

A GENÉTICA E A TECNOLOGIA A SERVIÇO DA ALIMENTAÇÃO E DA NUTRIÇÃO

Valdemiro C. SGARBIERI¹

1. INTRODUÇÃO

No presente artigo pretendemos apresentar alguns resultados de pesquisas que o Departamento de Genética e Evolução do Instituto de Biologia e o Departamento de Planejamento Alimentar e Nutrição, da Faculdade de Engenharia de Alimentos, ambos da UNICAMP, vêm realizando há vários anos.

Trata-se de pesquisa com os objetivos de obtenção e melhoramento genético de novos cultivares de milho de alta produtividade agrícola, de elevado valor nutritivo, particularmente protéico, e com características favoráveis para o consumo e a industrialização no estágio de milho verde. Paralelamente às pesquisas genéticas, feitas no Departamento de Genética e Evolução, pesquisadores da Faculdade de Engenharia de Alimentos vêm desenvolvendo estudos no sentido de conhecer a composição e as propriedades sensoriais e nutricionais da matéria-prima e de desenvolver métodos de processamento e produtos especiais a partir da polpa de milho verde, desidratada, para uso em alimentação humana.

O milho, objeto de nossa pesquisa, é uma cultura milenar utilizada na alimentação dos povos desde longa data. As civilizações Asteca, Maia e Inca reverenciavam essa gramínea na religião e na arte, e grande parte de suas atividades diárias encontravam-se ligadas diretamente à sua cultura. Era consumido torrado, moído, cozido, como pipoca, como canjica, nas formas de pão ou "tortillas", e utilizado na preparação de bebidas alcoólicas.

Os indígenas brasileiros, mesmo antes da chegada dos exploradores portugueses, já se utilizavam de determinados grupos de plantas para o seu sustento, figurando o milho e a mandioca como as mais importantes.

(1) Ph.D., Professor Titular, Departamento de Planejamento Alimentar e Nutrição, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP. Caixa Postal 6121, 13081 Campinas, SP.

O milho é um alimento energético de grande valor por conter elevada proporção de carboidratos, principalmente na forma de amido, e de 4 a 8% de lipídios, principalmente na forma de óleo. Quantitativamente, é considerado boa fonte de proteína, representando ao redor de 10% do peso dos grãos. Pode fornecer ainda quantidades importantes de minerais essenciais, principalmente fósforo, potássio e iodo. Possui baixa concentração de sódio, o que poderá concorrer para melhor balancear nossa alimentação, que normalmente é hipersódica. Quanto às vitaminas, constitui boa fonte de vitamina A (milho amarelo), além de tiamina (B₁), piridoxina (B₆) e de ácido pantotênico.

Neste artigo, discutiremos as proteínas, os carboidratos e os lipídios do milho e como a manipulação e a seleção genética poderão alterar a composição dos grãos com respeito a esses nutrientes.

O milho usado largamente na indústria e na alimentação animal é o chamado milho comum ou normal. Esse milho contém elevada proporção de amido e baixo conteúdo de açúcar e de óleo. Possui cerca de 10–12% de proteína, porém, de má qualidade nutritiva porque, na fração protéica, predomina uma proteína, zeína, que apresenta proporções muito baixas de dois aminoácidos essenciais, a lisina e o triptofano. Esses são os aminoácidos limitantes na proteína do milho comum. Este contribui basicamente com três produtos industrializados para a alimentação humana, a saber: óleo, amido e farinhas.

Outro tipo de milho bastante usado na alimentação humana é o chamado milho doce, pela sua textura macia e maior conteúdo de açúcares.

Os grãos de milho são formados de quatro partes ou tecidos diferentes, a saber: o **pericarpo**, que em base seca representa cerca de 2% do peso do grão; a **camada de aleurona**, que representa uma única camada de célula localizada imediatamente abaixo do pericarpo; o **embrião**, representando 8–10% do peso do grão e o **endosperma**, representando 80–85% do grão, em peso, cujas células ficam praticamente tomadas com os grãos de amido. As proteínas do grão estão distribuídas pelo embrião e pelo endosperma.

A planta do milho, que resulta do embrião, é formada de células diplóides com 20 cromossomos, sendo que 10 são provenientes do pólen e 10 do ovócito (célula reprodutora feminina). Portanto, o embrião é um tecido diplóide com 20 cromossomos no núcleo de suas células. Já o endosperma resulta de um núcleo triplóide, com 30 cromossomos, 20 da planta-mãe e 10 do pólen.

A GENÉTICA E A TECNOLOGIA...
V. C. SGARBIERI

Grande parte da herança genética que modifica a composição dos grãos de milho está associada com genes dos cromossomos das células do endosperma.

Uma grande descoberta em relação à herança genética das proteínas do milho foi reportada por MERTZ et al.(4), em 1964. Trata-se do gene recessivo "opaque-2" (o_2), que promove diminuição no conteúdo da zeína e ao mesmo tempo elevação proporcional de albuminas, globulinas e glutelinas nos grãos, resultando em elevação dos aminoácidos lisina e triptofano. A descoberta dessa mutação genética ocorrida ao acaso, desencadeou uma verdadeira corrida nas pesquisas sobre a natureza e o efeito desse gene, que ainda continua em muitos centros de pesquisa. Outros mutantes com efeitos similares foram, posteriormente, descobertos e estudados, a exemplo do "opaque-7" (o_7) e do "floury-2" (fl_2). Esses mutantes com conteúdos mais elevados de lisina e de triptofano oferecem proteínas de excelente valor nutritivo para o homem e para os animais monogástricos, em geral.

Vários tipos de genes foram também descobertos, todos associados com as células do endosperma, que modificam tanto a concentração de açúcar e de amido, como a composição do amido. Dentre esses destacam-se: os do tipo "sugary" (su), que provocam elevação no conteúdo de açúcares e de polissacarídeos solúveis (fitoglicogênios), elevação no conteúdo de óleo e decréscimo no conteúdo de amido do grão; os do tipo "shrunken" (sh), que provocam aumento considerável do conteúdo de açúcares às expensas do teor de amido do grão; o gene "waxy" (wx), que provoca a formação de um amido cem por cento amilopectina, o "amylose-extender" (ae) que pode provocar aumento da fração amilose até 50-80%. No milho comum, o amido é composto de amilopectina (73%) e amilose (23%).

2. PESQUISAS NA UNICAMP

Em 1975, SILVA & TEIXEIRA(10), do Departamento de Genética e Evolução da UNICAMP, reportaram sobre a obtenção de uma variedade de milho doce contendo os genes (su) e (o_2) no endosperma, portanto com genótipo duplo recessivo ($su o_2$). Essa variedade continha, em base seca, 40,4% de polissacarídeo solúvel (fitoglicogênio), 4,37% de lisina e 1,01% de triptofano na proteína, quando colhida 26 dias após a polinização, portanto como milho verde. As excelentes qualidades agrônô-

A GENÉTICA E A TECNOLOGIA...
V. C. SGARBIERI

micadas da nova variedade, bem como as primeiras indicações do seu elevado valor nutritivo, foram descritas em 1978, por SILVA et al. (11) e por ARRUDA et al. (1). O nome Nutrimaiz foi dado a essa variedade em virtude de seu elevado valor nutritivo. Ela foi obtida através de cruzamento entre uma variedade de milho doce cubano (Pajimaca) contendo o gene su no endosperma, e uma variedade (Maya) contendo o gene o_2 , resultando um duplo mutante com aproximadamente 87,5% de herança do Maya opaco-2 (o_2) e 12,5% de herança do milho doce cubano. Essa variedade sintética duplo mutante deu posteriormente origem a vários cultivares geneticamente melhorados, como ficará evidente no decorrer deste trabalho.

Estimulados pelos primeiros resultados obtidos, iniciamos, na Faculdade de Engenharia de Alimentos da Unicamp, estudos mais completos sobre a composição e o valor nutritivo dessa nova variedade.

Os resultados obtidos sobre a composição e o valor nutritivo das proteínas foram objeto de várias publicações: (SGARBIERI et al. (8,9); SCHÖNHAUS & SGARBIERI (7)).

Tabela 1. Proporções anatômicas e composição centesimal aproximada do Nutrimaiz e do milho comum aos 20 e 60 dias após a polinização (20 e 60 DAP)

Determinações	Nutrimaiz		Milho comum	
	20	60	20	60
Água	67,4	10,2	66,6	7,8
Partes dos grãos (%BS) ¹				
Endosperma	79,2	70,9	82,5	83,7
Germe	7,2	18,8	6,7	9,7
Pericarpo	13,6	10,6	10,8	6,6
Componentes (%BS) ¹				
Proteína (%N X 6,25)	12,0	11,0	12,0	10,3
NNP (%N X 6,25) ²	3,1	2,2	2,7	0,8
Lipídios totais	5,0	8,5	3,8	5,0
Cinza	1,8	1,6	1,8	1,5
Açúcares totais	8,9	5,5	5,5	3,3
Fibra crua	3,4	3,2	3,6	1,6
Polissacarídeo (Diferença)	68,9	70,2	73,3	78,3

Fonte: SGARBIERI et al. (8)

(1) BS = Base seca.

(2) NNP = Nitrogênio não-protéico.

Na tabela 1, são apresentados, comparativamente, os valores percentuais para umidade, para as várias partes anatômicas do grão e para

A GENÉTICA E A TECNOLOGIA..
V. C. SGARBIERI

as várias classes de nutrientes no Nutrimaiz e no milho normal. Vinte e sessenta dias após a polinização correspondem, respectivamente, aos estádios de milho verde (leitoso) e completamente maduro (seco).

O exame cuidadoso dos dados apresentados na tabela 1 evidencia algumas diferenças importantes entre o Nutrimaiz e o milho comum. O conteúdo de água é um pouco mais elevado no Nutrimaiz que no milho comum. Isso significa maturação mais lenta no Nutrimaiz, o que representa uma vantagem quando se tem como objetivo a utilização do milho como milho verde. O Nutrimaiz apresenta maior proporção de germe e de pericarpo e menor proporção de endosperma que o milho comum, refletindo o maior teor de óleo e o menor conteúdo de amido do Nutrimaiz, em relação ao milho comum. O conteúdo de proteína bruta não varia muito nos dois cultivares, porém, o conteúdo de nitrogênio não-protéico, devido principalmente aos aminoácidos livres, é mais elevado no Nutrimaiz, como o são também os teores de açúcares e de fibra: os açúcares, devido à presença do gene "sugary" (su) e a fibra, devido à maior proporção de pericarpo. Contudo, o conteúdo de carboidrato total é maior no milho comum devido ao seu maior conteúdo de amido.

A composição centesimal aproximada (Tabela 1) não reflete, portanto, grande diferença entre os dois cultivares.

Uma situação que melhor diferencia o Nutrimaiz do milho comum é verificada na tabela 2, em que as frações protéicas são quantificadas nos dois cultivares, em dois estádios de maturação, 20 e 60 dias após a polinização (20 e 60 DAP). Nota-se, no Nutrimaiz uma diminuição

Tabela 2. Diferentes frações protéicas nos grãos de Nutrimaiz e do milho comum aos 20 e 60 dias após a polinização (20 e 60 DAP)

Fração protéica (% do total) ¹	Nutrimaiz		Milho comum	
	20	60	20	60
Albuminas + globulinas	69,8	49,6	58,2	16,0
Zeína	5,1	6,0	16,4	40,0
Glutelina 1	4,1	4,4	4,5	13,2
Glutelina 2	5,6	6,1	5,2	9,2
Glutelina 3	9,4	29,8	5,2	14,0
Total extraído (%)	94,0	95,1	89,5	92,4

Fonte: SCHÖNHAUS & SGARBIERI (7).

(1) Método de LANDRY & MOUREAUX (3).

sensível no conteúdo de zeína e um aumento, também considerável, nas albuminas, glutelina 3, que são as proteínas de melhor composição de aminoácidos e de maior valor nutritivo. Ao contrário, no milho comum predominam as proteínas zeína e glutelina 1, que são as de menor valor nutritivo. Essa inversão nas frações protéicas do grão ocorre pela ação do gene "opaque-2" (o_2) que inibe a síntese de zeína ao mesmo tempo em que estimula maior produção das proteínas de melhor qualidade nutritiva.

O resultado dessa inversão nas frações protéicas, pela ação do gene o_2 , é uma composição em aminoácidos mais favorável para as proteínas de Nutrimaiz, principalmente no que diz respeito aos teores mais elevados de lisina e de triptofano (Tabela 3). Outra característica favorável para o Nutrimaiz é a relação leucina/isoleucina, que é mais baixa que o milho comum. No milho comum, o excesso de leucina em relação à isoleucina parece prejudicar a absorção e a utilização da isoleucina, que é um aminoácido essencial.

Tabela 3. Composição em aminoácidos do Nutrimaiz e do milho comum aos 20 e 60 dias após a polinização (20 e 60 DAP)

Aminoácido (g/16gN)	Nutrimaiz		Milho comum	
	20	60	20	60
Lisina	4,5	4,8	3,3	1,7
Histidina	3,1	3,2	2,4	2,5
Arginina	4,2	7,4	3,1	3,0
Ácido aspártico	10,9	9,5	7,8	6,1
Treonina	3,4	4,8	3,3	2,6
Serina	5,0	5,4	5,5	5,5
Ácido glutâmico	21,7	16,0	21,6	24,5
Prolina	6,4	8,6	7,4	9,6
Glicina	4,1	6,0	3,3	3,0
Alanina	10,2	7,0	8,6	7,9
1/2 Cistina	1,3	1,5	0,9	1,2
Valina	4,7	5,4	4,7	4,4
Metionina	1,6	1,4	1,2	1,5
Isoleucina	3,2	2,7	3,0	3,1
Leucina	8,6	8,8	13,0	14,9
Tirosina	2,6	3,1	2,7	3,3
Fenilalanina	3,8	3,6	3,3	4,4
Triptofano	0,9	0,8	0,5	0,4

Fonte: SGARBIERI et al. (8).

A GENÉTICA E A TECNOLOGIA...
V. C. SGARBIERI

A comprovação do valor protéico bem mais elevado do Nutrimaiz, comparado com o milho comum, é dada pelos resultados da tabela 4 e da figura 1. A tabela 4 mostra os valores de PER, a retenção de nitrogênio, a digestibilidade e o valor biológico aparentes para os dois cultivares, aos 20 e 60 dias após a polinização, utilizando-se ratos da linhagem Wistar, recém-desmamados, como animal experimental. Deve-se notar os valores bem mais elevados para o Nutrimaiz, nos dois estádios de maturação. É importante notar também que o Nutrimaiz conserva o seu valor protéico elevado, ao longo do período de maturação enquanto no milho comum os valores caem significativamente à medida que a maturação atinge seu término. A figura 1 mostra a grande diferença no grau e na velocidade de crescimento para ratos alimentados com dietas contendo milho comum (C) e Nutrimaiz (N) como única fonte de proteína, na mesma concentração. A curva (P) representa o crescimento dos ratos em dieta padrão de caseína. Pode-se verificar que o Nutrimaiz se assemelha à caseína quanto ao poder de promover crescimento, enquanto o milho comum é muito inferior.

As modificações verificadas nos carboidratos pela ação do gene "sugary" (su) introduzido no cultivar Nutrimaiz estão expressas na Tabela 5. Os dados analíticos indicam que o milho comum apresenta elevado teor de amido e baixos teores de fitoglicogênio e de açúcares; no Nutrimaiz, o teor de amido é menos da metade que no milho comum, apresentando, porém, teores bem mais elevados de fitoglicogênio e de açúcares. Os açúcares são representados, quase que exclusivamente, pela sacarose, glicose e frutose. O amido de Nutrimaiz apresentou teor mais elevado de amilopectina (componente ramificado do amido) e mais baixo de amilose (componente linear).

Tabela 4. Valor protéico do Nutrimaiz e do milho comum aos 20 e 60 dias após a polinização (20 e 60 DAP)

Parâmetros determinados	Nutrimaiz		Milho comum	
	20	60	20	60
PER	2,7	2,6	1,9	1,2
Retenção N(g)	2,0	1,9	1,6	1,1
Digestibilidade aparente (%)	80,6	79,5	74,4	73,8
Valor biológico aparente (%)	74,4	73,8	69,6	50,8

Fonte: SCHÖNHAUS & SGARBIERI (7).

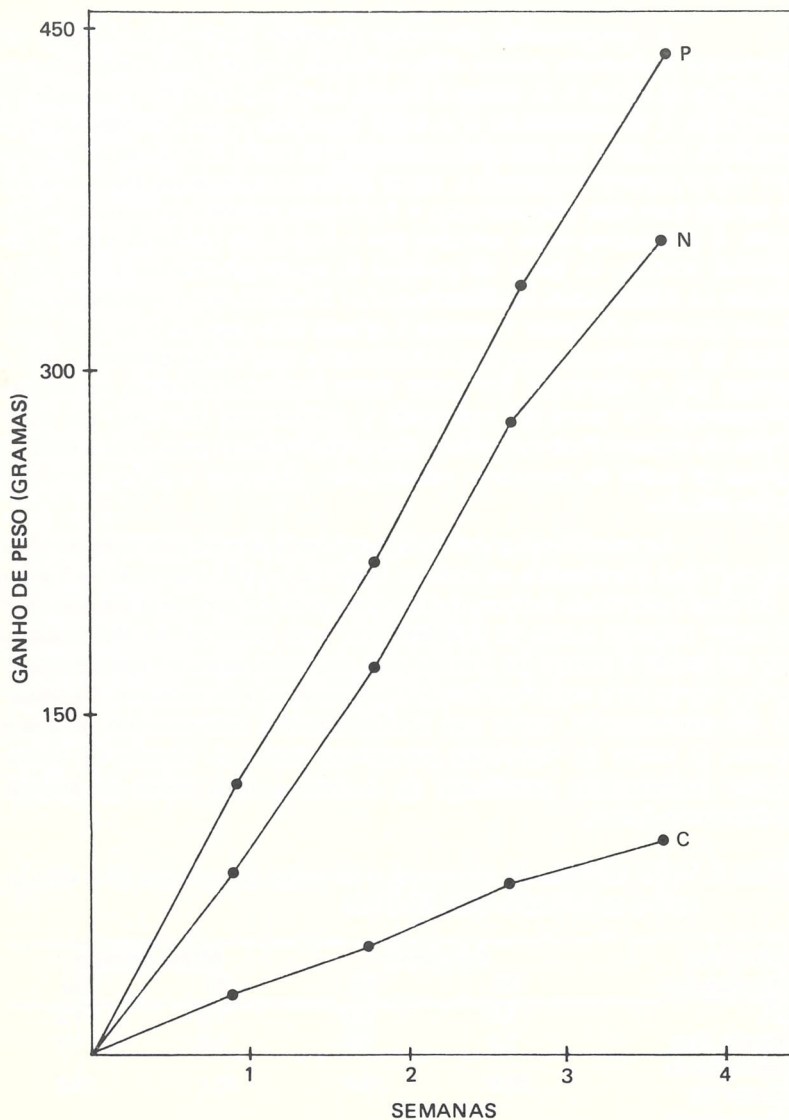


Figura 1. Curvas de crescimento de ratos da linhagem Wistar a partir de 21 dias de idade, em dietas contendo 9,5% de proteína proveniente de milho comum (C), Nutrimaiz (N) e caseína padrão (P).

A GENÉTICA E A TECNOLOGIA...
V. C. SGARBIERI

Tabela 5. Quantidades dos diferentes carboidratos encontrados nos grãos de Nutrimaiz e de milho comum colhidos aos 30 dias após a polinização (30 DAP)

Componente (%)	Cultivar (30 DAP)	
	Milho comum	Nutrimaiz
Amido	60,3	24,7
Amilopectina ¹	68,7	76,9
Amilose ¹	31,3	23,1
Fitoglicogênio	1,4	23,3
Açúcares totais	3,8	6,8
Açúcares redutores	1,6	2,3

Fonte: REYES et al. (5,6).

(1) Valores expressos como porcentagem do amido.

A composição da fração lipídica também foi estudada para os dois cultivares aos 20 e 60 dias após a polinização (20 e 60 DAP). Os valores expressos em lipídios neutros (óleo), fosfolipídios, glicolipídios e ácidos graxos para os lipídios totais são apresentados na tabela 6, segundo

Tabela 6. Composição da fração lipídica (lipídios totais) do milho comum e do Nutrimaiz colhidos aos 20 e 60 dias após a polinização (20 e 60 DAP)

Componente (%)	Milho comum		Nutrimaiz	
	20	60	20	60
Glicolipídios	5,2	2,5	3,7	1,7
Fosfolipídios	5,6	3,2	4,6	3,1
Lipídios neutros (óleo)	89,1	94,2	91,7	95,2
Ácidos graxos ¹				
Palmítico (C16:0)	16,5	13,4	14,9	13,7
Esteárico (C18:0)	1,3	2,8	1,7	2,4
Oléico (C18:1)	25,2	35,5	29,1	34,9
Linoléico (C18:2)	53,2	46,8	51,8	47,3
Linolênico (C18:3)	2,6	1,1	2,4	1,3

Fonte: CONTRERAS et al. (2); SGARBIERI et al. (8).

(1) Expressos em relação aos lipídios totais.

CONTRERAS et al. (2) e SGARBIERI et al. (8). Quanto aos lipídios, verifica-se que a diferença entre o milho comum e o Nutrimaiz é mais quantitativa do que qualitativa, principalmente em função da maior proporção de germe nos grãos do Nutrimaiz. Verifica-se, nos dois cultivares, que as porcentagens de glicolipídios e de fosfolipídios tendem a diminuir enquanto os lipídios neutros aumentam, com o grau de maturação. Em relação aos ácidos graxos saturados, enquanto o ácido palmítico diminui, o esteárico aumenta com a maturação. Dos ácidos graxos insaturados o mais representativo é o linoléico (ácido graxo essencial) seguido pelo oléico e pelo linolênico. As porcentagens de ácido oléico aumentam consideravelmente com a maturação dos grãos, enquanto as de linoléico e linolênico diminuem.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além da variedade Nutrimaiz, diversas outras variedades e híbridos com características genéticas modificadas e valor nutritivo melhorado foram produzidos em nosso programa de pesquisa, que continua em execução.

Paralelamente à pesquisa genética, muito trabalho já foi desenvolvido e vários estão em andamento no sentido de desenvolver tecnologias e produtos apropriados para o consumo humano, a partir da polpa de milho verde de alto valor nutritivo. Teria sido cansativo e inapropriado descrevê-los todos neste artigo.

As características de outros cultivares e de alguns dos produtos desenvolvidos na Unicamp poderão, mais convenientemente, ser descritos em artigos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARRUDA, P.; SILVA, W. J. da & TEIXEIRA, J. P. F. Protein and free amino acids in a high lysine maize double mutant. *Phytochemistry*, **17**: 1217, 1978.
2. CONTRERAS, G. E.; STRONG III, F. C. & SILVA, W. J. da. Fatty acid and vitamin E content of Nutrimaiz a sugary — opaque-2 corn cultivar. *J. Agric. Food Chem.*, **30**: 1113-7, 1982.

A GENÉTICA E A TECNOLOGIA...
V. C. SGARBIERI

3. LANDRY, J. & MOUREAUX, T. Hétérogénéité des glutélines du grain de maïs: extraction sélective et composition en acides aminés des trois fractions isolées. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, **52**: 1021, 1970.
4. MERTZ, E. T.; BATES, L. S. & NELSON, O. E. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. *Science*, **145**: 279-80, 1964.
5. REYES, F. G. R.; IGUTI, A. M. & SGARBIERI, V. C. Comparative study of maize cultivars 30 days after pollination (30 DAP); carbohydrate and protein. (Aceito para publicação em *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 1988)
6. _____ ; _____ & _____ Comparative study of maize cultivars 30 days after pollination (30 DAP): characterization of starch. (Aceito para publicação em *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 1988)
7. SCHÖNHAUS, I. & SGARBIERI, V. C. Inherited characteristics of composition and protein nutritive value of a new cultivar of maize (Nutrimaiz) in two stages of maturity. *J. Agric. Food Chem.*, **31**: 1-7, 1983.
8. SGARBIERI, V. C.; CONTRERAS, G. E.; AMAYA, F. J.; SILVA, W. J. da & REYES, F. G. R. Composição e valor nutritivo de quatro cultivares de milho (*Zea mays*) em dois estádios de maturação. *Ci. Tecn. Alim.*, **2**: 180-93, 1982.
9. _____ ; SILVA, W. J. da; ANTUNES, P. L. & AMAYA, F. J. Chemical composition and nutritional properties of a sugary-opaque-2 (suo₂) variety of maize (*Zea mays*, L.). *J. Agric. Food Chem.*, **25**: 1098-101, 1977.
10. SILVA, W. J. da & TEIXEIRA, J. P. F. Milho doce opaco, um tipo de alta qualidade nutritiva. *Ci. e Cult.*, Supl., São Paulo, **27**: 613, 1975.
11. _____ ; _____ ; ARRUDA, P. & LOVATO, M. B. Nutrimaiz, a tropical sweet maize cultivar of high nutritional value. *Maydica*, **23**: 129-36, 1978.