, John Wiley, 1972.
- EVANS, H.J. & WILDES, R.A. Potassium and its role in enzyme activation. In: COLLOQUIUM INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 8., Berne. 1971. Proceedings. p.244.
- GINE, M.F.; REIS, B.F.; ZAGATTO, E.A.G.; KRUG, F.J. & JACINTHO, A.O. A simple procedure for standard additions in flow injection analysis. Anal. Chem., Washington, 155:131-136, 1983.
- GUTIERREZ, L.E. Atividade de enzimas relacionadas com a assimilação do nitrogênio afetada pela deficiência de potássio e

- maturidade em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Química, 1977. 108p. Tese (Doutorado)
- HAGEMAN, R.H. & HUCKLESCY, D.P. Nitrate reductase from higher plants. In: *METHODS IN ENZYMOLOGY*. New York, Academic Press, 1971. v. 17A, p.491-503.
- HSIAO, T.C.; HAGEMAN, R.H. & TYNER, E.H. Effects of potassium nutrition on protein and total free aminoacids in Zea mays. *Crop Sci.*, Madison, 10:78-82, 1970.
- HUBER, S.C. Role of potassium in photosynthesis and respiration. In: MUNSON, R.D., ed. *Potassium in agriculture*. Madison, University of Wisconsin, 1985. p.379-396.
- KABAT, E.A. & MAYER, M.M. Ninhydrin method. In: THOMAS, C.C., ed. *Experimental Immunochemistry*. 2. ed. London, Spring Field, 1967. p.560-563.
- LOWRY, O.H.; ROSEBROUGH, N.I.; FARR, A.L. & RANDALL, R.J. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193:265-275, 1952.
- MURPHY, L.S. Potassium interactions with others elements. In: *POTASSIUM FOR AGRICULTURE*. Berne, Potash and Phosphate Institute, 1980. p.183-209.
- OCHOA-ALEJO, N. & CROCOMO, O.J. Biochemical and physiological aspects of sugarcane (*Saccharum* spp.). III. Influence of nitrate, ammonium and urea on the metabolism of nitrogen compounds. *Energia Nuclear na Agricultura*, Piracicaba, SP, 4:320, 1982.
- SILVA, W.M. Termoterapia em gemas isoladas assegura o controle do raquitismo. *COPERSUCAR*, São Paulo, 1:1013, 1976. (Boletim Técnico)
- SILVEIRA, J.A.G. da. Aspectos bioquímicos e fisiológicos da relação K/N em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) cultivada em solução nutritiva. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, 1980. 127p. Tese (Mestrado)
- SILVEIRA, J.A.G. da & CROCOMO, O.J. Biochemical and physiological aspects of sugarcane (*Saccharum* spp.). I. Effects of NO_3^- nitrogen concentration on the metabolism of sugars and nitrogen. *Energia Nuclear na Agricultura*, Piracicaba, 3:19-33, 1981.
- SILVEIRA, J.A.G. da. Interações entre assimilação de nitrogênio e crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) cultivada em condições de campo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP. 1985. 153p. Tese (Doutorado)
- SMITH, T.A. Polyamines in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, Palo Alto, 36:117-143, 1985.
- ZAGO, E.A. Acúmulo de putrescina e interrupção na síntese protéica em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) deficiente em potássio. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, 1978. 48p. Tese (Mestrado)
- WEATHERBURN, M.W. Phenol hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Anal. Chem.* Washington, 39:971-974, 1967.