

ADUBAÇÃO PARA QUALIDADE NUTRICIONAL DOS ALIMENTOS

Cynthia Grant¹



O manejo adequado de nutrientes é fundamental para garantir melhor rendimento da cultura e rentabilidade para o produtor, além de reduzir o risco de danos ambientais. No entanto, o manejo de nutrientes também influencia a composição química das culturas e dos produtos alimentares elaborados a partir delas. O conteúdo e a estrutura das proteínas, as características do amido, a composição do óleo e dos ácidos graxos e a concentração de micronutrientes podem ser influenciados pelo fornecimento de nutrientes às culturas. Portanto, o manejo equilibrado de nutrientes desempenha papel importante na qualidade funcional e nutricional das culturas cultivadas.

A qualidade funcional é a habilidade da cultura em elaborar o produto final a ser utilizado. Por exemplo, em relação ao trigo para pão, a qualidade funcional se refere à capacidade de produzir a farinha que pode ser usada para fazer um pão macio e de boa qualidade. O trigo duro deve produzir um macarrão com boa cor e textura. O arroz deve ter uma textura desejável – qualidade que é variável entre os países. A cevada, sendo usada para malte, precisa apresentar um alto rendimento de cerveja sem turvamento (clara). A soja e a canola devem conter elevada proporção de óleo extraível, com equilíbrio adequado de ácidos graxos, enquanto a quantidade e a qualidade da farinha de proteína deixada após a extração também é importante.

A qualidade nutricional é a capacidade do alimento de atender às necessidades nutricionais da dieta humana. Os produtos vegetais são importantes fontes de carboidratos, proteínas, aminoácidos, minerais, vitaminas, ácidos graxos e de uma vasta gama de compostos neutracêuticos. Por outro lado, eles também podem conter contaminantes e compostos antinutricionais que causam efeitos danosos à saúde humana.

Quanto maior o aproveitamento de um produto vegetal na dieta humana, mais importante e necessário se torna melhorar a sua qualidade nutricional. Arroz, trigo e milho são componentes importantes da dieta humana em todo o mundo. O arroz serve

como alimento básico para mais da metade da população mundial, ao passo que o trigo fornece cerca de 20% das calorias na dieta em nível mundial. O milho é um alimento básico essencial na Ásia, África, América Latina e partes da ex-União Soviética, enquanto a soja é uma fonte importante de proteína em dietas vegetarianas. As batatas também servem como alimento básico essencial em grande parte da América do Sul e parte da Europa. Aprimorar a qualidade nutricional dessas culturas pode ter um forte impacto sobre a saúde humana.

O teor de proteína é fundamental para a qualidade funcional e nutricional das culturas e pode ser afetado de forma marcante pelo manejo dos nutrientes. A proteína é um componente essencial de todos os tecidos, enzimas e certos hormônios, portanto, é necessária para o crescimento, a reprodução e o restabelecimento celular e para todas as reações mediadas por enzimas. O conteúdo de proteína na dieta deve variar de 10 a 35%, sendo que os níveis mais baixos conduzem a deficiências nutricionais e os excessos contribuem para problemas renais. Uma oferta adequada de proteínas é imprescindível para o crescimento das crianças e para mulheres lactantes. Tanto a quantidade de proteínas como a sua composição são importantes na dieta. As proteínas no corpo humano são compostas por cerca de 20 aminoácidos diferentes, sendo que nove deles não podem ser elaborados pelo corpo. Estes nove aminoácidos são denominados de essenciais e devem estar presentes na dieta para prevenir deficiências nutricionais.

Nós, muitas vezes, pensamos principalmente na proteína oriunda de produtos de origem animal, porém, os produtos vegetais são fontes significativas de proteína para grande parte da população mundial. Nos países desenvolvidos, os cereais contribuem com cerca de 25% de proteína na dieta, enquanto nos países com baixo consumo de proteína animal a contribuição muitas vezes é maior. O arroz contribui com cerca de 29% de proteína nos países em desenvolvimento. A soja também é uma importante fonte de proteína, especialmente em dietas vegetarianas.

Abreviações: As = arsênio; Cd = cádmio; Fe = ferro; I = iodo; N = nitrogênio; S = enxofre; Se = selênio; Si = silício; P = fósforo; Zn = zinco.

¹ Pesquisadora do Agriculture and Agri-Food Canada, Brandon Research Centre, Brandon, Manitoba, Canadá; email: cynthia.grant@agr.gc.ca

Um problema a ser enfrentado em relação às proteínas vegetais na dieta humana é a garantia de um equilíbrio adequado de aminoácidos. As proteínas animais são fontes de proteínas completas pois contêm todos os nove aminoácidos essenciais em proporção adequada. Em contraste, a maior parte das fontes de proteína vegetal é deficiente em um ou mais dos aminoácidos essenciais (Tabela 1). Por exemplo, os cereais são geralmente pobres em lisina e treonina, mas contêm teores bastante elevados de cisteína e metionina – aminoácidos que contêm enxofre (S). O arroz tem maior teor de lisina, comparado a milho ou trigo, enquanto as batatas contêm alto teor de lisina, sendo a metionina o primeiro aminoácido limitante. A soja contém alto teor de proteína total, mas a metionina e a cisteína são limitantes. A qualidade total da proteína na dieta pode ser melhorada pela combinação de diferentes fontes de proteína vegetal para equilibrar o perfil dos aminoácidos. Por exemplo, a combinação de proteínas de cereais e de soja melhora o equilíbrio de aminoácidos na dieta.

Tabela 1. Concentração de proteína bruta e proporção de nove aminoácidos essenciais em soja, trigo, milho e arroz.

	Soja (farelo) ¹	Trigo ²	Milho ²	Arroz ²
	----- (g/100 g) -----			
Proteína bruta	44	14	9	7
Metionina	0,59	0,22	0,20	0,17
Cisteína	0,67	0,33	0,17	0,15
Lisina	2,70	0,35	0,27	0,26
Treonina	1,72	0,39	0,35	0,26
Triptofano	0,60	0,17	0,07	0,08
Arginina	3,29	0,60	0,47	0,59
Isoleucina	2,02	0,52	0,34	0,31
Leucina	3,39	0,95	1,16	0,59
Valina	2,11	0,62	0,48	0,44

Fonte: ¹Fontaine et al. (2000); ²USDA (2010).

A concentração de proteína será grandemente influenciada pela quantidade de nitrogênio (N) fornecida à cultura, visto que cerca de 17% da proteína é composta de N. A concentração de proteína no grão também será afetada pela capacidade da planta de transportar o N do tecido vegetativo para os grãos bem como pela produção de grãos, para os quais o N é distribuído. Este “efeito de diluição” é um conceito importante relacionado à concentração de proteína, bem como à concentração de muitos outros componentes de qualidade nas culturas.

Os cereais são compostos principalmente de amido (60%) e proteína (14%), além de minerais, óleos, água e outros componentes secundários. O principal produto de armazenamento dos cereais é o amido, que se concentra no endosperma. Deste modo, aumentos na produtividade da cultura ocorrem basicamente devido ao aumento da quantidade de amido (Figura 1). Com o aumento da quantidade de amido há “diluição” da concentração de proteína e de outros componentes presentes no gérmen, reduzindo as suas concentrações. A concentração final de proteína no grão, portanto, reflete o equilíbrio entre as quantidades de proteína e de carboidratos que a planta foi capaz de assimilar e passar para o grão. O aumento do potencial produtivo da cultura sem o aumento concomitante do suprimento de nitrogênio, pela melhora, por exemplo, das condições de crescimento ou utilização de cultivares com maior rendimento, muitas vezes reduz a concentração de proteína nos grãos.

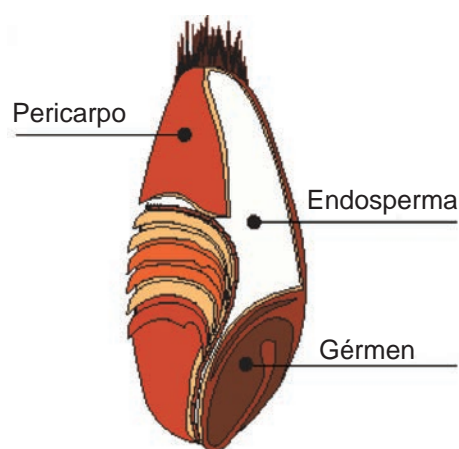


Figura 1. Estrutura geral de um grão de cereal. Os micronutrientes estão concentrados no pericarpo, o amido no endosperma e o óleo no gérmen. As proteínas estão presentes em todo o grão.

O aumento da disponibilidade de N permite que a planta produza mais proteína, neutralizando o efeito de diluição. Portanto, a adubação nitrogenada pode aumentar tanto o rendimento como o teor de proteína, permitindo o armazenamento de carboidratos e o aumento da quantidade de proteína para ser distribuída através do carboidrato armazenado (Figura 2). A época de aplicação do N também é importante. O N fornecido no início do crescimento tende a ser usado pela planta para o aumento do rendimento enquanto o N fornecido na fase mais tardia do crescimento tende a apresentar menor efeito sobre a produção, mas pode aumentar a concentração de proteína.

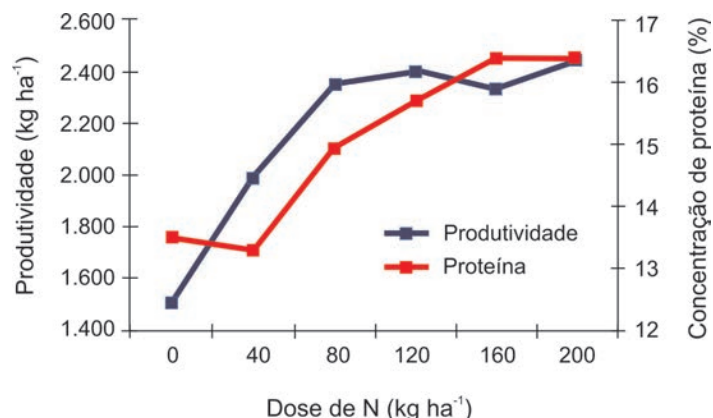


Figura 2. O aumento na oferta de nitrogênio pode aumentar a produtividade da cultura e a concentração de proteína.

A adubação também pode influenciar o equilíbrio dos aminoácidos na cultura. A adubação nitrogenada aumenta a quantidade de glúten no trigo e de zeína no milho, ambos com teores baixos do aminoácido limitante lisina. Portanto, os benefícios nutricionais advindos da adubação nitrogenada podem ser menores em relação ao aumento da concentração de proteína. Em contraste, observou-se que a adubação nitrogenada em arroz aumenta a concentração de glutelina, a qual é relativamente rica em lisina. Assim, a adubação nitrogenada em arroz tem um benefício proporcionalmente maior sobre a qualidade do que sobre a quantidade de proteína. Em batata, a concentração de proteína também aumenta com a aplicação de N, mas o valor biológico é menor, porque a proporção de asparagina aumenta enquanto a concentração dos aminoácidos essenciais diminui.

Não só o N tem efeito dominante sobre o teor de proteína nas culturas, como também o S tem influência importante. O S é constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina e estes são essenciais para a qualidade nutricional e funcional das culturas. Na panificação, os aminoácidos do glúten de trigo que contém S formam ligações cruzadas na massa, criando uma rede elástica e contínua que retém o CO₂ libertado durante o processo de fermentação, desencadeado pelas leveduras, permitindo, assim, o crescimento do pão (Figura 3).

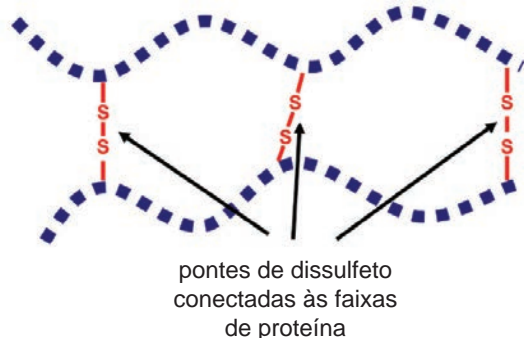


Figura 3. Os aminoácidos que contêm enxofre são importantes na panificação. As ligações de enxofre na massa ajudam a reter o CO₂ que faz o pão crescer.

A adubação com S pode aumentar a concentração de cisteína e de metionina, melhorando a qualidade da proteína na batata e na soja.

Os óleos saudáveis na dieta também se originam das plantas. A soja e a canola (colza) são consideradas as duas principais culturas anuais oleaginosas, sendo que o milho também pode ser usado para a produção de óleo. Os óleos e as gorduras são importantes na dieta como constituintes das membranas celulares, mitocôndrias e organelas intracelulares. Os ácidos graxos insaturados – ácido linoléico e ácido α -linolênico – são essenciais para a saúde. A falta de óleo na dieta também pode limitar a absorção de vitamina A e de carotenóides vegetais. Os óleos e as gorduras devem constituir cerca de 20 a 35% das calorias na dieta. O consumo é frequentemente baixo nos países em desenvolvimento, somente 8-10% de calorias dos alimentos, porém é mais do que desejável em grande parte dos países desenvolvidos. O excesso de ácidos graxos saturados na dieta pode aumentar o risco de doenças arteriais coronarianas. Em contraste, as gorduras monoinsaturadas e poliinsaturadas, especialmente os ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6, são associadas a melhores níveis de colesterol no sangue, melhora nos níveis de insulina, melhor controle de açúcar no sangue e redução do risco de doença cardíaca.

Assim como os conteúdos de carboidratos e de proteínas apresentam-se inversamente relacionados nos cereais, também as concentrações de óleo e de proteína estão inversamente relacionadas nas culturas oleaginosas (Figura 4). Portanto, os fertilizantes nitrogenados geralmente aumentam a concentração de proteína mas diminuem a concentração de óleo na planta. O potássio (K) e o fósforo (P) parecem ter pouco efeito sobre a concentração de óleo. Quanto ao S, há relatos de que ele aumenta a concentração de óleo em canola cultivada em solos deficientes no elemento. No entanto, há pouca informação disponível sobre o efeito do manejo de fertilizantes no perfil de ácidos graxos dos óleos vegetais. Alguns estudos mostram um aumento na concentração de ácido linoléico em canola com o uso da adubação nitrogenada, mas este é um tema que requer mais pesquisas.

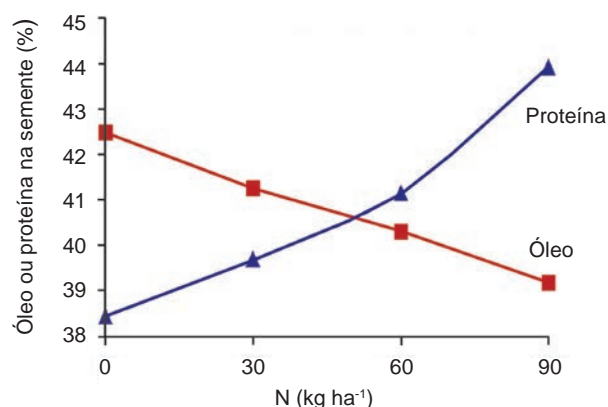


Figura 4. A adubação nitrogenada aumenta a concentração de proteína mas diminui a concentração de óleo em canola.

Os produtos vegetais também são importantes fontes de micronutrientes na dieta. As deficiências de micronutrientes são difundidas e crescentes. Estima-se que 40% da população mundial esteja deficiente em ferro (Fe), vitamina A e iodo (I), enquanto o selênio (Se) e o zinco (Zn) também são de interesse. As deficiências de micronutrientes podem levar ao aumento da mortalidade infantil, da sensibilidade à doença e da toxicidade de metais pesados, além de cegueira, anemia, defeitos no tubo neural e desempenho cognitivo reduzido.

A deficiência de Zn na dieta está intimamente relacionada aos baixos níveis do elemento no solo. Grãos integrais, cereais e leguminosas são importantes fontes de Zn na dieta, mas a concentração do elemento nessas culturas encontra-se em níveis muitas vezes menores do que os desejáveis. É também importante notar que a maior parte do Zn, assim como de outros micronutrientes, está concentrada na camada periférica dos grãos, que dá origem ao farelo dos cereais. Assim, os grãos integrais são fontes muito melhores de micronutrientes, comparadas ao arroz polido ou à farinha branca. A concentração de Zn nas culturas é fortemente afetada pelo manejo de fertilizantes. Ambos os esforços de manejo agrônomico – aplicação no solo e foliar – estão sendo utilizados para aumentar a concentração de Zn e de outros nutrientes essenciais nas culturas, visando o aumento do rendimento e a correção do seu teor em solos deficientes. Por outro lado, o fósforo pode diminuir a absorção e a translocação de Zn na planta, reduzindo a sua concentração. Além disso, o P é armazenado nas culturas de cereais como fitato e o aumento da adubação fosfatada pode aumentar a concentração deste composto na planta. O fitato reduz a absorção de Zn e de outros micronutrientes em monogástricos, incluindo os seres humanos. Portanto, a adubação fosfatada pode ter um duplo efeito negativo sobre o Zn na dieta, tanto pela redução da concentração de Zn nos cereais como na redução de sua biodisponibilidade.

O selênio (Se) é outro micronutriente que pode ser afetado pelo manejo de fertilizantes. O Se é um antioxidante importante e há evidências de que o aumento do elemento na dieta pode reduzir o risco de câncer e de doenças cardiovasculares. No entanto, o excesso de Se pode ser prejudicial; assim, o equilíbrio é importante. A concentração de Se pode ser aumentada muito facilmente pela aplicação de uma série de fertilizantes contendo o elemento. Na Finlândia e na Nova Zelândia adiciona-se selênio em fertilizantes para melhorar a produtividade da pecuária e a saúde humana. O Reino Unido também está pesquisando métodos de aumento da concentração de Se em plantas cultivadas localmente porque o Se na dieta média está abaixo dos níveis ideais.

Enquanto as deficiências de micronutrientes são generalizadas, os níveis em excesso de outros minerais também podem levar a problemas de saúde. O cádmio (Cd) e o arsênio (As) são de particular preocupação, principalmente em alimentos básicos como trigo, batata e arroz, que compõem uma parte importante da dieta. Altos níveis de Cd na dieta tem sido associados a problemas renais, doença de Itai-Itai e, possivelmente, a câncer, enquanto o As é um conhecido agente cancerígeno e também pode causar uma série de problemas neurológicos, de desenvolvimento, cardiovasculares, de pele e do sistema imunológico. O risco está associado ao consumo a longo prazo e está relacionado com a concentração na alimentação, multiplicada pela quantidade consumida, de modo que, se a quantidade consumida é baixa, o risco também é baixo.

A concentração de Cd é fortemente afetada pela genética das culturas, variando tanto entre espécies como entre cultivares dentro de uma espécie. Culturas como arroz, trigo, girassol, linho e soja tendem a acumular concentrações relativamente elevadas de Cd. O arroz é particularmente preocupante, porque é o principal alimento básico e o Cd se torna altamente biodisponível devido à sua baixa concentração de Zn e Fe. O Zn e o Fe restringem a absorção de Cd pelo intestino e os baixos níveis desses nutrientes na dieta podem aumentar a biodisponibilidade de Cd. Dietas de subsistência à base de arroz são muitas vezes mal diversificadas, com falta de carne, laticínios e produtos vegetais com nutrientes que podem reduzir a absorção de Cd. Em regiões contaminadas, o alto consumo de alimentos cultivados localmente aumenta o risco.

A concentração de Cd é diretamente afetada pelo manejo da adubação porque os fertilizantes fosfatados contêm Cd, cujo teor varia de traços a centenas de partes por milhão. O Cd pode se acumular no solo com aplicações de P a longo prazo, sendo que o seu acúmulo está relacionado à taxa de adubação, à concentração de Cd em fertilizantes e à frequência da aplicação de fertilizantes. As perdas de Cd do sistema tendem a ser pequenas e são, principalmente, pela exportação nas colheitas. A disponibilidade do Cd adicionado ao solo está relacionada com as características do solo, sendo maior em solos com baixo pH e com baixa capacidade de adsorção. A aplicação de um fertilizante nitrogenado também pode aumentar a disponibilidade de Cd para a planta, possivelmente pelos efeitos no potencial osmótico do solo ou pH do solo. Por outro lado, o Zn compete com o Cd por sítios de absorção e translocação na planta. Portanto, a aplicação de Zn pode ser uma prática eficiente para reduzir a acumulação de Cd nas culturas, principalmente em solos com baixo teor de Zn disponível.

O As encontra-se naturalmente presente no solo e se apresenta em níveis naturalmente elevados na Ásia. O arroz absorve o As inorgânico por meio do sistema de transporte de fosfato e Si. O As é comum em arroz porque as condições anaeróbicas nos solos aumentam a disponibilidade do elemento. O cultivo de arroz em condições aeróbicas, incluindo os canteiros, pode reduzir a absorção desse mineral. O maior

potencial redox encontrado nos canteiros causa a adsorção de As na superfície dos óxidos de ferro, reduzindo a sua disponibilidade. Além disso, o As no solo oxidado está na forma de arseniato e sua absorção é suprimida pelo fosfato, ao contrário do que ocorre com a forma de arsenito encontrada no solo inundado. No entanto, o fosfato também concorre com o arseniato e com o arsenito pela adsorção na superfície dos óxidos de ferro, aumentando a quantidade disponível para absorção. O status de fosfato na planta também pode afetar a secreção de fitosideróforos pelas plantas, a formação de placas e a retroregulação da absorção de arseniato pelos transportadores de fosfato. Portanto, em condições alagadas, a adubação fosfatada pode aumentar a absorção de As pelas plantas, embora mais estudos ainda sejam necessários para confirmar esse efeito. Há também algumas evidências de que a aplicação de Fe pode diminuir o acúmulo de As em arroz.

A aplicação de Fe pode aumentar a formação de placas de óxidos de ferro na superfície da raiz, aumentando a adsorção de arsenito e reduzindo sua disponibilidade. A adubação com S também pode reduzir o teor de As no arroz, possivelmente pelo aumento da formação de placas e pela adsorção de arsenito, levando a menor absorção e translocação do elemento da raiz para a parte aérea e desta para os grãos. O S também pode aumentar a formação de glutatona e a formação de complexos de fitoquelatina, sequestrando o As no vacúolo e, assim, diminuindo seu movimento para os grãos. O S também pode formar precipitados no solo com o As, reduzindo a sua disponibilidade.

A aplicação de Si tem se mostrado benéfica na redução da absorção de As pelo arroz. O arroz é um forte acumulador de Si e este, como fertilizante, pode ajudar na resistência ao estresse e aumentar a produção de arroz. O Si e o arsenito competem pelos transportadores na absorção e no efluxo e, desta forma, a adubação com Si diminui a absorção de As, reduzindo o acúmulo do elemento na parte aérea e, em menor medida, nos grãos. Há evidências de que o Si reduz a acumulação de As inorgânico em maior proporção do que a acumulação de As orgânico, de modo que o benefício para a saúde é ainda maior do que o efeito da concentração total de arsênio, uma vez que a forma inorgânica é mais prejudicial.

Em resumo, as culturas são importantes fontes de proteínas, óleos e micronutrientes para a dieta humana, mas podem também ser uma fonte significativa de elementos potencialmente nocivos. As práticas de manejo devem ser projetadas para aumentar as características benéficas das culturas e reduzir as prejudiciais. O manejo de nutrientes vai afetar tanto a qualidade funcional quanto a nutricional das culturas. O manejo do N, em particular, terá grande impacto no teor de proteína e na composição de aminoácidos. O manejo de nutrientes também pode afetar a concentração de óleo, com efeito menor sobre a composição de ácidos graxos. A concentração de micronutrientes benéficos, especialmente Zn e Se, pode ser aumentada pelo fornecimento de nutrientes. A concentração de elementos prejudiciais, como As e Cd, pode ser aumentada ou reduzida por meio de práticas de manejo de nutrientes. Portanto, o manejo adequado de nutrientes é uma ferramenta importante para aumentar tanto a quantidade como a qualidade do alimento que deve ser produzido para sustentar a crescente população mundial.

REFERÊNCIAS

FONTAINE J.; HERR, J.; SCHIRMER, B. Near-infrared reflectance Spectroscopy enables the fast and accurate prediction of the essential amino acid contents in soy, rapeseed meal, sunflower meal, peas, fishmeal, meat meal products, and poultry meal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 49, p. 57-66, 2000.

USDA-ARS. United States Department of Agriculture. **National Nutrient Database for Standard Reference, Release 23**. Disponível em: <<http://www.ars.usda.gov/nutrientdata>>. Acesso em: 20 jan. 2010.