

REVISÃO | REVIEW

## Marcador *in vitro* da resposta glicêmica dos alimentos como ferramenta de auxílio à prescrição e avaliação de dietas

### *In vitro indicator of the glycemic response to foods as a tool for diet prescriptions and evaluation*

Vanessa Dias CAPRILES<sup>1</sup>Andréa Carvalheiro GUERRA-MATIAS<sup>1</sup>José Alfredo Gomes ARÊAS<sup>1</sup>

#### RESUMO

As dietas de baixo índice glicêmico e baixa carga glicêmica têm sido associadas à redução do risco de doenças crônicas. Por esse motivo há um interesse crescente na sua aplicação para avaliação e orientação nutricional. No entanto, existem limitações quanto ao uso de dados publicados de índice glicêmico e carga glicêmica, pela variedade e formas de processamento dos alimentos vegetais existentes. Devido à dificuldade de realização de ensaios *in vivo*, uma vez que são custosos, trabalhosos, invasivos e necessitam de período considerável de experimentação, foram desenvolvidas metodologias *in vitro* que, a partir da velocidade de digestão dos carboidratos, permitem estimar o índice glicêmico dos alimentos de forma prática, simples e econômica. O presente trabalho apresenta o uso de um marcador *in vitro*, o índice de hidrólise, na estimativa do índice glicêmico e da carga glicêmica, o método mais empregado por pesquisadores brasileiros, visando à sua aplicação por profissionais da área de Nutrição. Os cálculos e as interpretações para estimativa do Índice glicêmico e da carga glicêmica são apresentados por meio de um exemplo prático com alguns alimentos brasileiros e com o grão de amaranto submetido a diferentes processamentos. Na ausência de dados referentes à resposta glicêmica do alimento de interesse, os valores do marcador *in vitro* podem ser utilizados para estimar o índice glicêmico e a carga glicêmica dos alimentos. Porém, este marcador não deve ser utilizado indiscriminadamente, uma vez que leva em consideração apenas os fatores intrínsecos aos alimentos que influenciam o aproveitamento dos carboidratos disponíveis.

**Termos de indexação:** Amido. Hidrólise. Índice glicêmico.

#### ABSTRACT

*Low glycemic index and low glycemic load diets have been associated with a reduced risk of certain chronic diseases. For this reason, there has been a growing interest in using these concepts' for nutritional assessment*

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Nutrição. Av. Dr. Arnaldo, 715, 01246-904, São Paulo, SP, Brasil. Correspondência para/Correspondence to: J.A.G. ARÊAS. E-mail: <jagareas@usp.br>.

and diet prescription. However, the usage of published glycemic index and glycemic load data is limited, because of the variety of types and preparations of plant-source foods. Since *in vivo* trials are difficult because of their cost labor-intense and time-consuming procedures, *in vitro* methods have been developed. These methods are based on the speed of digestion of the different carbohydrates, which allows the glycemic index of foods to be estimated in a practical, simple and cheap manner. This paper presents the use of an *in vitro* indicator, the hydrolysis index, to estimate the glycemic index and glycemic load. This method is the most commonly used glycemic load and index estimation method in Brazil and this paper aims to promote its use among dieticians. The calculations and interpretations to estimate glycemic load and index are presented by means of a practical example using some Brazilian staple foods and the amaranth grain processed in different ways. In the absence of data on the glycemic response of a particular food, the hydrolysis index can be used to estimate its glycemic index and load. However, the *in vitro* predictor cannot be used indiscriminately in substitution to glycemic index, since it takes into account only the intrinsic factors of foods that affect the glycemic response.

**Indexing terms:** Starch. Hydrolysis. Glycemic index.

## INTRODUÇÃO

A extensão e a duração do aumento da glicemia pós-prandial tem sido relacionada a doenças crônicas não transmissíveis<sup>1,2</sup>. Por esse motivo, existe um interesse crescente na investigação da resposta glicêmica dos alimentos e da dieta, e na utilização destes conceitos por profissionais da área de Nutrição.

A resposta glicêmica é dependente da velocidade de digestão e absorção dos carboidratos presentes nos alimentos, processos que envolvem fatores intrínsecos e extrínsecos, tais como: quantidade de carboidrato presente no alimento, natureza do amido (teores de amilose e amilopectina e de amido resistente), natureza dos monossacarídeos, grau de cozimento e de processamento do alimento, interação amido-nutriente, teor de lipídeos, proteínas e fibra alimentar, além dos efeitos fisiológicos e bioquímicos da mastigação, do esvaziamento gástrico e da absorção<sup>1,3,4</sup>. Para avaliar a resposta glicêmica produzida pelos alimentos foram sugeridos o Índice Glicêmico (IG) e a Carga Glicêmica (CG).

Devido à dificuldade de realização de ensaios *in vivo*, uma vez que são custosos, trabalhosos, invasivos e necessitam de período considerável de experimentação, foram desenvolvidas metodologias *in vitro* que, a partir da velocidade de digestão dos carboidratos, permitem estimar o índice glicêmico dos alimentos de forma prática, simples e econômica. O presente trabalho tem como obje-

tivo apresentar o uso de um marcador *in vitro*, o índice de hidrólise, na estimativa do índice glicêmico e da carga glicêmica, o método mais empregado por pesquisadores brasileiros, visando à sua aplicação por profissionais da área de Nutrição.

## Índice glicêmico e carga glicêmica

O índice glicêmico foi definido como o aumento da área sob a curva da resposta glicêmica produzida por um determinado alimento, em relação à mesma quantidade de carboidrato disponível de um produto padrão (pão branco ou glicose). Desse modo é possível classificar os alimentos em função do seu potencial em elevar a glicemia, em relação a um alimento controle<sup>3</sup>.

A determinação do IG de um alimento é baseada na curva de resposta glicêmica média de uma amostra de, no mínimo, seis indivíduos saudáveis, com o intuito de minimizar a influência da variabilidade individual. As medições de glicose no sangue são realizadas após jejum (10 a 12 horas) e consumo de 50g de carboidrato disponível do alimento a ser testado ou do produto padrão, utilizando-se sempre o mesmo acompanhamento líquido. Em estudos com indivíduos saudáveis a resposta glicêmica é avaliada durante 120 minutos, sendo a glicemia mensurada a cada 15 minutos. Entende-se por carboidrato disponível aquele com potencial para fornecer energia ao organismo (carboidratos totais menos a fração fibra)<sup>1,3,4</sup>.

O cálculo da área sob a curva glicêmica é realizado aplicando-se a regra trapezoidal, a qual considera apenas a área de incremento glicêmico acima do valor de glicose de jejum<sup>1</sup>. O cálculo do índice glicêmico é apresentado na Equação 1.

$$IG = \frac{(\text{área sob a curva do alimento teste})}{(\text{área sob a curva do produto padrão})} \times 100$$

Ao considerar a glicose como produto padrão, o IG pode ser classificado em baixo ( $\leq 55$ ), moderado (56-69) ou alto ( $\geq 70$ )<sup>5</sup>. Os alimentos de baixo índice glicêmico promovem lento aumento da glicemia pós-prandial sendo fontes de energia gradual ao organismo, enquanto os alimentos de alto IG promovem rápido aumento da glicemia sendo fonte imediata de energia<sup>1,5</sup>.

No início das pesquisas a glicose foi estabelecida como padrão, e, posteriormente o pão branco também foi adotado, uma vez que, por ser um alimento, promove uma resposta glicêmica mais fisiológica que a solução de glicose. Para algumas pessoas 50g de glicose produzem desconfortos, tais como náuseas e retardo do esvaziamento gástrico devido à alta osmolaridade, o que pode interferir nos resultados<sup>4</sup>. Com o intuito de comparar resultados obtidos com diferentes produtos padrão o índice glicêmico obtido por pão branco pode ser multiplicado por 0,7, obtendo-se uma estimativa do IG obtido por glicose<sup>6</sup>.

O índice glicêmico é criticado sob a justificativa de que apresenta pouca utilidade clínica, pois se trata de um parâmetro que avalia cada alimento individualmente. De acordo com esta visão, a diferença de resposta glicêmica promovida pelos alimentos é perdida quando estes são consumidos juntos. Nesse contexto, pesquisadores da *Harvard School of Public Health* propuseram outra ferramenta para categorizar o IG, de maior utilidade clínica: a carga glicêmica<sup>7</sup>.

A carga glicêmica é o resultado da multiplicação da quantidade de carboidratos disponíveis presentes na porção consumida do alimento pelo seu índice glicêmico<sup>7</sup>, como mostra a Equação 2.

$$CG = \frac{(\text{quantidade de carboidrato disponível na porção})}{100} \times IG$$

Ao considerar a glicose como produto padrão para a determinação do IG, a CG dos alimentos pode ser classificado em baixa ( $\leq 10$ ), moderada (11-19) ou alta ( $\geq 20$ )<sup>8</sup>. A partir da soma da CG individual dos alimentos, obtém-se a CG total da dieta.

## Índice glicêmico, carga glicêmica e doenças crônicas

Estudos epidemiológicos apontam as dietas de alto índice glicêmico ou carga glicêmica como um fator de risco para doenças crônicas não transmissíveis, como o diabetes tipo 2<sup>7,9,10</sup>, as doenças cardiovasculares<sup>10-12</sup> e alguns cânceres<sup>13-16</sup>.

Alimentos com alto IG promovem hiperglicemia e hiperinsulinemia. Uma maior demanda crônica de insulina pode resultar em exaustão das células  $\beta$  pancreáticas, e conseqüentemente, em resistência à insulina. Há evidências de que as dietas de alto IG podem aumentar a resistência à insulina, por seu efeito na glicemia, na concentração de ácidos graxos livres e na secreção de hormônios contra-regulatórios. Elevadas concentrações de glicose e insulina estão relacionadas à redução dos níveis de HDL-colesterol sérico (lipoproteínas de alta densidade), aumentam os níveis de proteínas glicosiladas e prejudicam a função endotelial, aumentando o risco de doenças cardiovasculares. A hiperinsulinemia parece estar envolvida na etiologia de vários cânceres, por aumentar a atividade de fatores de crescimento que estimulam a proliferação celular e inibem a apoptose<sup>2,17,18</sup>.

Alimentos com baixo índice glicêmico apresentam substratos de lenta digestão e não digeríveis, promovendo lenta e gradual resposta glicêmica. Assim, além de oferecerem substratos para a fermentação pela flora colônica, também promovem sensação de saciedade e plenitude gástrica; podendo contribuir para o controle de peso<sup>1,19</sup>. Dados de estudos epidemiológicos e clínicos indicam que a substituição de carboidratos com alto IG por baixo IG promove a evolução benéfica de diversos parâmetros metabólicos, visto que a liberação lenta de glicose no sangue favo-

rece a melhora do controle glicêmico por pacientes diabéticos, a diminuição dos níveis plasmáticos de triacilgliceróis e o aumento da sensação de saciedade<sup>2,5,17</sup>.

### Cinética de digestão do amido *in vitro* e resposta glicêmica

Devido à dificuldade da realização de ensaios de digestibilidade *in vivo*, uma vez que são de alto custo, trabalhosos, invasivos e necessitam de considerável período de experimentação, como alternativa para estimar a resposta glicêmica dos alimentos foram propostas metodologias *in vitro*. Neste trabalho discutem-se a avaliação da cinética de digestão do amido *in vitro* e o cálculo do índice de hidrólise propostos por Goñi *et al.*<sup>20</sup>, uma vez que é a metodologia mais empregada em pesquisas no Brasil.

O método baseia-se em hidrólise enzimática controlada, seguida da mensuração da glicose liberada ao longo do tempo (30, 60, 90, 120 e 180 minutos), sendo a taxa de digestão do amido expressa como a porcentagem do amido total hidrolisado ao longo do período. O índice de hidrólise representa a razão da área sob a curva de hidrólise de um alimento teste sob a área de um alimento controle (pão branco), conforme a Equação 3.

$$IH = \frac{(\text{área sob a curva de hidrólise do alimento teste})}{(\text{área sob a curva de hidrólise do alimento controle})} \times 100$$

Goñi *et al.*<sup>20</sup> tiveram como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia *in vitro* fortemente correlacionada à resposta glicêmica *in vivo*. Para tanto avaliaram a digestibilidade *in vitro* e o índice glicêmico de diferentes produtos adquiridos no varejo. Os valores de IG obtidos apresentaram boa correlação com os expressos na primeira publicação da Tabela Internacional de IG. Os pesquisadores destacaram que a cinética de digestão do amido é característica para cada produto, pois há variação de susceptibilidade à  $\alpha$ -amilase entre os alimentos<sup>20</sup>. Os resultados do estudo *in vitro* concordaram com os do estudo *in vivo*, mostrando a baixa digestibilidade do amido das leguminosas e a alta digestibilidade do amido dos cereais (Tabela 1).

Com base na correlação entre índice de hidrólise e índice glicêmico [IG=39,71 + 0549 (IH); r=0,89; p<0,05], os autores sugeriram que este método de hidrólise do amido *in vitro* pode estimar os valores de IG.

### Utilização do índice de hidrólise para estimar a resposta glicêmica

Em diversos trabalhos o IH foi utilizado para estimar o IG de alimentos submetidos a diferentes formas de processamento, como leguminosas

**Tabela 1.** Índice de Hidrólise (IH\*) e Índice Glicêmico (IG\*) obtidos por Goñi *et al.*<sup>20</sup> e Índice Glicêmico (IG) compilado da Tabela Internacional de Índice Glicêmico.

Alimentos	IH*		IG*		IG	
	M	DP	M	DP	M	DP
Pão branco	100		100		100	
Espaguete	82	2	68	17	78	7
Arroz	77	1	88	16	81	3
Biscoitos	37	1	87	12	79	9
Batata cozida	112	18	nd		101	2
Batata frita	51	12	81	7	74	4
Lentilha	22	6	38	7	42	6
Grão de bico	27	5	nd		47	9
Feijão	34	8	nd		60	6
Ervilha	76	7	nd		74	3

Fonte: Adaptado de Goñi *et al.*<sup>20</sup>

Resultados expressos em média (M) e desvio-padrão (DP); nd: não determinado.

indianas<sup>21</sup>, feijão mucuna<sup>22</sup>, feijão macassar verde e maduro, *in natura* e cozidos<sup>23</sup> e grãos de arroz, que diferiam quanto ao cultivar<sup>24</sup>, quanto ao teor de amilose<sup>25</sup>, quanto ao teor de fibra<sup>26</sup> e novos ingredientes, como o amido do caroço da manga<sup>27</sup>.

As Tabelas 2 e 3 apresentam resultados de estudos realizados com alimentos brasileiros. Os valores de índice de hidrólise foram utilizados na estimativa do índice glicêmico, de acordo com a equação estabelecida por Goñi *et al.*<sup>20</sup>. Os valores estimados para o IG, com pão branco como controle, foram multiplicados por 0,7 para a conversão em IG com glicose como controle. A carga glicêmica foi calculada a partir dos valores de IG e dos Carboidratos Disponíveis (CD) de cada alimento.

A Tabela 2 apresenta o efeito de um dos fatores intrínsecos aos alimentos, a forma de processamento, na digestibilidade do amido. O grão de amaranto brasileiro foi submetido aos processos de cocção, de explosão e de extrusão. Observa-se que este grão, tanto cru como processado, é um alimento de alta disponibilidade do amido, com valores de IH e IG estimados semelhantes ao do pão branco. Dados de estudos *in vivo* confirmam este resultado para o amaranto extrusado<sup>28</sup> e estourado<sup>6</sup>.

Entre os tratamentos, destaca-se a menor carga glicêmica do grão cozido, pelo fato de este processado apresentar maior teor de umidade (75%) em relação ao amaranto cru (9%), estoura-

**Tabela 2.** Valores de índice de hidrólise e de índice glicêmico e carga glicêmica estimados para o grão de amaranto cru e processado.

Alimentos	IH		IG <sup>1</sup>		IG <sup>2</sup>		CD (100g)		CG (100g)		CG (30g)	
	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP
Pão branco	100 <sup>ab</sup>		94,61 <sup>ab</sup>	0,00	66,23 <sup>ab</sup>	0,00	59,47 <sup>a</sup>	0,39	39,38 <sup>a</sup>	0,26	11,81 <sup>a</sup>	0,08
Grão cru	86,49 <sup>b</sup>	2,05	87,19 <sup>b</sup>	1,12	61,03 <sup>b</sup>	0,79	50,94 <sup>b</sup>	0,23	31,09	0,26	9,32 <sup>c</sup>	0,08
Grão estourado	112,11 <sup>a</sup>	3,55	101,26 <sup>a</sup>	1,95	70,88 <sup>a</sup>	1,36	59,35 <sup>a</sup>	3,59	42,04 <sup>a</sup>	1,73	12,61 <sup>a</sup>	0,52
Grão cozido	95,90 <sup>b</sup>	7,92	92,36 <sup>b</sup>	4,35	64,65 <sup>b</sup>	3,04	15,90 <sup>c</sup>	0,50	10,27 <sup>d</sup>	0,16	3,08 <sup>d</sup>	0,05
Grão extrusado	93,77 <sup>b</sup>	1,02	91,19 <sup>b</sup>	0,56	63,83 <sup>b</sup>	0,40	56,23 <sup>ab</sup>	0,48	35,89 <sup>b</sup>	0,08	10,77 <sup>b</sup>	0,03

M: média; DP: desvio-padrão de três determinações; IH: índice de hidrólise; IG: índice glicêmico; CD: carboidratos disponíveis; CG: carga glicêmica.

Mesmas letras na coluna indicam não haver diferença significativa ( $p < 0,05$  pelo teste de Tukey).

Valores obtidos pelas equações:  $IG^1 = 39,71 + 0,549(IH)$ ;  $IG^2 = IG^1 \times 0,7$ ;  $CG = IG^2 \times CD$ .

**Tabela 3.** Comparação dos valores de índice glicêmico e carga glicêmica estimados para alguns alimentos brasileiros com os dados compilados da Tabela Internacional de Índice Glicêmico e Carga Glicêmica<sup>6</sup>.

Alimentos	IH	Valores estimados				Tabela internacional de IG e CG <sup>6</sup>				
		IG <sup>1</sup>	IG <sup>2</sup>	CD	CG	IG (pão)	IG (glicose)	CD	CG	porção (g)
Pão branco	100	94,6	66,2	14,7	9,8	101	70	14	10	30
Arroz integral	73	79,8	55,8	25,1	14,0	79	55	33	18	150
Arroz polido	82	84,7	59,3	37,8	22,4	80	56	41	23	150
Milho verde	79	83,1	58,2	23,4	13,6	78	53	32	17	150
Polenta	106	97,9	68,5	15,4	10,5	-	-	-	-	150
Espaguete	90	89,1	62,4	46,2	28,8	87	61	44	27	180
Batata	103	96,3	67,4	15,2	10,2	-	-	-	-	150
Ervilha	63	74,3	52,0	9,6	4,9	68	48	7	3	80
Feijão carioca	64	74,8	52,4	9,1	4,8	-	-	-	-	150
Lentilha	65	75,4	52,8	15,3	8,1	74	52	17	9	150
Grão de bico	65	75,4	52,8	19,9	10,5	60	42	22	9	150

Fonte: Adaptado de Rosin *et al.*<sup>29</sup>

Valores obtidos pelas equações:  $IG^1 = 39,71 + 0,549(IH)$ ;  $IG^2 = IG^1 \times 0,7$ ;  $CG = IG^2 \times CD$

IH: índice de hidrólise; IG: índice glicêmico; CD: carboidratos disponíveis; CG: carga glicêmica.

do (1%) e extrusado (8%). Os processos de explosão e de extrusão ocasionam redução do teor de umidade do grão e gelatinização do amido, e por isso aumentam a CG em relação ao grão cru. De forma geral, observa-se que qualidade do amido do amaranto (IG) é alterada apenas pelo processo de explosão. Dessa forma o amaranto estourado ocasiona uma maior resposta glicêmica que o grão cru, cozido ou extrusado. A CG difere entre as amostras, devido às distintas quantidades de carboidratos disponíveis na porção.

Na nova versão da Tabela Internacional de índice glicêmico e carga glicêmica<sup>6</sup> são descritos os seguintes valores, média de seis estudos, para o pão branco IG<sup>1</sup>=101, IG<sup>2</sup>=70, para uma porção de 30g, CD=14 e CG=10; valores comparáveis aos dados estimados na Tabela 2.

A Tabela 3 apresenta dados de índice de hidrólise de alimentos brasileiros, determinados por Rosin *et al.*<sup>29</sup>. A partir destes dados foram estimados os valores de IG e CG; e os valores foram comparados aos dados da Tabela Internacional de IG e CG<sup>6</sup>. Para isso os valores de carboidratos disponíveis e carga glicêmica foram calculados para a mesma porção presente na referência consultada. Os valores compilados da Tabela Internacional de IG e CG<sup>6</sup> referem-se à média de alguns estudos para cada alimento; sendo 6 para o pão branco, 3 para o arroz integral, 10 para o arroz branco, 6 para o milho, 2 para o espaguete e 3 para a ervilha. Para a lentilha e o grão de bico foi encontrado apenas um estudo com a forma de processamento mais próxima da utilizada por Rosin *et al.*<sup>29</sup>. Não foram encontrados dados passíveis de comparação para a polenta, a batata e o feijão carioca, em função da forma de processamento.

De modo geral, os valores de IG e CG estimados para os cereais são mais próximos dos dados da Tabela Internacional<sup>6</sup>, que os valores estimados para as leguminosas. As diferenças entre os valores estimados e os observados se devem a múltiplos fatores, tais como a variedade dos alimentos e as condições de cultivo e preparo; bem como a diferenças de métodos utilizados para

a determinação de carboidratos disponíveis e de índice glicêmico dentre os diferentes grupos de pesquisa mundiais, cujos dados foram compilados para a organização da Tabela Internacional<sup>6</sup>. Ainda não existem dados de índice glicêmico e carga glicêmica de alimentos brasileiros para realizar tal comparação.

### **Utilização dos marcadores da resposta glicêmica para avaliação e planejamento dietético**

O uso dos valores de índice glicêmico e carga glicêmica para avaliação e planejamento de dietas apresenta uma série de limitações, dentre as quais a falta de dados referentes a alimentos brasileiros, e a escassez de dados publicados de IG e CG dos alimentos. Além do mais, diferentes métodos para a determinação do teor de carboidratos disponíveis e do IG são utilizados, podendo ser uma importante fonte de variação de resultados<sup>6,30</sup>.

Os dados da Tabela Internacional de IG e CG<sup>6</sup> podem ser utilizados para a avaliação e prescrição de dietas. No entanto, devido ao limitado número de dados, muitas vezes é difícil encontrar nesta Tabela resultados que possam ser relacionados ao alimento de interesse, por conta das diferentes variedades e condições de processamento. Como é o caso, por exemplo, do arroz e do feijão.

O ideal é utilizar dados de alimentos para os quais o índice glicêmico foi testado *in vivo*, mas como isso nem sempre é possível, pode-se considerar o IG por similaridade, tal como para alimentos de solo e cultivares diferentes. O IG ponderado foi sugerido para a estimativa da resposta glicêmica de uma preparação, refeição ou dieta. Para isso, multiplica-se o IG do ingrediente ou alimento pela proporção de carboidrato disponível que este representa na preparação, refeição ou dieta, e com a soma dos valores, é obtido o IG ponderado<sup>1</sup>. Juntamente com os dados da Tabela Internacional<sup>6</sup>, o cálculo do IG ponderado foi utilizado para a construção de parte

do banco de dados do programa para cálculo de dietas *Nutrition Data System for Research* (NDSR), da Universidade de Minnesota, EUA<sup>31</sup>, e também para construção de outros bancos de dados elaborados para avaliação do consumo alimentar utilizando um questionário de história alimentar<sup>32</sup> e recordatório de 24 horas<sup>33</sup>.

Salienta-se que o IG não considera a quantidade de alimento consumido, um importante determinante da resposta glicêmica. Por exemplo, a melancia apresenta um elevado IG=72; no entanto, esta apresenta apenas 6g de carboidratos disponíveis em uma porção de 120g e, dessa forma, promove um baixo impacto na resposta glicêmica (CG=4)<sup>6</sup>. Para o cálculo da CG pesquisadores e profissionais devem utilizar a porção apropriada do alimento de interesse e dados de carboidratos disponíveis indicados na Tabela Internacional<sup>6</sup>, ou no artigo consultado ou em tabelas nacionais que forneçam os dados do teor de carboidrato e fibras<sup>32</sup>.

Observa-se na Tabela Internacional de índice glicêmico e carga glicêmica<sup>6</sup> que, em geral, alimentos tradicionais como grãos integrais e legumes minimamente processados ocasionam menores respostas glicêmicas. Isto porque estes apresentam maiores quantidades de carboidratos lentamente digeríveis e não digeríveis, uma vez que o amido e os açúcares estão protegidos pelas estruturas botânicas, como a parede celular e outras barreiras que diminuem a velocidade de gelatinização, e de digestão e absorção destes carboidratos. Ao contrário, alimentos com alto grau de processamento, que foram submetidos à moagem, a elevadas pressões e temperaturas, apresentam destruição dessas barreiras e alto grau de gelatinização do amido e, conseqüentemente, uma maior resposta glicêmica. Dessa forma, o elevado consumo de alimentos processados irá resultar em uma dieta de elevado IG e CG.

Os marcadores *in vitro* da resposta glicêmica representam alternativas para a seleção dos alimentos com base em seu possível efeito *in vivo*. Uma vez que são fortemente relacionados com a resposta glicêmica, podem ser utilizados para

estimar o IG. Assim, se não houver dados referentes à resposta glicêmica do alimento de interesse, os valores de índice de hidrólise podem ser utilizados para estimar o índice glicêmico e a carga glicêmica a partir das equações e dos exemplos apresentados neste trabalho (Tabelas 2 e 3).

Os marcadores *in vitro* apresentam as vantagens de serem menos custosos e demorados e não serem invasivos e, por isso, permitem a obtenção mais rápida de informações a respeito da digestibilidade dos alimentos. Todavia, deve ser considerado o número limitado de alimentos estudados para os quais já foram observadas correlações entre o IH e o IG. Os alimentos analisados até o momento são cereais, tubérculos e leguminosas, e, desse modo, a estimativa do IG por este marcador não deve ser utilizada indiscriminadamente, pois ainda não se conhece a validade dessas associações para outros grupos alimentares, tais como as frutas. Mais estudos são necessários para validação dos métodos *in vitro*, especialmente para alimentos brasileiros, o que poderá viabilizar sua futura utilização em estudos epidemiológicos e na rotulagem de alimentos.

Os marcadores *in vitro* medem apenas propriedades ligadas aos fatores intrínsecos dos alimentos que afetam o IG. Ressalta-se que somente os ensaios *in vivo* para a determinação do IG podem refletir a parte metabólica das respostas do organismo humano.

Com as limitações e os cuidados discutidos neste trabalho a avaliação da digestibilidade dos carboidratos *in vitro* pode ser uma ferramenta para investigação científica. O nutricionista pode utilizar os valores de IH para estimar o IG e a CG dos alimentos para o planejamento dietético, e, desse modo, se utilizar das bases do conhecimento da diferente ação metabólica dos carboidratos, superando a tradicional informação da quantidade de carboidratos e fibras presentes nos alimentos, disponível atualmente em tabelas nacionais de composição de alimentos.

A dieta de baixo IG e CG vem sendo apontada como uma possível ferramenta para

prevenção e controle de doenças metabólicas. Cabe salientar que o IG deve ser utilizado como mais um critério, aliado a outros parâmetros nutricionais, de acordo com o objetivo dietoté-rápico. A escolha de alimentos com base apenas nos valores de IG e CG pode resultar em uma dieta desbalanceada com elevados teores de lipídeos, uma vez que estes retardam o esva-ziamento gástrico, tornando mais lento o processo absorptivo, ocasionando uma menor resposta glicêmica. Por isso, o IG e a CG (determinados ou estimados) podem ser utilizados para a substituição de alimentos ricos em carboidratos, com perfis nutricionais parecidos, que apresentem alto IG ou CG, por alimentos de baixo IG ou CG, de forma que a dieta de baixo IG ou CG seja rica em fibras e nutrientes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dieta de baixo índice glicêmico e carga glicêmica tem sido associada à redução do risco de doenças crônicas. Por esse motivo existe um interesse crescente na aplicação destes conceitos para avaliação e prescrição de dietas. No entanto, existem limitações quanto ao uso de dados publicados de IG e CG, pela variedade e pelas formas de processamento dos alimentos vegetais existentes. Assim, na ausência de dados referentes à resposta glicêmica do alimento de interesse, os valores do marcador *in vitro* IH podem ser utilizados para estimar o IG e a CG.

Devido à praticidade na obtenção de dados a partir dos ensaios *in vitro*, e à boa correlação do IH com a resposta glicêmica *in vivo*, acredita-se que rapidamente o número de trabalhos divulgando valores de IG estimados aumente. Dessa forma, os profissionais e estudantes das áreas de Alimentos e Nutrição devem estar preparados para selecionar, interpretar e utilizar estes dados. Com isso será possível um melhor conhecimento, mesmo que estimado, dos efeitos dos carboidratos dos alimentos para a saúde humana, fornecendo subsídios adicionais para uma prescrição dietética de melhor qualidade e mais segura, sobretudo para pacientes que necessitam controlar a glicemia em seu tratamento.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (03/10246-5) pela concessão de auxílio financeiro 03/102465) e pelas bolsas de estudos (04/14127-3 e 03/13793-7).

## COLABORADORES

V.D. CAPRILES realizou a parte experimental do trabalho, envolvendo análises de digestibilidade do amido *in vitro* do grão de amaranto cru e processado bem como participou da discussão, revisão e redação do trabalho final. A.C. GUERRA-MATIAS e J.A.G. ARÊAS supervisionaram todas as fases do trabalho.

## REFERÊNCIAS

1. World Health Organization. Carbohydrates in human nutrition. Report of a Toim FAO/WHO expert consultation, 66. Rome: WHO; 1998.
2. Livesey G, Taylor R, Hulshof T, Howlett J. Glycemic response and health-a systematic review and meta-analysis: relations between dietary glycemic properties and health outcomes. *Am J Clin Nutr.* 2008; 87(1):s258-s68.
3. Jenkins DJA, Wolever TMS, Taylor R, Baker HM, Fielder H, Baldwin JM, *et al.* Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrates exchange. *Am J Clin Nutr.* 1981; 34(3):362-6.
4. Wolever TMS, Jenkins DJA, Jenkins AL, Josse RG. The glycemic index: methodological and clinical implications. *Am J Clin Nutr.* 1991; 54:846-54.
5. Brand-Miller J, Foster-Powell K. Diets with a low glycemic index: from theory to practice. *Nutr Today.* 1999; 34(2):64-72.
6. Foster-Powell K, Holt SHA, Brand-Miller JC. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am J Clin Nutr.* 2002; 76(1): 5-56.
7. Salmeron J, Manson J, Stampfer M, Colditz G, Wing A, Willett W. Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent *diabetes mellitus* in women. *JAMA.* 1997; 277(6):472-7.
8. Harvard School of Public Health. The Nutrition source. Carbohydrates and glycemic load. [cited 2008 May 8]. Available from: <<http://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/what-should-you-eat/carbohydrates-and-the-glycemic-load/>>.
9. Schulze MB, Liu S, Rimm EB, Manson JE, Willett WC, Hu FB. Glycemic index, glycemic load, and dietary fiber intake and incidence of type 2 diabetes



- in younger and middle-aged women. *Am J Clin Nutr.* 2004; 80(2):348-56.
10. Barclay AW, Petocz P, McMillan-Price J, Flood VM, Prvan T, Mitchell P, *et al.* Glycemic index, glycemic load, and chronic disease risk-a metaanalysis of observational studies. *Am J Clin Nutr.* 2008; 87(3): 627-37.
  11. Liu S, Willett WC, Stampfer MJ, Hu FB, Franz M, Sampson L, *et al.* A prospective study of dietary glycemic load, carbohydrate intake, and risk of coronary heart disease in US women. *Am J Clin Nutr.* 2000; 71(6):1455-61.
  12. Oh K, Hu FB, Cho E, Rexrode KM, Stampfer MJ, Manson JE, *et al.* Carbohydrate intake, glycemic index, glycemic load, and dietary fiber in relation to risk of stroke in women. *Am J Epidemiol.* 2005; 161(2):161-9.
  13. Silvera SA, Jain M, Howe GR, Miller AB, Rohan TE. Dietary carbohydrates and breast cancer risk: a prospective study of the roles of overall glycemic index and glycemic load. *Int J Cancer.* 2005; 114(4):653-8.
  14. Michaud DS, Fuchs CS, Liu S, Willett WC, Colditz GA, Giovannucci E. Dietary glycemic load, carbohydrate, sugar, and colorectal cancer risk in men and women. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2005; 14(1):138-47.
  15. Larsson SC, Friberg E, Wolk A. Carbohydrate intake, glycemic index and glycemic load in relation to risk of endometrial cancer: a prospective study of Swedish women. *Int J Cancer.* 2007; 120(5): 1103-7.
  16. Silvera SA, Jain M, Howe GR, Miller AB, Rohan TE. Glycaemic index, glycaemic load and ovarian cancer risk: a prospective cohort study. *Public Health Nutr.* 2007; 10(10):1076-81.
  17. Brand-Miller JC. Glycemic load and chronic disease. *Nutr Rev.* 2003; 61(Suppl): s49-s55.
  18. Brand-Miller JC, Liu V, Petocz P, Baxter RC. The glycemic index of foods influences postprandial insulin-like growth factor-binding protein responses in lean young subjects. *Am J Clin Nutr.* 2005; 82(2):350-4.
  19. Ball SD, Keller KR, Moyer-Mileur LJ, Ding YW, Donaldson D, Jackson WD. Prolongation of satiety after low versus moderately high glycemic index meals in obese adolescents. *Pediatrics.* 2003; 111(3):488-94.
  20. Goñi I, Garcia Alonso A, Saura-Calixto F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutr Res.* 1997; 17(3):427-37.
  21. Bravo L, Siddhuraju P, Saura-Calixto F. Effect of various processing methods on the *in vitro* starch digestibility and resistant starch content of Indian pulses. *J Agric Food Chem.* 1998; 46(11):4667-74.
  22. Siddhuraju P, Becker K. Nutritional and antinutritional composition, *in vitro* amino acid availability, starch digestibility and predicted glycemic index of differentially processed mucuna beans (*Mucuna pruriens* var, *utilis*): an under-utilised legume. *Food Chem.* 2005; 91(2):275-86.
  23. Salgado SM, Livera AVS, Guerra NB, Scüller ARP, Araújo ALL. Resposta fisiológica *in vitro* do amido do feijão macassar (*Vigna unguiculata* L, Walp). *Braz J Food Technol.* 2006; 9(4):297-303.
  24. Frei M, Siddhuraju P, Becker K. Studies on the *in vitro* starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. *Food Chem.* 2003; 83(3):395-402.
  25. Hu P, Zhao H, Duan Z, Linlin Z, Wu D. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. *J Cereal Sci.* 2004; 40(3):231-7.
  26. Jaisut D, Prachayawarakorn S, Varayanond W, Tungtrakul P, Soponronnarit S. Effects of drying temperature and tempering time on starch digestibility of brown fragrant rice. *J Food Eng.* 2008; 86(2):251-8.
  27. Sandhu KS, Lim ST. Structural characteristics and *in vitro* digestibility of mango kernel starches (*Mangifera indica* L.). *Food Chem.* 2008; 107(1):92-7.
  28. Guerra-Matias AC, Arêas JAG. Glycemic and insulinemic responses in women consuming extruded amaranth (*Amaranthus cruentus* L). *Nutr Res.* 2005; 25(9):815-22.
  29. Rosin PM, Lajolo FM, Menezes EW. Measurement and characterization of dietary starches. *J Food Comp Anal.* 2002; 15(5):367-77.
  30. Wolever TMS, Brand-Miller JC, Abernethy J, Astrup A, Atkinson F, Axelsen M, *et al.* Measuring the glycemic index of foods: interlaboratory study. *Am J Clin Nutr.* 2008; 87(Suppl):s247-s57.
  31. Schakel S, Schauer R, Himes J, Harnack L, Heel NV. Development of a glycemic index database for dietary assessment. *J Food Comp Anal.* 2008; 21(Suppl 1):s50-s5.
  32. Flood A, Subar AF, Hull SG, Zimmerman TP, Jenkins DJA, Schatzkin A. Methodology for adding glycemic load values to the National Cancer Institute diet history questionnaire database. *J Am Diet Assoc.* 2006; 106(3):393-402.
  33. Olendzki BC, Ma Y, Culver AL, Ockene IS, Griffith JA, Hafner AR, *et al.* Methodology for adding glycemic index and glycemic load values to 24-hour dietary recall database. *Nutrition.* 2006; 22 (11/12):1087-95.

Recebido em: 6/8/2007

Versão final reapresentada em: 20/5/2008

Aprovado em: 16/7/2008