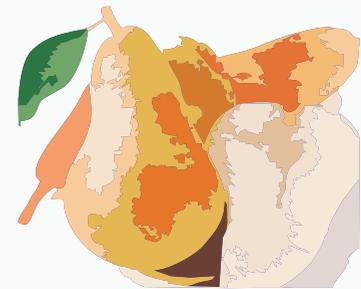
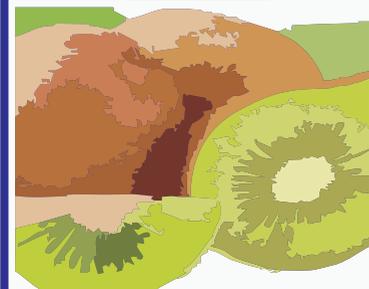
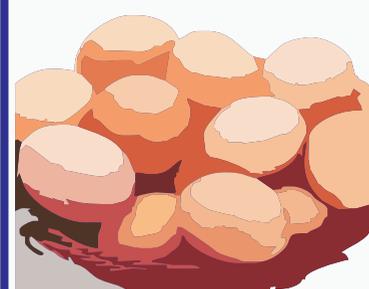


## Aspectos químicos e qualidade nutricional dos alimentos



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Agroindústria de Alimentos  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

# ***Documentos 109***

## **Aspectos químicos e qualidade nutricional dos alimentos**

João Oiano Neto

Embrapa Agroindústria de Alimentos  
Rio de Janeiro, RJ  
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Agroindústria de Alimentos**

Av. das Americas, 29501 - Guaratiba.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil - CEP 23020-470

Fone: (21) 3622-9600

Fax: (21) 3622-9713

<http://www.ctaa.embrapa.br>

[sac@ctaa.embrapa.br](mailto:sac@ctaa.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Virgínia Martins da Matta

Membros: Andre Luis do Nascimento Gomes, Daniela de Grandi Castro Freitas, Luciana Sampaio de Araújo, Marcos Jose de Oliveira Fonseca, Marília Penteado Stephan, Michele Belas Coutinho, Renata Galhardo Borguini, Renata Torrezan

Supervisão editorial: Virgínia Martins da Matta

Revisão de texto: Edson Watanabe

Normalização bibliográfica: Luciana Sampaio de Araújo

Tratamento de ilustrações: Marcos Moulin, Andre Luis do Nascimento Gomes e Roberto Ferraz de Paula Nunes Filho

Editoração eletrônica: Marcos Moulin, Andre Luis do Nascimento Gomes e Roberto Ferraz de Paula Nunes Filho

Ilustração da capa: Roberto Ferraz de Paula Nunes Filho

**1ª edição**

1ª impressão (ano): 50 exemplares

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Embrapa Agroindústria de Alimentos**

---

Oiano Neto, João.

Aspectos químicos e qualidade nutricional dos alimentos/João Oiano Neto. —

Rio de Janeiro : Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2010.

86 p. ; 21 cm. — (Documentos / Embrapa Agroindústria de Alimentos, ISSN 1516-8247 ; 109).

1. Alimento. 2. Análise química 3. Composição de alimento 4. Qualidade. I. Título. II. Série.

CDD 547.758 (21. ed.)

# **Autores**

## **João Oiano Neto**

Químico, D.Sc. em Química Orgânica, Pesquisador da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ, [oiano@ctaa.embrapa.br](mailto:oiano@ctaa.embrapa.br)



# Apresentação

Os alimentos são responsáveis por fornecer ao ser humano uma gama de nutrientes que são imprescindíveis ao bom funcionamento do organismo, garantindo, assim, que diversos processos fisiológicos ocorram de forma apropriada.

A presença desses nutrientes é um fator fundamental para a qualidade química e nutricional de um dado alimento, assim como dos produtos obtidos a partir do seu processamento.

No entanto, os aspectos microbiológicos e sensoriais também são de extrema relevância no que se refere à qualidade do alimento de forma geral.

Neste trabalho é apresentada uma revisão dos principais aspectos relativos à composição química e à qualidade nutricional dos alimentos, assim como as fontes para obtenção de uma série de nutrientes essenciais ao bom funcionamento do organismo, suas funções fisiológicas e o efeito do processamento e do armazenamento na estabilidade desses nutrientes.

É feita, ainda, uma breve abordagem sobre a importância nutricional de compostos considerados emergentes, como antocianinas, isoflavonas, flavonóides etc.

Em relação ao aspecto químico, são abordadas algumas classes de compostos considerados contaminantes como, por exemplo, micotoxinas, pesticidas e hidrocarbonetos poliaromáticos, suas fontes de entrada nos alimentos e seus efeitos sobre a saúde humana.

Com este documento espera-se contribuir para a Química e a Ciência de Alimentos, estabelecendo uma fonte de consulta que permita um melhor entendimento de diversos assuntos relativos ao estudo dos alimentos.

Regina Celi Araujo Lago  
Chefe Geral  
Embrapa Agroindústria de Alimentos



# Sumário

<b>Introdução</b> .....	09
<b>Minerais</b> .....	10
<b>Vitaminas</b> .....	14
Vitaminas hidrossolúveis .....	17
Vitamina C .....	17
Vitamina B1 .....	18
Vitamina B2 .....	20
Vitamina B6 .....	21
Niacina .....	22
Ácido fólico .....	25
Biotina .....	27
Ácido pantotênico .....	29
Vitaminas lipossolúveis .....	31
Vitamina A .....	31
Vitamina E .....	34
Vitamina D .....	38
Vitamina K .....	41
<b>Carboidratos</b> .....	43
<b>Lipídios</b> .....	48
<b>Aminoácidos</b> .....	53
<b>Aditivos</b> .....	57

<b>Alimentos funcionais</b> .....	<b>61</b>
Compostos emergentes .....	<b>62</b>
Flavonoides .....	<b>62</b>
Isoflavonas .....	<b>68</b>
Antocianinas .....	<b>70</b>
Carotenoides .....	<b>71</b>
<b>Contaminantes químicos</b> .....	<b>73</b>
Micotoxinas .....	<b>73</b>
Hidrocarbonetos poliaromáticos - HPAs .....	<b>76</b>
Pesticidas .....	<b>77</b>
<b>Conclusões</b> .....	<b>82</b>
<b>Referências</b> .....	<b>83</b>

# Aspectos químico e qualidade nutricional dos alimentos

---

| *João Oiano Neto*

## Introdução

A escolha de um alimento por parte da população está diretamente ligada à sua qualidade. O termo qualidade é difícil de ser definido de forma precisa; no entanto, este se refere ao grau de excelência do alimento e inclui todas as características que são significantes para a sua aceitabilidade (VACLAVIK; CHRISTIAN, 2008).

Alguns atributos do alimento, como a qualidade nutricional, podem ser medidos através de análises químicas. Entretanto, a aceitabilidade não é fácil de ser medida por se tratar de um aspecto subjetivo. Todos os dias, os consumidores fazem julgamentos de caráter subjetivo acerca das características de um dado alimento, usando um ou mais dos cinco sentidos (VACLAVIK; CHRISTIAN, 2008).

A qualidade do alimento deve ser monitorada regularmente para garantir que um produto uniforme seja produzido, atingindo todos os padrões de qualidade estabelecidos. Em relação aos alimentos, a qualidade é um atributo que tem como base aspectos objetivos e subjetivos. Aparência, textura e aroma são atributos estritamente subjetivos, ao passo que os atributos químicos e microbiológicos são de caráter objetivo. Os aspectos químicos e microbiológicos podem ser avaliados através de ensaios laboratoriais específicos (VACLAVIK; CHRISTIAN, 2008).

A avaliação da qualidade físico-química do alimento envolve o uso de instrumentos e a aplicação de diversas metodologias de análise química, independentemente das avaliações sensoriais feitas em um produto.

Testes físico-químicos são essenciais para avaliar a qualidade de um produto alimentício durante a produção industrial, assim como no desenvolvimento de novos nutrientes e produtos (VACLAVIK; CHRISTIAN, 2008).

Este trabalho tem por objetivo descrever alguns aspectos químicos importantes relativos aos principais componentes nutricionais encontrados nos alimentos, suas fontes de obtenção, efeitos do processamento e armazenamento sobre a estabilidade química desses compostos.

Além disso, serão abordados alguns aspectos relativos aos principais contaminantes atualmente encontrados nos alimentos, que são foco de diversas pesquisas sobre os efeitos prejudiciais desses no organismo, assim como o desenvolvimento de novas técnicas e metodologias de detecção.

## Minerais

A alimentação constitui a fonte de cerca de quarenta nutrientes para os seres humanos e, dentre os diferentes nutrientes essenciais à alimentação humana, podemos citar os carboidratos, lipídios, aminoácidos, sais minerais e vitaminas.

Noventa elementos químicos estão presentes na crosta da Terra, dos quais vinte e cinco são essenciais para os organismos vivos. Como a alimentação humana está baseada principalmente em fontes vegetais e animais, espera-se que esses elementos sejam obtidos através da dieta (FENNEMA, 1996).

O termo minerais refere-se a todos os elementos químicos que estão presentes nos alimentos, que sejam diferentes de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, os quais estão presentes nas moléculas orgânicas e na água, totalizando aproximadamente 99% dos átomos dos elementos químicos presentes nos organismos vivos (FENNEMA, 1996).

Como consequência, os minerais estão presentes nos alimentos em concentrações muito baixas e em diversas formas químicas; porém, exercem importantes papéis nos organismos vivos, além de alterar

drasticamente atributos como a cor, textura, aroma e estabilidade dos alimentos.

Dependendo da sua concentração, os minerais são classificados como majoritários e traços. Os minerais majoritários incluem o cálcio, fósforo, magnésio, sódio, potássio e cloro. Os minerais traços incluem o ferro, iodo, zinco, selênio, cromo, cobre, flúor, chumbo e estanho (FENNEMA, 1996).

Os sistemas biológicos são compostos basicamente de água; portanto, a disponibilidade e a reatividade dos minerais nestes sistemas dependem da sua solubilidade em água, influenciando diretamente a liberação e a metabolização desses compostos.

Isto exclui as formas elementares de muitos elementos químicos como, por exemplo, o ferro metálico. Nos alimentos, tais elementos estão presentes como espécies distintas (complexos, quelatos, ânions oxigenados) dependendo das propriedades químicas de cada elemento. Alguns minerais apresentam-se basicamente na forma de íons como, por exemplo, os íons  $\text{Na}^+$  (sódio),  $\text{K}^+$  (potássio),  $\text{Cl}^-$  (cloreto) e  $\text{F}^-$  (fluoreto) (FENNEMA, 1996).

Os minerais essenciais são aqueles cuja remoção da dieta resulta no mau funcionamento ou interrupção de determinados mecanismos fisiológicos. No ser humano, a ingestão necessária dos minerais essenciais pode variar de alguns poucos microgramas até valores superiores a um grama por dia (FENNEMA, 1996).

Para alguns minerais essenciais, o *Food and Nutrition Board* do Instituto de Medicina, órgão ligado à Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos, estabeleceu as chamadas *Recomendações de Ingestão Diárias* (TABELA 1).

Tais recomendações são definidas como “os níveis de ingestão necessários para alguns nutrientes a fim de suprir as necessidades nutricionais humanas para a manutenção da boa saúde” (FENNEMA, 1996).

Entretanto, a simples avaliação dos teores de dados minerais em um alimento não é um indicativo seguro e direto para qualificar um alimento como fonte de um dado nutriente. Isto, porque a quantidade do nutriente presente no alimento e que estará realmente disponível no organismo, para os mais diferentes processos metabólicos, vai depender diretamente da sua biodisponibilidade (FENNEMA, 1996).

**Tabela 1.** Recomendações de Ingestão Diária (*Recommended Dietary Allowances - RDAs*) estabelecidas pelo *Food and Nutrition Board U. S.* para alguns minerais essenciais.

CATEGORIA	IDADE	CÁLCIO	FÓSFORO	MAGNÉSIO	FERRO	ZINCO	IODO	SELÊNIO
	(anos)							
<b>CRIANÇAS</b>	1-3	800	800	80	10	10	70	20
	4-6	800	800	120	10	10	90	20
	7-10	800	800	170	10	10	120	30
<b>HOMENS</b>	11-14	1200	1200	270	12	15	150	40
	15-18	1200	1200	400	12	15	150	50
	19-24	1200	1200	350	10	15	150	70
	25-50	800	800	350	10	15	150	70
	51+	800	800	350	10	15	150	70
<b>MULHERES</b>	11-14	1200	1200	280	15	12	150	45
	15-18	1200	1200	300	15	12	150	50
	19-24	1200	1200	280	15	12	150	55
	25-50	800	800	280	15	12	150	55

#Valores expressos em miligramas (mg).

Fonte: Fennema (1996).

A biodisponibilidade é definida como a fração do nutriente presente no alimento que foi ingerido e que se torna disponível para ser utilizada nos processos metabólicos. No caso dos minerais, a biodisponibilidade é determinada, em primeira instância, pela eficiência de absorção dos minerais para a corrente sanguínea a partir do trato intestinal (FENNEMA, 1996).

No caso dos minerais, a biodisponibilidade será determinada basicamente pela eficiência da absorção desses elementos do trato intestinal para a

corrente sanguínea. A baixa biodisponibilidade, associada à baixa ingestão de um elemento, influencia diretamente na prevalência de alguns quadros de carência nutricional (FENNEMA, 1996).

Por razões diversas, quadros de deficiência nutricional são comuns para alguns nutrientes e raros para outros. Além disso, existem grandes variações nesses quadros de deficiência nutricional que dependem de fatores geográficos e socioeconômicos. Nos seres humanos, deficiências nutricionais têm sido relatadas para cálcio, cobalto (presente na vitamina B<sub>12</sub>), cromo, iodo, ferro, selênio e zinco (FENNEMA, 1996).

Cálcio, cromo, ferro e zinco ocorrem nos alimentos na forma ligada (complexos e quelatos) e sua biodisponibilidade dependerá diretamente da composição do alimento. O iodo é encontrado na forma iônica nos alimentos e na água, ao passo que o selênio apresenta-se na forma de complexo.

No entanto, ambos são altamente biodisponíveis, de forma que sua carência é devida a uma baixa ingestão. A carência de cromo no organismo está relacionada à baixa ingestão de vitamina B<sub>12</sub>, o que ocorre devido à utilização de dietas estritamente vegetarianas (FENNEMA, 1996).

Por outro lado, a carência de um dado elemento pode não estar associada à sua biodisponibilidade ou aos níveis de ingestão dos mesmos, mas sim à forma como esses elementos estão presentes nos vegetais. A concentração de um dado elemento no tecido vegetal é drasticamente afetada por fatores como fertilidade do solo, características genéticas do vegetal e condições climáticas encontradas durante o cultivo.

Os principais fatores responsáveis pela perda dos nutrientes dos alimentos estão relacionados à moagem dos cereais ou à forma de processamento. Por outro lado, muitos minerais apresentam alta solubilidade em água e, desta forma, o cozimento direto na água fervente contribui de maneira significativa para aumento das perdas (FENNEMA, 1996).

Em alguns casos de carência nutricional de alguns elementos, seja por baixa ingestão ou baixa biodisponibilidade, são utilizados programas de biofortificação de alimentos (por exemplo, com ferro e iodo), reduzindo de forma drástica os quadros de carência nutricional.

Como descrito, alguns minerais desempenham importantes papéis fisiológicos no organismo. O cálcio participa em processos de fosforilação oxidativa, coagulação do sangue, contração muscular, divisão celular, transmissão do impulso nervoso, no funcionamento de algumas enzimas e da membrana celular, na formação do tecido ósseo, assim como na secreção de hormônios (FENNEMA, 1996).

O leite contém uma mistura complexa de minerais como cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloro, enxofre (sulfato) e fósforo (fosfato). No leite, o cálcio está distribuído no soro e nas micelas de caseína, sendo que o soro possui 30% do cálcio presente e o restante encontra-se nas micelas de caseína (FENNEMA, 1996).

Os fosfatos (fonte de fósforo) estão presentes nos alimentos sob diferentes formas e participam de diversos processos biológicos como: síntese do ATP (adenosina trifosfato - fonte de energia das células), síntese de fosfoproteínas como as ferritinas (responsáveis pelo armazenamento do ferro no organismo), síntese dos fosfolipídios (constituintes majoritários das membranas celulares), síntese da hidroxiapatita (mineral presente nos ossos) (FENNEMA, 1996).

O ferro é o quarto elemento mais abundante na Terra e nos sistemas biológicos está presente, quase exclusivamente, na forma de quelatos com proteínas. Participa de uma série de processos cruciais para a manutenção da vida como: transporte e armazenamento de oxigênio (hemoglobina e mioglobina), síntese do ATP, síntese do DNA e síntese da clorofila. Entretanto, o ferro na forma livre é tóxico aos organismos vivos, pois participa de processos que levam à oxidação dos lipídios e do DNA, causando assim severos danos celulares (FENNEMA, 1996).

## Vitaminas

As vitaminas são compostos orgânicos que, no organismo humano, atuam como controladores dos mecanismos de crescimento e de manutenção da saúde. As vitaminas não são sintetizadas no organismo humano e devem ser obtidas em quantidades adequadas através da dieta. No entanto, em muitos alimentos as vitaminas estão presentes em pequenas quantidades, atingindo concentrações da ordem de pouco microgramas por 100 gramas (BRUNTON et al., 2008; MACRAE, 1988; PAIXÃO; STAMFORD, 2004).

As necessidades nutricionais de vitaminas aumentam durante os períodos de crescimento, gestação, lactação e durante a ocorrência de algumas doenças notadamente infecciosas. A relação estreita entre dieta e saúde fez com que os consumidores se tornassem mais preocupados com o fato de ingerir alimentos mais nutritivos e de alta qualidade, como os alimentos fortificados ou enriquecidos (PAIXÃO; STAMFORD, 2004).

A importância de analisar as vitaminas cresce gradativamente, não apenas em termos nutricionais, mas também em estudos que visam estabelecer parâmetros de qualidade e rotulagem, investigar a estabilidade de uma dada vitamina durante o desenvolvimento de uma nova metodologia de processamento ou de um novo produto (PAIXÃO; STAMFORD, 2004).

A análise de vitaminas está sujeita a uma série de possíveis erros, quando comparada a outras análises, devido à facilidade de degradação por isomerização apresentada por muitas vitaminas em determinadas condições de pH, temperatura, luz, etc. (PAIXÃO; STAMFORD, 2004).

As vitaminas podem ser quantificadas através de diferentes métodos químicos, físico-químicos, biológicos e microbiológicos. No entanto, esses métodos, em geral, demandam muito tempo de execução e estão sujeitos a grande número de interferentes encontrados em uma matriz complexa como o alimento (POLESELLO; RIZZOLO, 1990).

Desta forma, os métodos de análise de vitaminas utilizando Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) tornaram-se mais atrativos por consumirem menos tempo, quando comparados aos métodos químicos ou microbiológicos, por apresentarem maior especificidade e sensibilidade, por serem executados à temperatura ambiente e permitirem a eliminação da luz e do oxigênio durante a análise, etc. (FINGLAS; FAULKS, 1987; MACRAE, 1988).

Neste tipo de análise, estão envolvidas, de maneira geral, as etapas de: (1) extração a partir de uma matriz complexa, levando-se em consideração o caráter lábil desses compostos, assim como sua presença em baixas concentrações (microgramas/g); (2) *clean up* e purificação: o extrato deve estar livre de compostos interferentes antes de ser submetido à análise quantitativa (FINGLAS; FAULKS, 1987).

A alta seletividade e a capacidade de separação da técnica de CLAE, associadas ao uso de detectores seletivos, faz com que as etapas de

extração e limpeza do extrato, para remoção dos interferentes, tornem-se mais simples, diminuindo assim o tempo de preparo das amostras. Esta redução no tempo de execução da análise contribui para o aumento da estabilidade das vitaminas, evitando um maior contato destas com agentes que possam causar sua degradação.

Em alimentos fortificados, as vitaminas geralmente são adicionadas na forma livre e as concentrações encontradas são maiores, quando comparadas aos alimentos não fortificados. Neste caso, as etapas de extração são menos trabalhosas e a influência dos interferentes é menor, pois as vitaminas estarão presentes em concentrações mais elevadas, contribuindo de maneira significativa para o aumento da sensibilidade da metodologia analítica aplicada.

Nos alimentos não fortificados de origem animal e vegetal, as vitaminas geralmente estão presentes em quantidades traço e ligadas a proteínas. Neste caso, o processo de extração tende a apresentar várias etapas de hidrólise ácida a altas temperaturas, produzindo assim um extrato que pode conter uma quantidade apreciável de interferentes na análise quantitativa (FINGLAS; FAULKES, 1987).

Apesar das vitaminas exibirem amplas diferenças quanto à sua estrutura química e propriedades fisiológicas e físico-químicas, de maneira geral, são divididas em duas categorias: vitaminas hidrossolúveis e vitaminas lipossolúveis (BRUNTON et al., 2008; PAIXÃO; STAMFORD, 2004; POLESELLO; RIZZOLO, 1990; RIZZOLO; POLESELLO, 1992).

As vitaminas lipossolúveis podem ser armazenadas no organismo em grandes quantidades, podendo tornar-se tóxicas se consumidas em excesso. Este grupo é representado pela vitamina A (retinoides e carotenoides), ergocalciferol ( $D_2$ ), colecalciferol ( $D_3$ ), vitamina E (tocoferois e tocotrienois), vitamina K (filoquinona e menaquinonas) (BRUNTON et al., 2008; RIZZOLO; POLESELLO, 1992).

Em geral, as vitaminas lipossolúveis estão ligadas a outros componentes lipofílicos, constituintes da membrana celular, através de interações físicas e químicas como ligações de hidrogênio, forças de *Van der Waals*, interações hidrofóbicas e eletrostáticas e ligações covalentes. Essas interações afetam, principalmente, a biodisponibilidade desses compostos (PAIXÃO; CAMPOS, 2003).

As vitaminas hidrossolúveis são armazenadas em quantidades limitadas, sendo necessário o consumo frequente para que sejam mantidos os níveis adequados nos tecidos. Este grupo é representado pelas vitaminas: B<sub>1</sub> (tiamina), B<sub>2</sub> (riboflavina), B<sub>6</sub> (piridoxal, piridoxol e piridoxamina), niacina, ácido pantotênico, ácido fólico, biotina, cianocobalamina e ácido ascórbico (BRUNTON et al., 2008; RIZZOLO; POLESELLO, 1992).

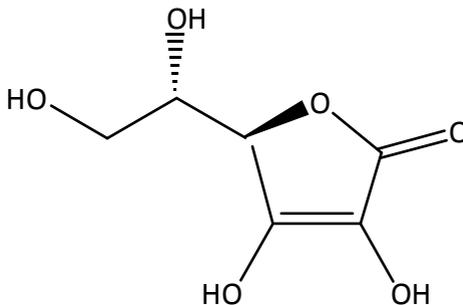
Em áreas subdesenvolvidas podem-se observar graves deficiências vitamínicas, sendo que indivíduos que vivem abaixo da linha de pobreza e particularmente os idosos apresentam riscos significativamente maiores de uma ingestão vitamínica inadequada, principalmente das vitaminas A e C (BRUNTON et al., 2008).

O desenvolvimento de metodologias que permitam a análise simultânea de várias vitaminas deve-se à aplicação de distintas metodologias cromatográficas. Entretanto, deve-se considerar a dificuldade em estabelecer uma metodologia de extração padronizada para todas as vitaminas de interesse, sem perder de vista as particularidades físico-químicas dos alimentos, assim como a estabilidade química de cada um dos compostos de interesse (RIZZOLO; POLESELLO, 1992).

## Vitaminas hidrossolúveis

### Vitamina C

A vitamina C, nome genérico dado ao ácido ascórbico (Figura 1), é uma vitamina hidrossolúvel sintetizada pelas plantas e por quase todos os animais, exceto pelos seres humanos, sendo obtida através da dieta (PENTEADO, 2003).



**Figura 1.** Estrutura química do ácido ascórbico.

Quando ocorre deficiência prolongada dessa vitamina nos seres humanos, os sintomas mais comuns são o aparecimento da doença conhecida como escorbuto, distúrbios neurológicos como histeria e depressão, amolecimento e perda de dentes, gengivas edemaciadas e inflamadas, perda de cabelo, secura da boca, pele seca e dores musculares (PENTEADO, 2003).

O ácido ascórbico é encontrado em diferentes alimentos, porém, as melhores fontes dessa vitamina são as frutas cítricas, como laranja e limão, as folhas cruas dos vegetais, como brócolis e repolho, além de frutos como morango e acerola. Sua deficiência ocorre como resultado da não ingestão desses alimentos (PENTEADO, 2003).

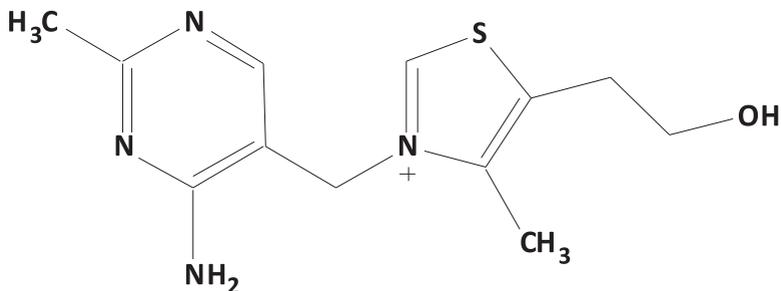
A vitamina C apresenta características ácidas e forte atividade redutora, sendo sintetizada a partir de açúcares como a glicose. Essa vitamina é armazenada em certas quantidades no fígado e baço e, ao ser ingerida em excesso, é excretada pela urina (PENTEADO, 2003).

Na ingestão de baixas doses (inferior a 30 miligramas/dia), a vitamina C é totalmente absorvida. Em relação à dieta usual (30 a 180 miligramas/dia), sua absorção é da ordem de 70 a 90%. Ingestões da ordem de 1,5 gramas/dia causam reduções de 50% na taxa de absorção da mesma (PENTEADO, 2003).

Em termos de funções biológicas, a vitamina C atua como um excelente antioxidante capturando os radicais livres, na reciclagem da vitamina E (tocoferol) e na manutenção do colágeno. No entanto, a vitamina C é muito susceptível à oxidação química e enzimática que ocorre durante as etapas de processamento, cozimento e armazenamento dos alimentos (PENTEADO, 2003).

## **Vitamina B<sub>1</sub>**

A vitamina B<sub>1</sub>, nome genérico dado à tiamina (Figura 2), está amplamente distribuída nos alimentos, porém em quantidades relativamente baixas. Além disso, perdas severas são observadas devido ao fato da tiamina não ser resistente ao aquecimento e muito hidrossolúvel, o que facilita sua perda durante o cozimento em água (PENTEADO, 2003).



**Figura 2.** Estrutura química da tiamina.

A carência de tiamina no organismo causa o chamado beribéri, provocando distúrbios do sistema nervoso (beribéri seco) e do sistema cardiovascular (beribéri úmido). Em humanos, esta doença é decorrente da utilização de dietas que consistem basicamente no consumo de arroz polido (BRUNTON et al., 2008).

Em tecidos animais, a tiamina apresenta-se entre 95% a 98% na forma fosforilada e nos tecidos vegetais ocorre predominantemente na forma livre (PENTEADO, 2003).

Além da ingestão insuficiente, a deficiência de tiamina pode ser causada pelo aumento das necessidades desta vitamina durante a gravidez, lactação, consumo de dietas ricas em carboidratos, quadros de infecções parasitárias crônicas e em casos de alcoolismo (PENTEADO, 2003).

Por outro lado, perdas acentuadas de tiamina são observadas em alimentos submetidos ao tratamento por irradiação.

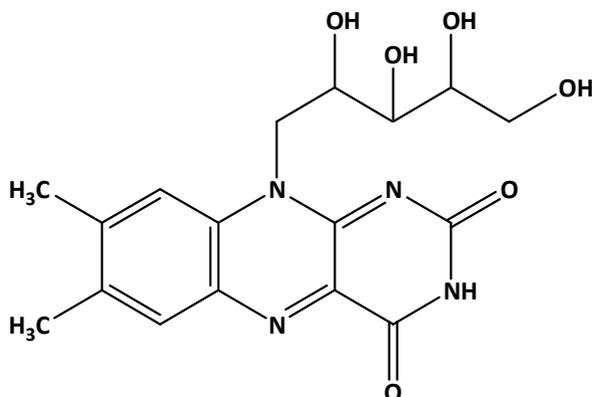
Entre as principais fontes de tiamina estão as leveduras e extrato de leveduras, farelo de trigo, cereais integrais e castanhas. Por outro lado, hortaliças, frutas, ovos, carne de frango e carne bovina são consideradas fontes com teores médios de tiamina (PENTEADO, 2003).

Os sinais de intoxicação por tiamina são dependentes das doses e das vias de administração. No caso dos seres humanos, altas doses administradas por via oral não são tóxicas, pois o excesso é eliminado rapidamente pela urina (PENTEADO, 2003).

## Vitamina B<sub>2</sub>

A vitamina B<sub>2</sub>, nome genérico dado à riboflavina (Figura 3), desempenha no organismo o papel de coenzima em várias reações bioquímicas, como intermediária na transferência de elétrons em reações de oxirredução dos processos respiratórios, no catabolismo de carboidratos e lipídios, na síntese de ácidos graxos de cadeia longa e no catabolismo das bases purínicas provenientes da degradação dos ácidos nucleicos (BRUNTON et al., 2008; PENTEADO, 2003).

Na natureza, a riboflavina é encontrada na forma livre, como flavina mononucleotídeo (FMN) ou riboflavina-5'-fosfato, como flavina adenina dinucleotídeo (FAD) ou riboflavina-5'-adenosil-difosfato (BRUNTON et al., 2008).



**Figura 3.** Estrutura química da riboflavina.

Entre as vitaminas do complexo B, esta é a mais resistente a altas temperaturas, sendo estável durante o aquecimento e o cozimento dos alimentos, desde que protegida da exposição à luz. A riboflavina decompõe-se na presença de luz, especialmente se estiver em solução alcalina ou em solução ácida diluída. Além disso, a riboflavina pode causar a oxidação de outras vitaminas como tiamina, ácido fólico e vitamina C (PENTEADO, 2003).

Por ser uma vitamina fotossensível, a riboflavina torna-se fotoativa na presença de luz e, ao reagir com o oxigênio, produz uma série de espécies reativas de oxigênio que promovem a oxidação lipídica e a deterioração dos alimentos (PENTEADO, 2003).

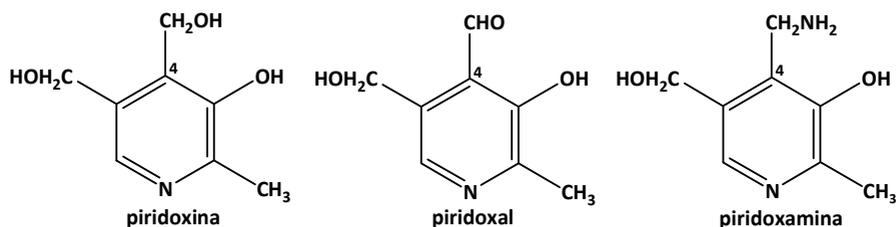
A riboflavina distribui-se em todos os tecidos, mas em baixas concentrações, e pequenas frações são armazenadas. Somente 9% da riboflavina são excretados quando a ingestão aproxima-se da quantidade diária mínima. Em altas doses, aumenta a concentração da forma inalterada excretada pelo organismo (BRUNTON et al., 2008).

A recomendação de ingestão diária desta vitamina é de 1,3 miligramas/dia para homens e 1,1 miligramas/dia para mulheres. As melhores fontes naturais de riboflavina são os extratos de levedura. Farelo de trigo e alimentos de origem animal como carnes, leite, queijo e ovos são boas fontes. Outras fontes que contribuem para a ingestão de riboflavina são os vegetais de folhas verdes, frutas, hortaliças, cereais e pães integrais (BRUNTON et al., 2008).

A deficiência de riboflavina, conhecida como arriboflavinose, em geral é acompanhada de outros distúrbios nutricionais causando dermatite seborreica da face, dermatite dos membros e tronco, anemia e neuropatia (BRUNTON et al., 2008).

## vitamina B<sub>6</sub>

A vitamina B<sub>6</sub> apresenta-se como um conjunto de três homólogos: piridoxina (um álcool), piridoxal (um aldeído) e piridoxamina (uma amina), que diferem entre si quanto ao grupo substituinte ligado ao carbono da posição 4. Além disso, cada homólogo também se apresenta na respectiva forma fosforilada (Figura 4).



**Figura 4.** Estrutura química dos homólogos da vitamina B<sub>6</sub> - piridoxina, piridoxal, piridoxamina.

Em alimentos de origem vegetal, a piridoxina apresenta-se na forma glicosilada e, comercialmente, está disponível como cloridrato de piridoxina, forma esta utilizada no enriquecimento de alimentos (PENTEADO, 2003). Os homólogos da vitamina B<sub>6</sub> são relativamente estáveis ao calor em meio ácido; porém, são termolábeis em meio alcalino. Por outro lado, a piridoxina é sensível à oxidação e à luz ultravioleta.

Cada um desses compostos pode ser rapidamente utilizado pelos mamíferos após conversão no fígado em piridoxal-5'-fosfato, a forma ativa da vitamina. A piridoxina tem baixa toxicidade aguda; porém, há o desenvolvimento de neurotoxicidade após ingestão prolongada de 200 miligramas/dia (BRUNTON et al., 2008).

Apenas parte da vitamina B<sub>6</sub> ingerida é absorvida, pois fatores como composição da dieta, presença de fibras e condições de processamento podem interferir na sua biodisponibilidade (PENTEADO, 2003).

Os níveis requeridos para a piridoxina aumentam com a quantidade de proteína presente na dieta, sendo que a necessidade média diária é de 1,6 miligramas para adultos que ingerem 100 gramas de proteína diariamente. As principais fontes dessa vitamina são carne, fígado, pães, cereais integrais, soja e hortaliças (BRUNTON et al., 2008).

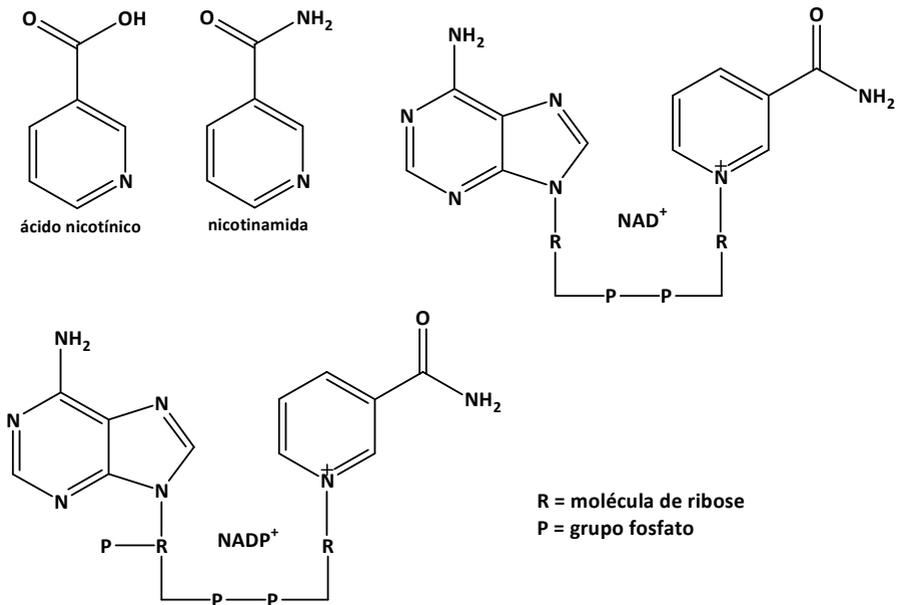
No organismo, a vitamina B<sub>6</sub> atua como coenzima em uma série de processos enzimáticos como na regulação de hormônios esteroidais, metabolismo de aminoácidos, produção da niacina a partir do triptofano, síntese de neurotransmissores e metabolismo de lipídios (PENTEADO, 2003).

Carências nutricionais dessa vitamina podem causar lesões cutâneas em torno dos olhos, nariz e boca, crises convulsivas e redução nas concentrações de neurotransmissores (BRUNTON et al., 2008).

## Niacina

O termo niacina é utilizado para descrever um grupo de vitâmeros composto pela nicotinamida e pelo ácido nicotínico (Figura 5) e que desempenham fundamental papel nas reações de óxido-redução presentes nas vias de catabolismo da glicose, dos ácidos graxos e dos aminoácidos (ZEMPLINI et al., 2007).

Nos alimentos, a niacina está presente na forma livre como ácido nicotínico (plantas), ao passo que nos tecidos animais a niacina é encontrada predominantemente como nicotinamida ligada às coenzimas NAD (nicotinamida adenina dinucleotídeo) e NADP (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato). Essas coenzimas são responsáveis pelos processos de transferência de prótons e elétrons em vários processos bioquímicos (PENTEADO, 2003; ZEMPLINI et al., 2007).



**Figura 5.** Estrutura química dos vitâmeros que integram o grupo da niacina.

Dentre as vitaminas hidrossolúveis, a niacina constitui-se uma das mais estáveis à degradação promovida pelo calor, luz, agentes oxidantes, ácidos e bases (MACRAE, 1988).

Pode ser sintetizada a partir do triptofano, sua disponibilidade no organismo está diretamente ligada à presença desse aminoácido no alimento e da eficiência da sua conversão (BRUNTON et al., 2008; PENTEADO, 2003).

A deficiência de ácido nicotínico no organismo leva ao surgimento da doença conhecida como pelagra (pele áspera) e sua descoberta deu-se devido à prevalência em indivíduos de comunidades carentes cuja dieta era baseada no consumo de milho e sorgo. A incidência de pelagra também pode ocorrer em indivíduos alcoólatras, portadores de AIDS, associada à anorexia nervosa, e em pacientes submetidos a tratamentos quimioterápicos (ZEMPLINI et al., 2007).

A pelagra caracteriza-se por sintomas relacionados à pele, trato gastrointestinal e sistema nervoso central, isto é, uma tríade frequentemente conhecida como dermatite, diarreia e demência ou “3D”. Os sintomas relacionados ao sistema nervoso central consistem em cefaleia, tontura, insônia, depressão e falta de memória, sendo observadas alucinações, delírios e demência nos casos graves (BRUNTON et al., 2008).

No milho, os teores de triptofano, precursor na síntese da niacina, são baixos e pouco do ácido nicotínico produzido está fortemente ligado na matriz vegetal, impedindo assim a sua absorção (ZEMPLINI et al., 2007).

Assim como no milho, em alguns alimentos, a niacina não está disponível porque se encontra na forma de ésteres formando ligações covalentes com pequenos peptídeos e carboidratos. Entretanto, sua biodisponibilidade pode ser aumentada mediante a hidrólise alcalina desses ésteres (BRUNTON et al., 2008; PENTEADO, 2003).

Em algumas plantas, a niacina também não está disponível porque se encontra na forma metilada atuando como hormônio vegetal, porém esta forma é lábil e pode ser convertida em ácido nicotínico mediante aquecimento (PENTEADO, 2003).

As fontes ricas em niacina são carnes, vísceras e pescados, destacando-se fígado, coração, rins e peixes. Farelo de trigo e grãos de cereais integrais também são ótimas fontes; no entanto, os extratos de levedura constituem-se em fontes excepcionalmente ricas de niacina (BRUNTON et al., 2008; PENTEADO, 2003).

Entre os vegetais, o amendoim é a maior fonte desta vitamina, juntamente com outras fontes, como pimentão, avelã, caju e jabuticaba. Queijos e ovos são pobres em niacina. No entanto, esses alimentos apresentam elevado valor proteico, fornecendo altos teores de triptofano que é convertido em niacina (BRUNTON et al., 2008; PENTEADO, 2003).

As recomendações de ingestão para seres humanos, em geral, são expressas como Niacina Equivalente (NE) e, desta forma, 1 NE corresponde a 1 miligrama de nicotinamida, a 1 miligrama de ácido nicotínico ou a 60 miligramas de triptofano (BRUNTON et al., 2008; PENTEADO, 2003; ZEMPLIENI et al., 2007).

Para homens e mulheres acima de treze anos de idade, a recomendação é de 16 e 14 miligramas de niacina/dia, respectivamente. Para mulheres grávidas e lactantes, as recomendações são 18 e 17 miligramas de niacina/dia, respectivamente (BRUNTON et al., 2008; PENTEADO, 2003).

As proteínas apresentam um teor médio de 1% de triptofano; sendo assim, uma dieta composta de 100 gramas de proteína/dia pode fornecer as doses diárias de niacina recomendadas.

Os níveis de ingestão tolerável estabelecidos para a niacina, quando adicionada em suplementos alimentares e alimentos fortificados, são determinados em função do risco de ocorrência de vermelhidão da pele. Desta forma, esses níveis podem variar desde 10 miligramas/dia, para crianças, até 35 miligramas/dia, para adultos (ZEMPLIENI et al., 2007).

A niacina apresenta excelente estabilidade química frente ao calor, à luz e ao pH dos alimentos, mas pode ser perdida na água de cozimento por se tratar de uma vitamina hidrossolúvel. O processamento por extrusão também pode destruir a niacina e, conseqüentemente, reduzir sua concentração nos alimentos extrusados (PENTEADO, 2003).

## **Ácido fólico**

O termo ácido fólico é derivado do latim e significa folhas, uma vez que esta vitamina foi isolada a partir de folhas verdes, identificada e sintetizada por volta de 1940; no entanto, esta vitamina também é isolada do extrato de leveduras ou de fígado.

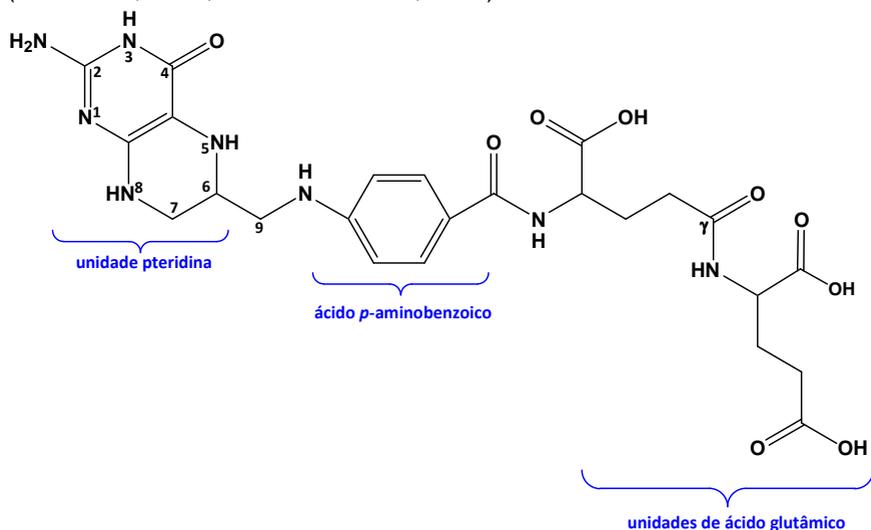
Um dos aspectos mais importantes do ácido fólico, em termos de saúde pública, refere-se à sua capacidade de reduzir significativamente o risco de má formação do tubo neural e do septo cardíaco, quando administrado como suplemento alimentar durante, principalmente, as seis primeiras semanas de gravidez (PENTEADO, 2003; ZEMPLIENI et al., 2007).

O termo folato refere-se a uma grande família de compostos quimicamente semelhantes entre si, que variam quanto ao grau de oxidação da molécula e

comprimento da cadeia de ácido glutâmico (MACHLIN, 1991; PENTEADO, 2003; ZEMPLINI et al., 2007).

Em termos de estrutura química, os folatos são constituídos de uma unidade pteridina, uma unidade do ácido *p*-aminobenzoico e unidades de ácido glutâmico. A molécula do folato (tetraidrofolato - THF) é derivada do 5,6,7,8-tetraidropteroilglutamato e consiste na 2-amino-4-hidroxipteridina ligada por um grupo metileno (C-6) ao ácido *p*-aminobenzoico (Figura 6).

Nos folatos, o anel pirazínico está totalmente reduzido nas posições 5,6,7e 8, ao passo que, no diidrofolato, a redução dá-se no carbonos 7 e 8 (MACHLIN, 1991; ZEMPLINI et al., 2007).



**Figura 6.** Estrutura química do ácido fólico

Na maioria dos folatos naturais, o número de unidades de ácido glutâmico na cadeia lateral varia de 5 a 8. A forma monoglutamato totalmente oxidada desta vitamina é definida como ácido fólico e esta é a forma utilizada comercialmente em suplementos e alimentos fortificados (MACHLIN, 1991; ZEMPLINI et al., 2007).

Vários antagonistas do ácido fólico foram sintetizados e utilizados em diversos tratamentos contra malária, contra bactérias patogênicas e na quimioterapia. O análogo do ácido fólico denominado metotrexato (4-amino-10-metilpteroilglutamato) permanece como um dos agentes quimioterápicos mais utilizados (MACHLIN, 1991; ZEMPLINI et al., 2007).

Por outro lado, as sulfonamidas são compostos análogos ao ácido *p*-aminobenzoico, intermediário na síntese do ácido fólico, e são utilizadas como antimicrobianos (MACHLIN, 1991; ZEMPLINI et al., 2007).

No organismo, os folatos participam de várias reações folato-dependentes conhecidas como metabolismo do carbono e estão envolvidos nas fases do metabolismo dos aminoácidos. Os tetraidrofolatos participam da síntese das bases purínicas e pirimidínicas, na síntese do DNA, na divisão celular e na formação da S-adenosilmetionina (agente de metilação de alguns componentes intracelulares) (PENTEADO, 2003).

A dose diária de folato necessária para evitar os problemas de má formação do tubo neural, assim como do septo cardíaco, não está claramente definida, no entanto recomenda-se a ingestão de 400 microgramas/dia.

Para homens e mulheres acima de quatorze anos, a ingestão dietética recomendada é de 400 microgramas/dia de ácido fólico, ao passo que, para mulheres grávidas e lactantes, essa ingestão deve ser de 600 microgramas/dia e 500 microgramas/dia, respectivamente (PENTEADO, 2003).

Os folatos que ocorrem naturalmente na dieta estão concentrados em alguns tipos de alimentos como suco de laranja, morangos, vegetais com folhas verdes escuras (brócolis, espinafre, etc.), amendoins e feijão preto. Em geral, as frutas e as carnes, com exceção do fígado, são fontes pobres em folatos (MACHLIN, 1991; PENTEADO, 2003; ZEMPLINI et al., 2007).

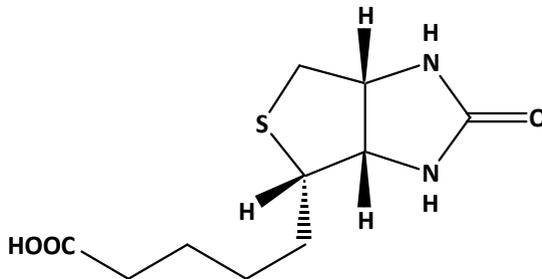
Os tetraidrofolatos são lábeis devido à sua sensibilidade ao oxigênio e pH extremo quando estão em solução. Perdas significativas no conteúdo de ácido fólico (20-75%) ocorrem através da água de cozimento dos alimentos e pela degradação dos folatos sensíveis ao oxigênio. A maioria dos folatos apresenta significativa degradação quando submetidos ao aquecimento a 100°C por 10 minutos (PENTEADO, 2003).

## **Biotina**

A biotina possui em sua estrutura química (Figura 7) três carbonos quirais, gerando um total de oito estereoisômeros. No entanto, somente o isômero D-(+)-biotina é encontrado na natureza e constitui a forma biologicamente ativa dessa vitamina (MACHLIN, 1991; PENTEADO, 2003; ZEMPLINI et al., 2007).

Estudos demonstraram que ratos tratados com clara de ovo, desidratada passavam a apresentar severa dermatite, perda de pelos e disfunção

neuromuscular e esses sintomas foram denominados “mal da clara de ovo”. Entretanto, um fator presente no fígado bovino mostrou-se capaz de reverter esse quadro, sendo posteriormente identificado como biotina (MACHLIN, 1991; PENTEADO, 2003; ZEMPLINI et al., 2007).



**Fig. 7.** Estrutura química da biotina

Quando os mamíferos são alimentados exclusivamente com clara de ovo, ocorre carência de biotina no organismo devido à presença de uma glicoproteína presente na clara denominada avidina. Esta glicoproteína liga-se fortemente à biotina, tornando-a indisponível para atuar como cofator de algumas carboxilases presentes nas mitocôndrias celulares (MACHLIN, 1991; PENTEADO, 2003; ZEMPLINI et al., 2007).

Nos tecidos animais e vegetais, apenas uma pequena fração da biotina ocorre na forma livre, pois a maioria está ligada covalentemente à estrutura proteica das enzimas dependentes de biotina. Nos tecidos humanos, a biotina atua como um cofator carregador de grupos carboxila nas enzimas denominadas carboxilases e que promovem a carboxilação do piruvato, acetil coenzima A (CoA), propionil CoA e  $\beta$ -metilcrotonil CoA, enzimas estas envolvidas no metabolismo dos carboidratos e gorduras (GOODMAN; GILMAN, 2001).

As formas ligadas da biotina podem ser liberadas mediante forte hidrólise ácida e alta temperatura associada à ação de uma enzima proteolítica (MACHLIN, 1991; PENTEADO, 2003; ZEMPLINI et al., 2007).

A avidina, glicoproteína do ovo, somente liga-se à biotina e o complexo formado é estável em uma grande faixa de pH, não sendo dissociado no trato gastrointestinal. No entanto, quando os ovos são cozidos, a avidina sofre desnaturação e a biotina é liberada. Uma vez ingerida, a biotina é

armazenada no organismo humano mediante absorção pelos rins e ligação às proteínas plasmáticas (PENTEADO, 2003).

O fígado extrai a maior parte da biotina absorvida no sangue e constitui o seu principal sítio de utilização e metabolismo, sendo posteriormente excretada pela urina, praticamente inalterada. A microflora do colo humano pode sintetizar grandes quantidades de biotina, uma vez que as concentrações presentes nas fezes chegam a superar de três a seis vezes as quantidades de biotina ingeridas através da dieta (PENTEADO, 2003).

A ingestão adequada de biotina para adultos é de 30 microgramas/dia, sendo que parte da biotina sintetizada pela flora intestinal também está disponível para absorção. As fontes ricas em biotina são fígado, rins, coração, carne de frango, gema de ovo, leite, peixes, nozes, germe de trigo e aveia. O arroz polido possui 45% da vitamina encontrada no arroz integral, ao passo que no leite materno toda a biotina presente está na forma livre e disponível para absorção pela criança (GOODMAN; GILMAN, 2001; PENTEADO, 2003).

O consumo de dietas pobres em biotina, associado ao consumo de clara de ovo crua, provoca quadros clínicos de deficiência, sendo que ao longo das semanas sintomas distintos como descamação da pele, dermatite, depressão, sonolência, dores musculares, anorexia e aumento do colesterol sérico ocorrem gradativamente (PENTEADO, 2003).

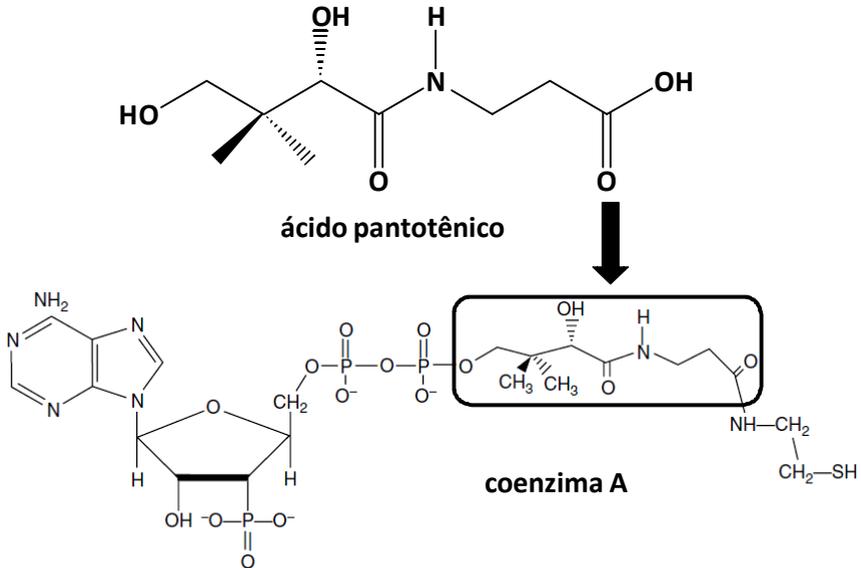
O cozimento dos alimentos pode degradar uma fração significativa da biotina em produtos oxidados, reduzindo, assim, a atividade vitamínica (PENTEADO, 2003).

### **Ácido pantotênico**

O termo ácido pantotênico deriva da palavra grega pantos e significa “em toda parte” indicando assim a sua ampla distribuição na natureza. No organismo, o ácido pantotênico está ligado à acetilcoenzima A (acetil-CoA) (Figura 8) ou à proteína transportadora de grupos acil, constituindo, assim, as formas ativas da vitamina (GOODMAN; GILMAN, 2001; PENTEADO, 2003; ZEMPLIENI et al., 2007).

O ácido pantotênico, também denominado como vitamina B<sub>5</sub>, é derivado do ácido butírico (ácido pantoico) ligado por uma ligação peptídica ao aminoácido β-alanina, com fórmula molecular C<sub>9</sub>H<sub>17</sub>O<sub>5</sub>N. Sua molécula é opticamente ativa, mas somente o estereoisômero D-(+) ocorre na natureza ligado às enzimas acetil-CoA e 4-fosfopanteteína. Como suplemento alimentar é utilizado na forma de pantotenato de cálcio (PENTEADO, 2003).

O pantotenol, comercialmente denominado pantenol, corresponde ao álcool do ácido pantotênico e é amplamente utilizado como fonte de ácido pantotênico em formulações farmacêuticas e produtos multivitamínicos, sendo convertido em ácido pantotênico quando absorvido pelo organismo (PENTEADO, 2003).



**Figura 8.** Estrutura química do ácido pantotênico e da coenzima A.

A coenzima A atua em diversas reações que envolvem a ativação e transferência de grupos acetil derivado do metabolismo oxidativo dos carboidratos, aminoácidos e ácidos graxos; atua também nas vias metabólicas do ciclo de Krebs e na cadeia respiratória, na síntese de esteróis, hormônios esteroidais e porfirinas (GOODMAN; GILMAN, 2001; PENTEADO, 2003; ZEMPLINI et al., 2007).

O consumo de uma dieta normal evita a deficiência do ácido pantotênico no organismo devido à larga distribuição dessa vitamina nos alimentos.

Entretanto, dietas pobres em ácido pantotênico produzem efeitos adversos como fadiga, cefaléia, distúrbios do sono, náuseas, cólicas abdominais, vômitos, câibras musculares e comprometimento da coordenação (GOODMAN; GILMAN, 2001).

Esta vitamina é rapidamente absorvida pelo trato intestinal e distribuída por todo o organismo, sendo armazenada no fígado, coração, rins e músculos; 70% da sua excreção dá-se pela urina. Aparentemente, o ácido pantotênico não é metabolizado no corpo humano uma vez que as quantidades excretadas são praticamente iguais às ingeridas (GOODMAN; GILMAN, 2001; PENTEADO, 2003).

As recomendações diárias de ingestão do ácido pantotênico não estão estabelecidas com precisão, sendo sugerida uma ingestão média de 4-6 miligramas/dia para adultos, variando de 1,7 miligramas/dia para bebês a 7,0 miligramas/dia para mulheres em lactação (GOODMAN; GILMAN, 2001; PENTEADO, 2003; ZEMPLI et al., 2007).

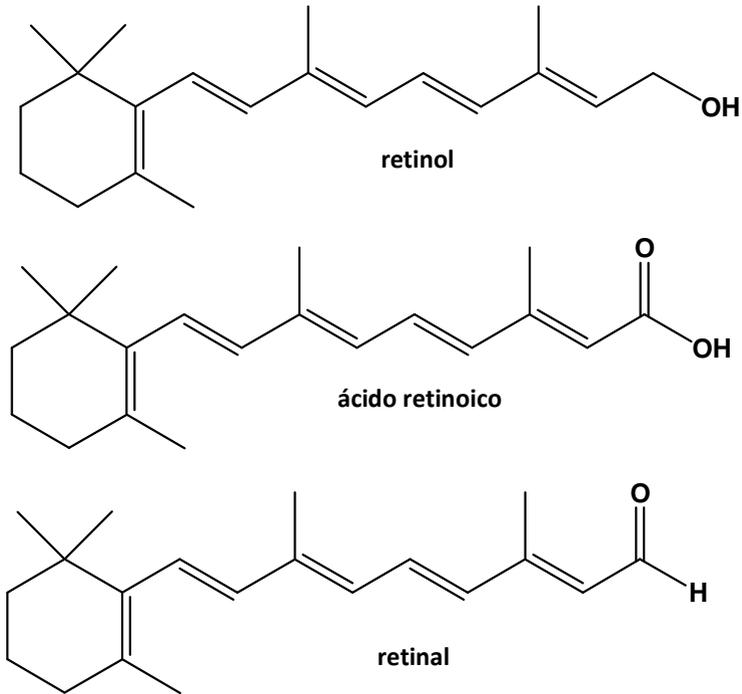
As fontes mais ricas em ácido pantotênico são vísceras, carne bovina e de frango, gema de ovo, cevada e grãos integrais. Porém, em tecidos animais, esta vitamina está presente na forma de coenzima A (GOODMAN; GILMAN, 2001; PENTEADO, 2003).

A forma livre do ácido pantotênico é facilmente destruída pela ação do calor, de ácidos, bases e perdas são observadas em diferentes níveis para alimentos de origem animal e vegetal durante as etapas de cozimento e armazenamento (PENTEADO, 2003).

## **Vitaminas lipossolúveis**

### **Vitamina A**

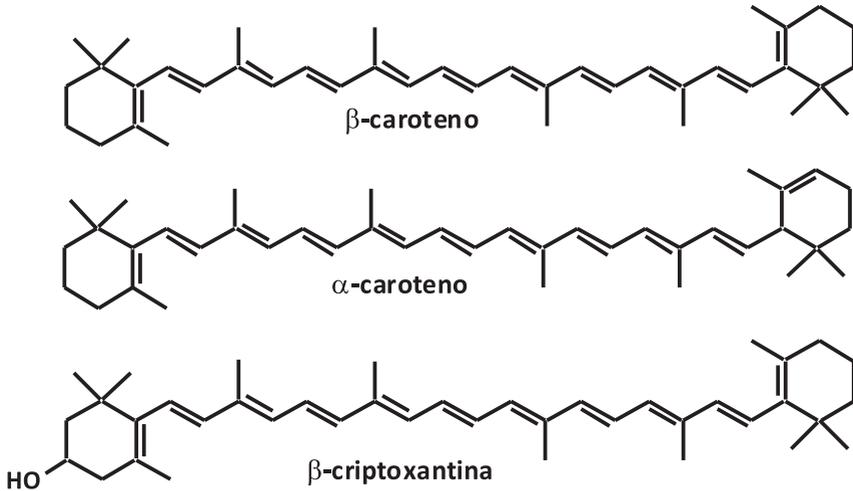
A vitamina A, conhecida como retinol ou vitamina antixeroftálmica, é uma vitamina lipossolúvel encontrada na natureza, na forma livre ou esterificada, somente nos alimentos de origem animal. Seus derivados são o ácido retinoico (um ácido carboxílico), o retinal (um aldeído) e o retinil (um éster). Essa vitamina e seus derivados pertencem a uma classe de compostos estruturalmente relacionados entre si denominados retinoides (Figura 9) (PENTEADO, 2003).



**Figura 9.** Estrutura química dos compostos com atividade vitamínica A.

Nos alimentos de origem vegetal encontram-se alguns grupos de pigmentos, entre os quais os carotenoides. Dentre os vários carotenoides presentes nos alimentos,  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno e  $\beta$ -criptoxantina são os representantes dessa classe que possuem atividade pró vitamina A, pois ao serem ingeridos através da dieta, são convertidos no organismo em retinol (Figura 10).

### Carotenóides pró vitamina A



**Figura 10.** Estrutura química dos carotenoides com atividade pró vitamina A.

A vitamina A apresenta uma gama variada de funções biológicas, sendo importante para o bom funcionamento da visão, expressão dos genes, reprodução, desenvolvimento embrionário, crescimento e função imune. Sua deficiência pode causar dificuldade de adaptação da visão ao escuro (cegueira noturna) ou acarretar cegueira (PENTEADO, 2003).

Essa vitamina é insolúvel em água, sensível à oxidação por luz (isomerização), instável ao calor e em pH ácido. Nos alimentos está presente na forma de ésteres (retinil) e, em condições normais de funcionamento do organismo, 90% da vitamina A é armazenada no fígado (PENTEADO, 2003).

A biodisponibilidade e a digestão dessa vitamina são afetadas pelo estado nutricional do indivíduo e pela integridade da mucosa intestinal. Entre os componentes importantes da dieta que influenciam na biodisponibilidade da vitamina A estão as proteínas, as gorduras, o zinco e a vitamina E (PENTEADO, 2003).

A ingestão dietética de referência diária recomendada para a vitamina A é de 900 microgramas para homens e 700 microgramas para mulheres. Dentre

os alimentos mais ricos em vitamina A estão o óleo de fígado de bacalhau, fígado de frango, fígado de vaca, manteiga e margarina (PENTEADO, 2003).

Esta é a mais lábil entre as vitaminas presentes nos alimentos, pois a presença da dupla ligação na estrutura química favorece a degradação por isomerização, a qual é catalisada em meio ácido ou na presença de alguns minerais. Quanto à estabilidade frente ao oxigênio, o retinol mostra-se mais estável que a sua forma esterificada (retinil). Em relação ao aquecimento, o palmitato de retinila (éster) é muito mais estável que o retinol (PENTEADO, 2003).

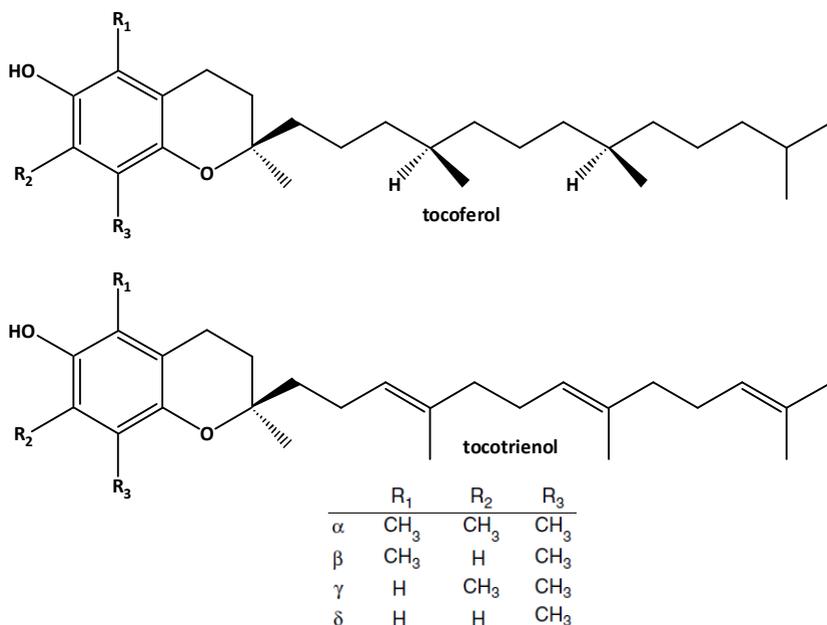
## Vitamina E

Diferente de outras vitaminas que atuam como cofatores, hormônios ou exercem algum tipo de função específica no organismo, a vitamina E ( $\alpha$ -tocoferol) não apresenta uma função específica e atua principalmente como um antioxidante lipossolúvel (ZEMPLENI et al., 2007).

Os sintomas de deficiência de vitamina E são variáveis e dependem do conteúdo de  $\alpha$ -tocoferol, da sua captação, *turnover*, assim como da sua susceptibilidade e do grau do estresse oxidativo ocorrido no organismo (ZEMPLENI et al., 2007).

A vitamina E apresenta-se em diferentes formas ( $\beta$ -tocoferol,  $\gamma$ -tocoferol); entretanto, somente o  $\alpha$ -tocoferol é definido como a forma capaz de atuar como vitamina E, pois é capaz de suprimir os sintomas gerados pela deficiência dessa vitamina (ZEMPLENI et al., 2007).

Esta denominação de vitamina E é dada a uma série de oito compostos com atividade antioxidante equivalente ao  $\alpha$ -tocoferol, incluindo assim os quatro derivados do tocoferol e os quatro derivados do tocotrienol (Figura11).



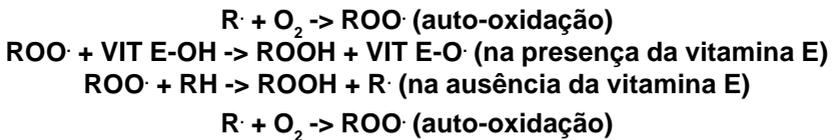
**Figura 11.** Estrutura química dos derivados do tocoferol e tocotrienol com atividade vitamínica E.

Os tocoferóis e os tocotrienóis apresentam o mesmo grupo funcional (cromanol), onde está ligado um número variável de grupos metila: trimetil ( $\alpha$ ), dimetil ( $\beta$  ou  $\gamma$ ) e metil ( $\delta$ ). Todos esses compostos possuem uma cadeia isoprênica que lhes confere o caráter lipofílico. Além disso, os tocotrienóis apresentam uma cadeia lateral insaturada contendo três ligações duplas se comparados aos tocoferóis (PENTEADO, 2003; ZEMPLINI et al., 2007).

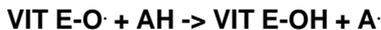
Os suplementos de vitamina E contêm os ésteres do  $\alpha$ -tocoferol, incluindo acetato, succinato e nicotinato de  $\alpha$ -tocoferila. Os ésteres não possuem atividade antioxidante e, portanto, apresentam uma longa vida de prateleira. Uma vez consumidos, os ésteres são hidrolisados no trato gastrointestinal e absorvidos como  $\alpha$ -tocoferol (ZEMPLINI et al., 2007).

A vitamina E age interrompendo a cadeia oxidativa dos lipídios assim como os processos subsequentes de auto-oxidação, pois é um potente sequestrador de radicais peróxi e protege os ácidos graxos poli-insaturados (PUFA), os fosfolipídios das membranas biológicas e as lipoproteínas plasmáticas.

Quando os hidroperóxidos dos lipídios são oxidados a radicais peróxi ( $\text{ROO}\cdot$ ), estes reagem 1.000 vezes mais rápido com a vitamina E ( $\text{VIT E-OH}$ ) que com o PUFA (RH). O grupo hidroxicromanol reage com o radical peróxi para formar o hidroperóxido e o radical cromanoxil ( $\text{VIT E-O}\cdot$ ) de acordo com a sequência de reações mostrada abaixo (ZEMPLINI et al., 2007).



A vitamina E reage com outros agentes antioxidantes, permanecendo na forma não oxidada. O radical cromanoxil ( $\text{VIT E-O}\cdot$ ) reage com a vitamina C (AH), um agente redutor doador de hidrogênio, sofrendo redução e regenerando o grupo funcional cromanol de acordo com a reação mostrada abaixo:



Existem vários antioxidantes importantes capazes de regenerar os grupos cromanol a partir do radical cromanoxil, dentre os quais estão o íon ascorbato (vitamina C) e os tióis, especialmente a glutatona. Vários outros mecanismos metabólicos podem então reduzir esses outros oxidantes. Desta forma, no organismo, a vitamina E pode ser reciclada devido à ação de outros antioxidantes, fazendo com que o radical  $\alpha$ -tocoferoxila seja reduzido a  $\alpha$ -tocoferol (ZEMPLINI et al., 2007).

Um dos grandes problemas enfrentado pela indústria de alimentos refere-se à oxidação lipídica causada pela ação dos radicais livres nos ácidos graxos. O resultado de tais reações reflete-se na perda de qualidade nutricional do alimento, alteração da cor, sabor e odor, além da formação de compostos indesejados, que podem comprometer a segurança do alimento (PENTEADO, 2003).

Por outro lado, no organismo, a oxidação lipídica pode causar o aparecimento de processos inflamatórios, assim como a peroxidação pode causar o rompimento de membranas celulares, polimerização de proteínas, mutação do DNA, etc. (PENTEADO, 2003).

Por se tratar de uma vitamina lipossolúvel, parece que a biodisponibilidade da vitamina E depende do teor de lipídios presente no alimento. A absorção dessa vitamina é relativamente baixa, da ordem de 20-40%, e sua absorção é reduzida quando são consumidos alimentos sem gordura ou quando as cápsulas de vitamina E são ingeridas sem a presença do alimento (PENTEADO, 2003; ZEMPLINI et al., 2007).

Estudos sugerem que o consumo de 3% de lipídios (triacilglicerois de cadeia média) seja suficiente para que se atinja a biodisponibilidade ótima para vitamina E (ZEMPLINI et al., 2007). No entanto, a presença de ácidos graxos poli-insaturados reduz a absorção dessa vitamina por favorecer os mecanismos de oxidação lipídica, causando a destruição do nutriente (PENTEADO, 2003).

Aproximadamente 90% do  $\alpha$ -tocoferol presente no corpo humano encontra-se armazenado no tecido adiposo sendo liberado e metabolizado quando necessário. A principal rota de excreção da vitamina E dá-se através das fezes (ZEMPLINI et al., 2007).

A recomendação de ingestão dietética para a vitamina E ( $\alpha$ -tocoferol) foi estabelecida em 15 miligramas/dia para homens e mulheres com idade acima dos dezenove anos, ao passo que o valor máximo de ingestão tolerável foi estabelecido em 1000 miligramas/dia (ZEMPLINI et al., 2007).

As principais fontes de vitamina E são os óleos vegetais, uma vez que somente as plantas são capazes de sintetizar esta vitamina. O  $\alpha$ -tocoferol é encontrado em altas concentrações principalmente nos óleos de germen de trigo, girassol e sementes de açafrão.

Os óleos de soja e de milho contêm predominantemente  $\gamma$ -tocoferol assim como alguns tocotrienóis. Os óleos de semente de algodão e de palma contêm proporções iguais de  $\alpha$ -tocoferol e  $\gamma$ -tocoferol. Além disso, o óleo de palma contém grandes quantidades de  $\alpha$ -tocotrienol e  $\gamma$ -tocotrienol. Por outro lado, as frutas e as hortaliças são fontes pobres em vitamina E (ZEMPLINI et al., 2007).

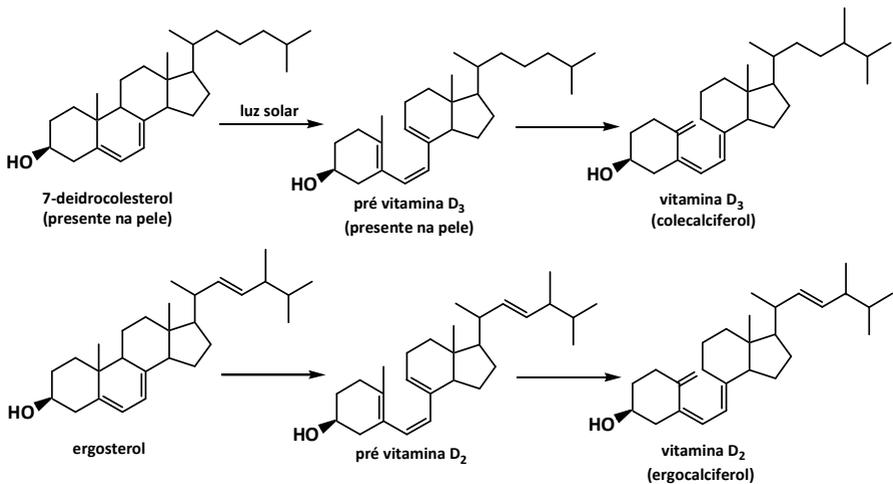
Nos alimentos de origem animal, a vitamina E é encontrada em ovos, leite e fígado, porém em concentrações mais baixas que as observadas nos óleos vegetais (PENTEADO, 2003).

De maneira geral, a vitamina E é estável ao calor e não apresenta reduções significativas de concentração durante o cozimento de carnes e verduras. No entanto, os tocoferóis podem apresentar perdas significativas durante a estocagem, mesmo à temperatura ambiente, como observado para o óleo de girassol.

Além disso, o refino dos óleos vegetais, de maneira geral, proporciona reduções significativas nos teores de tocoferóis e tocotrienóis presentes nesses óleos. O processamento do grão de trigo para obtenção da farinha pode acarretar perdas da ordem de 92% da vitamina E presente no grão (PENTEADO, 2003).

## Vitamina D

A vitamina D possui atividade anti-raquitismo sendo constituída pelo ergocalciferol (vitamina D<sub>2</sub>) e colecalciferol (vitamina D<sub>3</sub>). O ergocalciferol apresenta uma estrutura esteroidal derivada do esteroide vegetal ergosterol (Figura 12). O colecalciferol é sintetizado a partir do 7-deidrocolesterol, presente na pele, mediante absorção da luz ultravioleta (MACHLIN, 1991; PENTEADO, 2003; ZEMPLINI et al., 2007).



**Figura 12.** Mecanismos de síntese das vitaminas do complexo D a partir do 7-deidrocolesterol e ergosterol.

Como o organismo possui a capacidade de sintetizar a vitamina  $D_3$ , esta não atende a definição clássica aplicada às vitaminas. No organismo, a vitamina D é metabolizada para uma forma ativa que age como um hormônio esteroidal. Entretanto, como a vitamina D é reconhecida como um nutriente essencial, esta é classificada como uma vitamina lipossolúvel (MACHLIN, 1991; ZEMPLINI et al., 2007).

No organismo, a vitamina D tem o papel de controlar a homeostase do cálcio e do fósforo, os quais estão envolvidos em uma gama variada de processos biológicos. O cálcio é necessário na contração muscular, transmissão do impulso nervoso, coagulação sanguínea, estrutura das membranas, como cofator de várias enzimas como lípases e ATPases, e na formação dos ossos (MACHLIN, 1991; ZEMPLINI et al., 2007).

O fósforo é um importante componente do DNA, RNA, dos lipídios que constituem a membrana celular, atua na transferência de energia (ATP), na fosforilação de várias proteínas e na regulação de caminhos metabólicos (MACHLIN, 1991; ZEMPLINI et al., 2007).

Estudos têm relatado a existência de receptores para a forma hormonal da vitamina D em vários órgãos como cérebro, pâncreas, glândula pituitária, folículo capilar, pele, músculos, células do sistema imune. Isso sugere que a vitamina D possa apresentar um importante papel na secreção da insulina e da prolactina, no funcionamento muscular, no crescimento capilar, nas respostas do sistema imune ao estresse, na síntese da melanina e diferenciação celular (MACHLIN, 1991; ZEMPLINI et al., 2007).

Em seres humanos, as vitaminas  $D_2$  e  $D_3$  apresentam distintas atividades vitamínicas, onde a vitamina  $D_2$  apresenta uma atividade vitamínica equivalente a 25-30% da atividade observada para a vitamina  $D_3$  (ZEMPLINI et al., 2007).

Existem alguns fatores que são determinantes para a quantidade de vitamina  $D_3$  produzida na pele a partir da absorção da luz solar (ZEMPLINI et al., 2007):

(1) Intensidade e o comprimento de onda adequado da radiação UV-B que atinge o 7-deidrocolesterol presente no extrato celular mais profundo. O 7-deidrocolesterol absorve radiação com comprimentos de onda variando de 270 a 290nm;

(2) Estação do ano e a latitude também influenciam a síntese fotoquímica da vitamina  $D_3$ , sendo maior durante o verão e em latitudes mais próximas da linha do Equador;

(3) Concentração de 7-deidrocolesterol presente nos extratos celulares também influencia na concentração da vitamina  $D_3$ . Em condições fisiológicas normais, essa concentração é da ordem de 25-50 microgramas/ $cm^2$  de pele;

(4) Concentração de melanina na pele a qual absorve radiação UV-B na faixa de 290-320nm agindo como um filtro solar e, portanto, determinando a quantidade de radiação que atinge o 7-deidrocolesterol presente nas camadas mais profundas da pele, propiciando sua conversão em vitamina  $D_3$ .

Uma exposição diária de 5-10 minutos pode ser suficiente para atingir as concentrações necessárias da vitamina  $D_3$ . No entanto, este intervalo de tempo pode variar em razão de uma série de fatores como a concentração de melanina. Protetores solares com fator de proteção FP8 podem impedir a produção dessa vitamina. Além disso, a maioria dos tecidos utilizados na confecção de roupas absorve a radiação UV, inibindo a síntese dessa vitamina (PENTEADO, 2003).

Nos seres humanos a vitamina  $D_3$  é armazenada no tecido adiposo e nos músculos como um derivado biologicamente ativo (1,25-dihidroxitamina  $D_3$  ou calcitriol) e atua como um hormônio esteroideal na transcrição genética (MACHLIN, 1991; PENTEADO, 2003; ZEMPLINI et al., 2007).

As principais fontes naturais de vitamina D são óleo de fígado de bacalhau, arenque, salmão, sardinha, gema de ovo, fígado, leite, produtos lácteos e cogumelos comestíveis. As hortaliças são pobres em vitamina D, ao passo que nos cereais e frutas essa vitamina está ausente (MACHLIN, 1991; PENTEADO, 2003; ZEMPLINI et al., 2007).

A fortificação dos alimentos constitui uma forma eficiente de prevenir quadros de carência dessa vitamina. O leite, por ser uma fonte rica de cálcio, é o principal alimento fortificado com vitamina D no Brasil, em conjunto com a margarina (PENTEADO, 2003).

A vitamina D é sensível à luz, ao aquecimento e a pH alcalino. Considera-se, de forma geral, que o armazenamento e o processamento dos alimentos

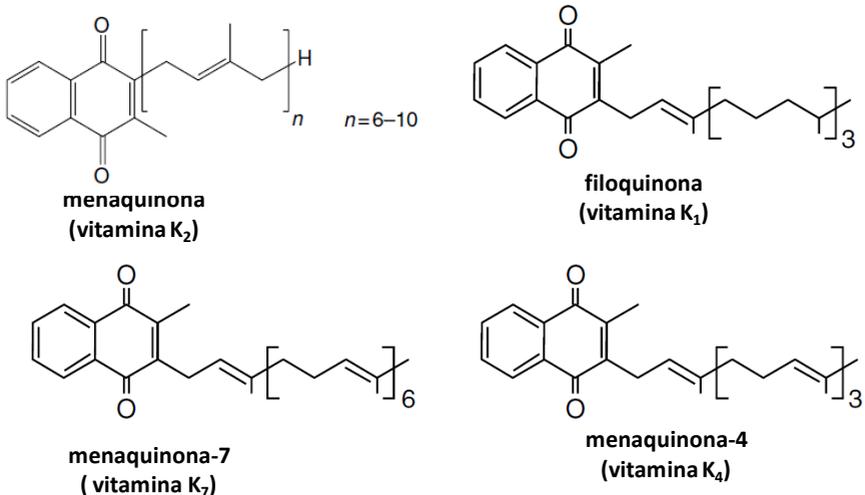
não afetam a atividade vitamínica. No entanto, alguns estudos têm demonstrado que a estabilidade da vitamina D está relacionada ao tipo de processamento aplicado (PENTEADO, 2003).

## Vitamina K

A vitamina K é formada por um conjunto de compostos com estrutura básica denominada naftoquinona e que diferem entre si apenas pela cadeia lateral ligada ao carbono C-3.

Esta vitamina é um nutriente lipossolúvel essencial na biossíntese de vários fatores responsáveis pela coagulação do sangue. A ausência dessa vitamina provoca o aparecimento de quadros hemorrágicos e o termo vitamina K deriva da palavra koagulation (BRUNTON et al., 2008; PENTEADO, 2003).

A atividade vitamínica está associada a duas substâncias naturais distintas conhecidas como vitamina K<sub>1</sub> e vitamina K<sub>2</sub> (Figura 13).



**Figura 13.** Estrutura química dos compostos com atividade vitamínica K.

A vitamina K<sub>1</sub> ou filoquinona é encontrada em vegetais, ao passo que a vitamina K<sub>2</sub> constitui uma série de compostos denominados menaquinonas

que são produzidos pelas bactérias presentes no trato intestinal, sendo encontradas em grandes quantidades nas fezes humanas e animais (BRUNTON et al., 2008; PENTEADO, 2003;).

O principal sintoma clínico relacionado à deficiência de vitamina K consiste na maior tendência de apresentar sangramentos (hipoprotrombinemia). Também são comuns as ocorrências de equimoses, hematúria, sangramento gastrointestinal e hemorragia pós-operatória, podendo ocorrer também hemorragia intracraniana (BRUNTON et al., 2008).

Outras evidências clínicas apontam para o fato da vitamina K desempenhar papel na manutenção do esqueleto, sendo que baixas concentrações dessa vitamina estão associadas aos déficits de densidade óssea e ocorrência de fraturas (BRUNTON et al., 2008).

Os mecanismos de absorção da filoquinona e das menaquinonas variam de acordo com a sua solubilidade. Na presença de sais biliares e suco pancreático esses compostos são absorvidos adequadamente pelo intestino (BRUNTON et al., 2008).

As necessidades de vitamina K em seres humanos ainda não foram estabelecidas com precisão. A filoquinona e as menaquinonas não são tóxicas para animais mesmo se ingeridas em quantidades extremamente elevadas quando comparadas ao consumo diário recomendado estabelecido em 1 micrograma/kg (BRUNTON et al., 2008).

A vitamina K é encontrada, em grandes quantidades como filoquinona, em vegetais verdes como brócolis, couve e espinafre, e em óleos vegetais, como soja, oliva e canola. A filoquinona é encontrada em baixa concentração nas frutas, raízes e tubérculos, ao passo que produtos de origem animal apresentam teores significativos de menaquinonas (PENTEADO, 2003).

A filoquinona presente nos óleos vegetais pode apresentar reduções da ordem de 11% quando submetida a altas temperaturas, sendo também extremamente sensível a luz (PENTEADO, 2003).

## Carboidratos

Os carboidratos ou açúcares formam um dos maiores grupos de compostos orgânicos encontrados na natureza e, em conjunto com as proteínas, compõem os principais constituintes químicos dos organismos vivos (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

Os carboidratos constituem a fonte de energia mais simples e fácil de ser obtida em grandes quantidades a partir dos alimentos. Dependendo da localidade, aspectos culturais e *status* econômico, os carboidratos podem representar entre 40 a 80% da ingestão calórica diária. Em geral, a população nos níveis econômicos mais baixos tende a consumir alimentos com um elevado teor de carboidratos, como arroz (FAO/WHO, 1998).

Os açúcares não são somente fonte de energia, mas também exercem outros papéis importantes, como adoçantes, fazendo com que o alimento torne-se mais palatável, além de contribuir para a preservação do mesmo (FAO/WHO, 1998).

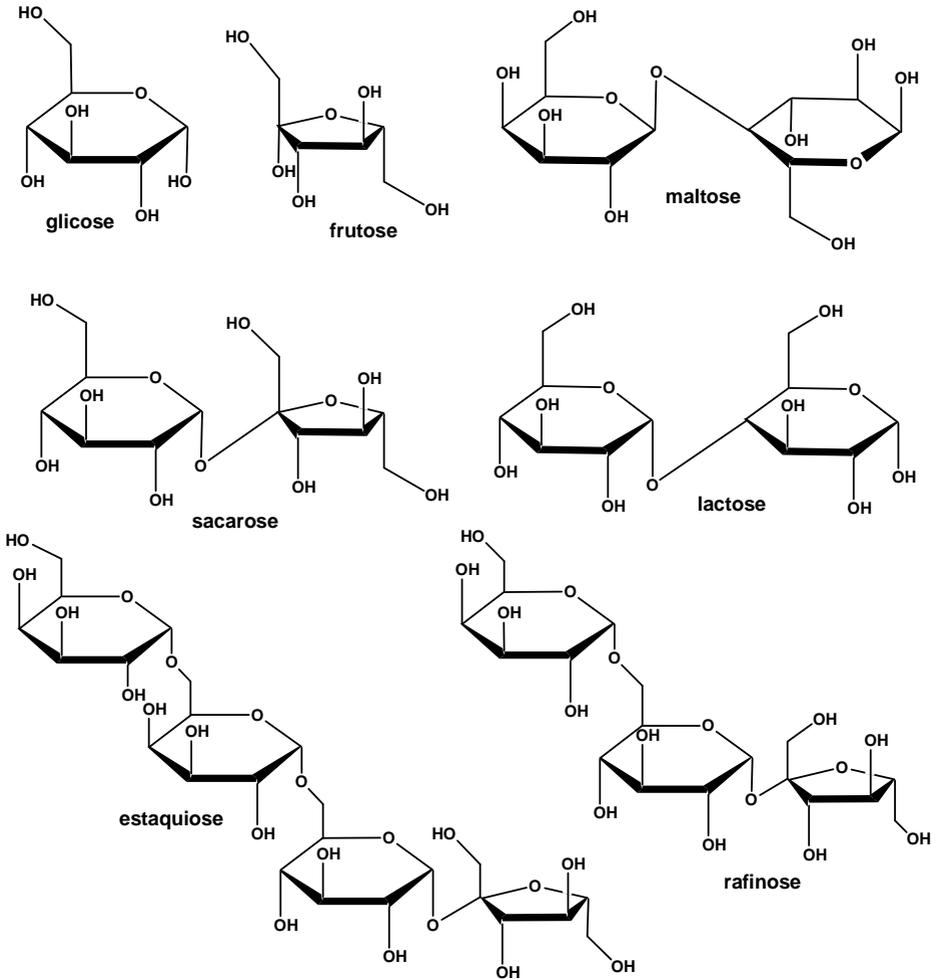
A designação carboidrato foi utilizada inicialmente acreditando-se que esses compostos na realidade, fossem hidratos de carbono como, por exemplo, a glicose, cuja fórmula molecular é  $C_6H_{12}O_6$  e pode ser reescrita como  $C_6(H_2O)_6$ .

Os açúcares são encontrados na natureza como aldeídos poli-idroxilados, cetonas e alcoóis, podendo formar polímeros através de ligações de tipo acetal. Apresentam formas cíclicas (hexoses), sendo constituídos por anéis de cinco membros, denominados furanoses, ou anéis de seis membros, denominados piranoses (Figura 14).

De acordo com seu grau de polimerização, os carboidratos são classificados em três grandes grupos: açúcares, oligossacarídeos e polissacarídeos. Os açúcares são subdivididos em monossacarídeos, dissacarídeos e poliois. Os oligossacarídeos são subdivididos em malto-oligossacarídeos e demais oligossacarídeos, ao passo que os polissacarídeos são subdivididos em amido e polissacarídeos não derivados do amido (FAO/WHO, 1998).

Os oligossacarídeos apresentam em sua estrutura um número de unidades glicosídicas (unidades monoméricas) menor ou igual a 10, ao passo que os

polissacarídeos apresentam mais de dez unidades glicosídicas na estrutura química.



**Figura 14.** Estrutura química de alguns carboidratos encontrados nos alimentos.

### Monossacarídeos

Glicose: carboidrato mais comum, encontrado na forma livre nas frutas e no mel.

Frutose: ocorre na natureza em altas concentrações, encontrada nas frutas e no xarope de milho.

#### Dissacarídeos

Sacarose: dissacarídeo mais comum, encontrado na forma livre em tubérculos, frutas e cana-de-açúcar.

Lactose: dissacarídeo encontrado no leite dos mamíferos, que ocorre na forma livre.

Maltose: dissacarídeo proveniente da hidrólise do amido, não ocorrendo na forma livre.

#### Polióis

Sorbitol e manitol: utilizados como adoçantes.

#### Oligossacarídeos

Malto oligossacarídeos: produzidos pela hidrólise do amido. Ex: maltodextrinas

#### Outros oligossacarídeos

Rafinose (trissacarídeo) e estaquiose (tetrassacarídeo): estão presentes nas sementes das leguminosas, sendo os açúcares majoritários dos grãos de soja.

#### Polissacarídeos

Amido: presente nos grãos dos cereais e nos tubérculos, formado por cadeias de amilose e amilopectina.

#### Polissacarídeos não derivados do amido

Glicogênio: constitui uma das reservas de energia do organismo.

Celulose e hemicelulose: constituintes da parede celular vegetal.

O monossacarídeo mais abundante na natureza é a glicose, sendo encontrado na forma livre nas frutas e no mel. Constitui a principal fonte de energia dos organismos vivos e é o único carboidrato que constitui os polissacarídeos citados anteriormente.

A sacarose, obtida da cana-de-açúcar e da beterraba, é o dissacarídeo mais importante seja pela quantidade e frequência com as quais é encontrado na natureza, como pela sua importância na alimentação humana (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

Na natureza, todas as plantas produzem sacarose como fonte de energia a partir do processo de fotossíntese. Além disso, este açúcar pode ser facilmente hidrolisado pela ação de enzimas ou em meio ácido produzindo os monossacarídeos glicose e frutose.

Depois da sacarose, o açúcar (um oligossacarídeo) que ocorre com maior frequência nos vegetais (leguminosas) é a rafinose, também conhecida como galactosilacarose, pois sua hidrólise completa produz os monossacarídeos frutose, glicose e galactose (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

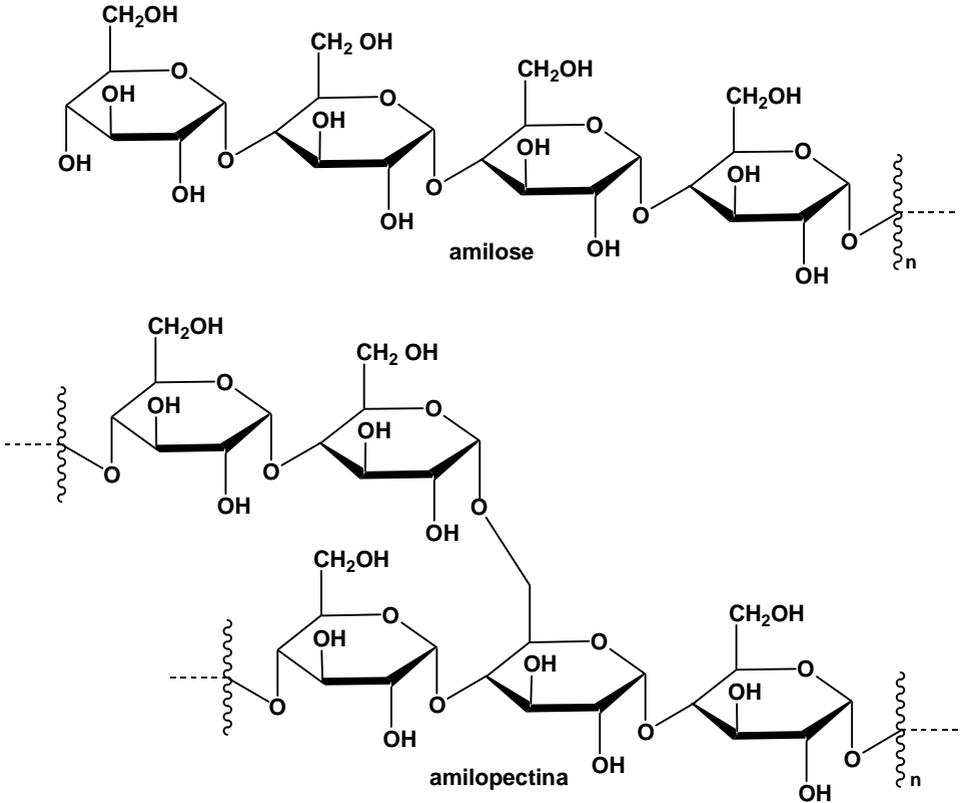
Os polissacarídeos são macromoléculas naturais, que ocorrem na maioria dos organismos vivos, e exercem uma série de funções biológicas distintas. São formados pela ligação de centenas e até milhares unidades glicosídicas (monossacarídeos), como no caso do amido, celulose e glicogênio. Apresentam alta massa molecular podendo atingir, em alguns casos, massas moleculares acima de um milhão. Diferem dos oligossacarídeos não somente pela massa molecular, mas também por apresentarem cadeias glicosídicas lineares e ramificadas.

A celulose é um polissacarídeo encontrado nas paredes das células vegetais onde é responsável por reforçar as estruturas celulares (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

O amido constitui a maior reserva de energia de todos os vegetais, sendo encontrado em sementes, tubérculos, rizomas e bulbos. Como pode ser facilmente hidrolisado pelo sistema digestivo, caracteriza-se como um dos componentes mais importantes da nutrição humana.

Em termos de constituição química, o amido é formado por dois polissacarídeos denominados amilose e amilopectina, os quais são constituídos por unidades de glicose unidas através de ligações glicosídicas (Figura 15).

As proporções entre amilose e amilopectina na molécula do amido variam de acordo com a natureza do vegetal, sendo que a amilose é um polissacarídeo linear, ao passo que a amilopectina constitui a fração altamente ramificada (BOBBIO; BOBBIO, 1995).



**Figura 15.** Estrutura química das cadeias de amilopectina e amilose presentes na molécula do amido.

Em termos de fisiologia, os carboidratos participam de diversos processos metabólicos como: (1) fornecimento de energia, (2) promoção de saciedade, (3) controle da glicose sanguínea e do metabolismo da insulina, (4) glicosilação de proteínas, (5) metabolismo do colesterol e triglicerídeos, (6) desidroxilação de ácidos biliares, (7) fermentação, (8) laxação e mobilidade intestinal e (9) efeitos sobre a flora intestinal (FAO/WHO, 1998).

Enquanto os carboidratos são a fonte mais acessível para se obter energia para os diversos processos oxidativos, os alimentos ricos em carboidratos também agem como veículos no transporte de micronutrientes, mantêm a homeostase glicêmica, assim como o funcionamento e a integridade do intestino (FAO/WHO, 1998).

Uma dieta considerada ideal deve suprir, no mínimo, 55% e, no máximo, 75% da demanda energética diária através dos carboidratos. O restante dessa demanda deve ser suprido através das proteínas e dos ácidos graxos (FAO/WHO, 1998).

## Lipídios

Abrangem uma classe heterogênea de compostos presentes nos seres vivos dentre os quais estão os óleos, as gorduras e as ceras, além dos fosfolipídios, que são constituintes das membranas celulares.

Os ácidos graxos são formados por uma longa cadeia carbônica e um grupo carboxila terminal. Entre as principais funções fisiológicas descritas para os lipídios, tem-se: (1) são elementos de construção das moléculas de fosfolipídios e glicolipídios, os quais são importantes componentes das membranas celulares, além de controlar sua fluidez; (2) derivados dos ácidos graxos atuam como hormônios e mensageiros intracelulares; (3) são moléculas fornecedoras de energia; (4) como constituintes da epiderme na forma de acil ceramidas, mantêm a barreira de permeabilidade epidérmica.

As principais características dos lipídios são: (1) insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos apolares como os hidrocarbonetos e (2) são ésteres de ácidos graxos monocarboxílicos alifáticos de cadeia longa (COULTATE, 2004).

Praticamente todos os ácidos graxos encontrados nas gorduras naturais apresentam uma cadeia carbônica linear com um número par de átomos de carbono variando entre 14 e 24 átomos, onde os ácidos graxos com 16 e 18 carbonos são os mais comuns (Tabela 2).

Estão divididos entre ácidos graxos saturados, que não apresentam ligações duplas na estrutura carbônica, e ácidos graxos insaturados, que apresentam ligações duplas na estrutura carbônica, podendo o número de ligações duplas atingir até seis ligações.



Os átomos de carbono C-2 e C-3 são geralmente denominados como ( $\alpha$ ) e ( $\beta$ ), o carbono metílico do final da cadeia carbônica como ( $\omega$ ) e a posição de uma dupla ligação é indicada pelo símbolo ( $\Delta$ ), seguida por um índice. Nos ácidos graxos insaturados, o nome do composto pode ser escrito de forma simplificada como C16:1, indicando tratar-se de um ácido graxo com dezesseis átomos de carbono e apenas uma insaturação (dupla ligação).

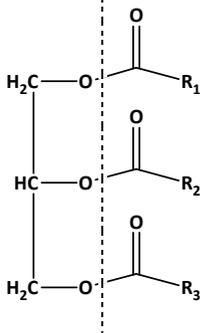
Neste caso, a posição da dupla ligação na cadeia carbônica não foi definida e esta designação pode ser reescrita como ácido *cis*- $\Delta^9$ -hexadecenoico. Esta nova designação indica que se trata de um ácido graxo com 16 átomos de carbono e apenas uma ligação dupla *cis* localizada entre os carbonos C-9 e C-10. Além disso, a posição da ligação dupla pode ser indicada pela contagem a partir do carbono ( $\omega$ ). Neste caso, um ácido graxo  $\omega$ -3 apresenta uma ligação dupla no carbono 3, iniciando-se a contagem a partir do carbono  $\omega$ .

Nos ácidos graxos insaturados podem ocorrer uma ou mais ligações duplas cuja configuração é, geralmente, *cis*.

Uma das reações mais importantes dos ácidos graxos ocorre com os alcoóis em meio ácido formando, através da reação de esterificação, os ésteres.

Os óleos e as gorduras são ésteres formados a partir da reação de esterificação entre um ácido graxo com elevada massa molecular e o glicerol (um álcool), dando origem aos glicerídios. Dentre os glicerídios, os chamados triglicerídios são os ésteres mais importantes, pois são os componentes principais dos óleos e gorduras (Figura 17).

**molécula de glicerol**      **cadeia do ácido graxo**



**Fig. 17.** Estrutura química básica de um triglicerídeo.

**$R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  são as cadeias dos ácidos graxos e podem ser iguais ou distintas entre si.**

Os triglicerídios são reservas de energia metabólica altamente concentrada, pois os ácidos graxos que os constituem são pouco oxidados. Em conjunto com os triglicerídios, os alimentos *in natura* e os ingredientes alimentares também são fontes de diglicerídios e monoglicerídios (FAO/WHO, 1994).

Nos glicerídios existe certa especificidade quanto à posição ocupada pela cadeia do ácido graxo na molécula de glicerol. Os alimentos de origem animal tendem a apresentar um ácido graxo saturado na posição 1 e um ácido graxo insaturado na posição 2. Porém, na posição 3, parece haver uma distribuição randômica entre ácidos graxos saturados e insaturados. No entanto, os ácidos poli-insaturados tendem a se ligar nesta posição (FAO/WHO, 1994).

Os óleos e as gorduras diferem entre si apenas pelo fato de, à temperatura ambiente, os óleos serem líquidos e as gorduras sólidas.

Quando são aquecidos na presença de uma base (por exemplo, hidróxido de sódio ou soda cáustica) os glicerídios são hidrolisados, produzindo o glicerol (álcool) e sais dos ácidos graxos (os sabões) (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

As gorduras e os óleos vegetais são constituídos de ácidos graxos insaturados, com predominância dos ácidos oleico, linoleico e linolênico. Os óleos de amendoim, girassol, milho, algodão e oliva são os que apresentam as maiores concentrações dos ácidos graxos oleico e linoleico.

Na tecnologia de alimentos, a reação mais importante dos ácidos graxos consiste na sua oxidação na presença do oxigênio atmosférico. Esta reação ocorre através de um mecanismo radicalar levando à produção de aldeídos, cetonas e demais compostos que proporcionam um cheiro e sabor desagradáveis ao alimento (gordura rancificada). Quanto mais insaturado for o ácido graxo ou a gordura, mais facilmente ocorrerá a reação de rancificação (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

Dentre as principais fontes de alguns dos ácidos graxos saturados, pode-se citar:

Ácido butírico: em vários óleos forma diferentes ésteres, sendo encontrado como ácido livre na gordura do leite de vários mamíferos (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

Ácidos caprílico e caproico: encontrados na gordura do leite de cabra (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

Ácidos láurico, palmítico e esteárico: são os ácidos graxos saturados de ocorrência mais abrangente na natureza. O ácido láurico é encontrado no óleo das sementes das espécies pertencentes às famílias Lauraceae e Palmaceae e, juntos, podem representar 50% dos ácidos graxos totais (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

O ácido palmítico é encontrado em todas as gorduras animais e vegetais. No óleo das sementes de algodão e dendê, e na gordura do leite, representa 40% e 27% dos ácidos graxos totais, respectivamente. Juntamente com o ácido esteárico, representam 40% dos ácidos graxos totais encontrados nas gorduras animais (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

O ácido esteárico ocorre em concentrações menores na natureza quando comparado ao ácido palmítico. Esse ácido graxo é encontrado na maioria dos óleos das sementes e polpas de frutas e na gordura do leite (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

Ácido mirístico: encontrado em concentrações variáveis na maioria das gorduras vegetais e animais representando até 12% dos ácidos graxos presentes na gordura do leite (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

Os ácidos graxos insaturados são encontrados em diversas fontes das quais se podem citar:

Ácido oleico: é considerado o principal ácido graxo de todas as gorduras naturais representando até 50% do total de ácidos graxos das gorduras animais e vegetais. No óleo de oliva representa até 80% do total de ácidos graxos. Também é encontrado em grandes quantidades nos óleos de mamona e dendê (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

Ácido linoleico: contém duas ligações duplas na sua estrutura, sendo o ácido graxo insaturado mais importante presente nos óleos e gorduras vegetais. No óleo de girassol, representa até 75% dos ácidos graxos totais (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

Ácido linolênico: contém três ligações duplas na sua estrutura, sendo encontrado em pequenas quantidades nas gorduras extraídas de sementes onde sua ocorrência é frequente (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

A maior parte dos ácidos graxos presentes na dieta estão na forma de triacilglicerídios e devem ser hidrolisados para produzir os ácidos graxos e os monoacilglicerídios antes de serem absorvidos (FAO/WHO, 1994).

Em termos nutricionais, a quantidade de ácidos graxos a ser ingerida, com o intuito de manter a saudabilidade, varia de acordo com o estilo de vida e de indivíduo para indivíduo. Um consumo adequado é particularmente importante durante os períodos de gestação e lactação (FAO/WHO, 1994).

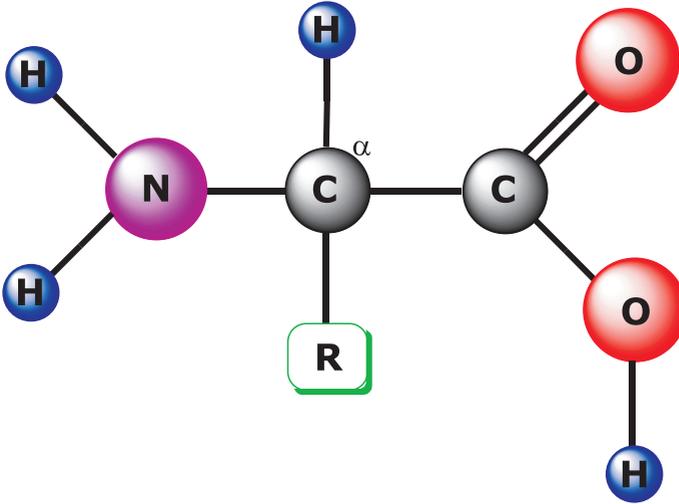
Para a maioria dos adultos, a ingestão de gorduras deve suprir no mínimo 15% do seu gasto energético, ao passo que, para as mulheres em idade reprodutiva, este valor deve ser de 20% no mínimo. No caso das crianças, o consumo adequado de ácidos graxos afeta diretamente o crescimento e o desenvolvimento. Os ácidos araquidônico e docosaenoico (DHA) são importantes para o desenvolvimento cerebral. O leite materno é uma excelente fonte desses compostos e supre de 50 a 60% da demanda energética da criança sob a forma de gorduras (FAO/WHO, 1994).

A alimentação das crianças deve apresentar um balanço adequado nas proporções entre as gorduras e demais nutrientes. Em formulações para alimentação infantil, a composição de ácidos graxos deve ser similar ao leite materno em termos de composição e proporção. Durante o desmame e até os dois primeiros anos de vida, a dieta da criança deve fornecer em torno de 30 a 40% do seu consumo energético sob a forma de gorduras e fornecer os ácidos graxos essenciais em níveis similares aos encontrados no leite materno (FAO/WHO, 1994).

## Aminoácidos

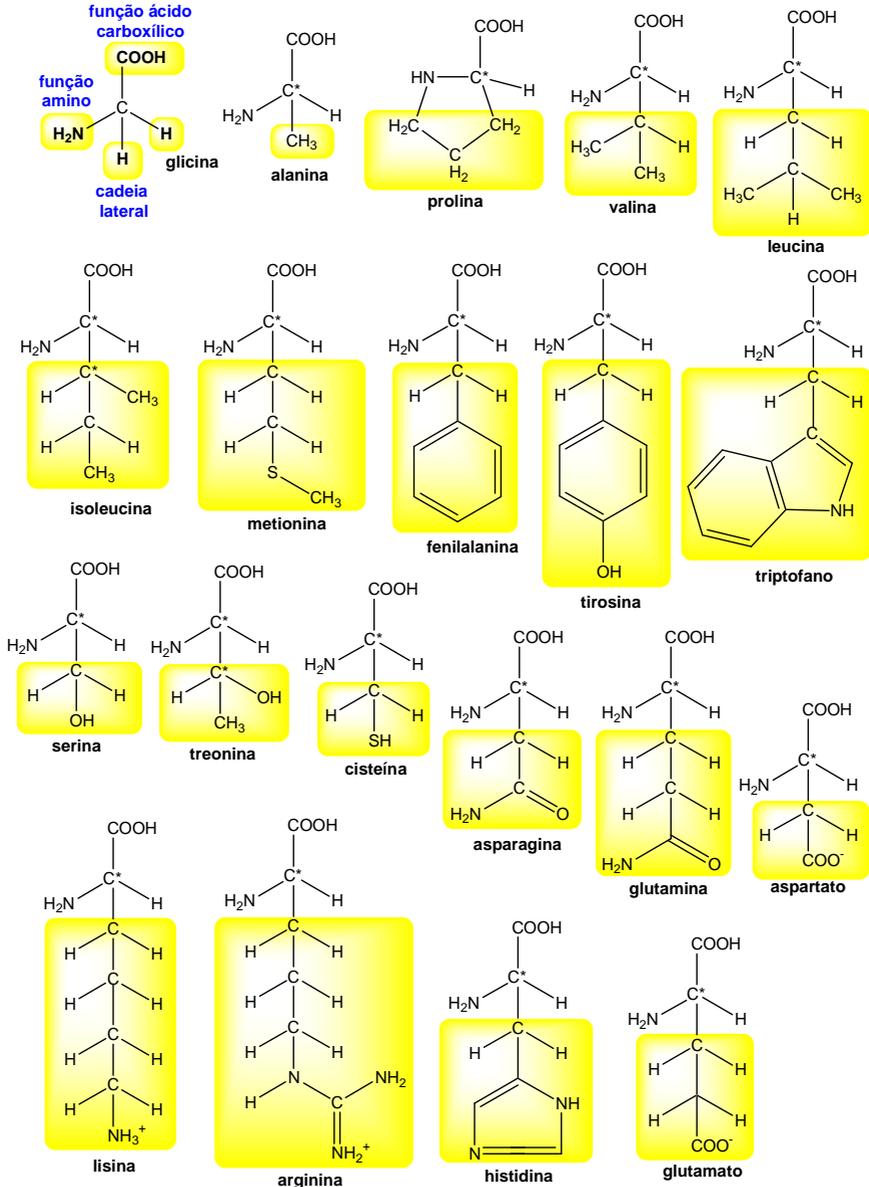
As proteínas constituem um importante grupo de moléculas orgânicas encontradas em todos os organismos vivos e são responsáveis pela execução de uma série de ações específicas como catálise enzimática, transporte e armazenamento, movimento coordenado, sustentação mecânica, proteção imunológica, geração e transmissão de impulsos nervosos, controle do crescimento e da diferenciação celular (STRAYER, 1988.)

Os aminoácidos são as unidades básicas formadoras das proteínas, sendo nutricionalmente importantes para a saúde humana e animal, o que torna fundamental a sua quantificação nos alimentos. Todos os vinte aminoácidos encontrados nas proteínas apresentam um grupo ácido carboxílico, um grupo amino, um átomo de hidrogênio e uma cadeia carbônica, denominada cadeia lateral, ligados ao mesmo átomo de carbono especificado por carbono  $\alpha$  (Figura 18).



**Figura 18.** Estrutura básica de um aminoácido.

Nas proteínas, são encontrados vinte aminoácidos cujas cadeias laterais variam em tamanho, forma, carga, capacidade de formação de ligação de hidrogênio e reatividade química (Figura 19). Em solução com pH neutro, os aminoácidos são basicamente íons dipolares ao invés de moléculas não ionizadas. Na forma dipolar, o grupo amina encontra-se protonado ( $-\text{NH}_3^+$ ) e o ácido carboxílico dissociado ( $-\text{COO}^-$ ).



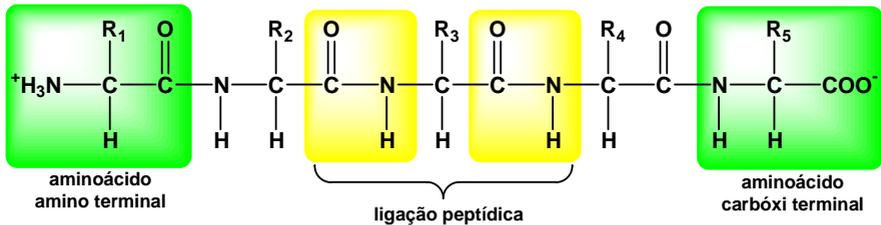
\*Indica a presença de um carbono quiral na molécula

**Figura 19.** Estrutura química dos aminoácidos nas proteínas dos alimentos.

Esses vinte aminoácidos encontrados nas proteínas são denominados aminoácidos padrão ou normais para diferenciá-los dos aminoácidos que são modificados no interior das mesmas, quando as proteínas são sintetizadas, além de outros tipos de aminoácidos presentes nos organismos vivos (LEHNINGER; NELSON; COX, 1995).

Os aminoácidos considerados padrão dividem-se em não essenciais e essenciais, sendo que os essenciais não são produzidos pelos animais e são obtidos unicamente através da dieta. Os aminoácidos essenciais são: fenilalanina, valina, triptofano, treonina, lisina, leucina, isoleucina e metionina. Por outro lado, os aminoácidos não essenciais são: glicina, alanina, serina, cisteína, tirosina, arginina, ácido aspártico, ácido glutâmico, histidina, asparagina, glutamina e prolina (LEHNINGER; NELSON; COX, 1995).

Nas proteínas, o grupo carboxila de um aminoácido liga-se ao grupo amino de outro aminoácido através de uma ligação peptídica. Quando muitos aminoácidos estão ligados entre si por ligações peptídicas, tem-se a formação de um polipeptídeo, resultando na formação de uma cadeia linear que apresenta, em uma extremidade, um grupo amino e, na extremidade oposta, um grupo carboxila (Figura 20).



**Figura 20.** Estrutura química básica de um peptídeo.

A análise da composição de aminoácidos é uma ferramenta fundamental e com aplicações em distintos campos científicos como em pesquisas clínicas, biológicas, biotecnológicas, nutrição e tecnologia de alimentos, na detecção da adulteração de alimentos e bebidas, na detecção de aminoácidos potencialmente tóxicos ou de novos peptídeos produzidos por uma nova tecnologia de processamento (MACRAE, 1988).

A determinação da concentração de aminoácidos em um alimento exige que as proteínas sejam inicialmente hidrolisadas e seus aminoácidos

constitutivos liberados. As hidrólises ácida, alcalina ou enzimática têm sido utilizadas com esse propósito, mas a melhor estratégia analítica reside em realizar a hidrólise com HCl 6M por 24h a 110°C.

No entanto, este método não é aplicado diretamente à metionina, que deve ser oxidada inicialmente com ácido perbórico à metionina sulfona, assim como para cistina e cisteína, que também devem ser previamente oxidadas a ácido cisteico com ácido perbórico.

A quantificação precisa dos teores de metionina e cisteína presente nos alimentos é crucial, pois esses aminoácidos sulfurados são muito importantes em termos nutricionais; porém, são encontrados em baixas concentrações em alguns alimentos.

Por outro lado, o triptofano sofre extensiva degradação, levando à geração de amônia quando submetido à hidrólise ácida. Desta forma, a hidrólise do triptofano deve ser realizada em meio alcalino.

## Aditivos

Os aditivos são caracterizados como “substância ou mistura de substâncias que são adicionadas ao alimento com o intuito de se obter um efeito específico”. Com o surgimento de novas técnicas de processamento e produção de alimentos, o uso de aditivos tem aumentado gradativamente e, atualmente, são conhecidas mais de 2500 substâncias que são adicionadas como aditivos (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Os aditivos podem ser divididos em algumas categorias principais: (1) conservantes, (2) aditivos nutricionais, (3) corantes, (4) aromas, (5) modificadores de sabor, (6) texturizantes e (7) aditivos mistos.

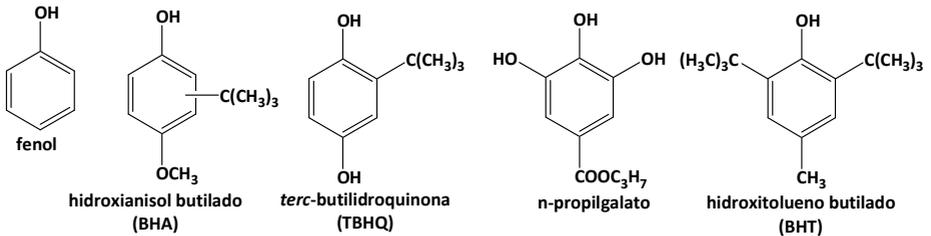
Os conservantes estão divididos em compostos antimicrobianos, antioxidantes e agentes antiescurecimento.

Os agentes antimicrobianos são aplicados para impedir o crescimento de micro-organismos patogênicos como fungos, leveduras e bactérias, aumentando assim a vida útil dos alimentos. Os antimicrobianos estão subdivididos em classes de compostos químicos, dentre as quais se podem citar: (1) ácido benzóico e benzoato de sódio, (2) ácido sórbico e sorbatos, (3) ácidos orgânicos de cadeia curta - acético, láctico, propiônico, fumárico,

cítrico, tartárico, succínico, málico, (4) sais inorgânicos - nitritos, sulfitos, fosfatos, cloreto de sódio, (5) parabenos - ésteres do ácido *p*-hidroxibenzoico e (6) peróxidos - peróxido de hidrogênio (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Os antioxidantes previnem a oxidação de lipídios e vitaminas e são utilizados, em um primeiro momento, para evitar a ocorrência de processos de auto-oxidação e conseqüente surgimento de rancidez (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Como antioxidantes podem ser aplicadas substâncias naturais como a vitamina C (ácido ascórbico) e vitamina E (tocoferol) ou substâncias sintéticas fenólicas como fenol, hidroxianisol butilado (BHA), hidroxitolueno butilado (BHT), *terc*-butilidroquinona (TBHQ), *n*-propilgalato, octilgalato, dodecilgalato (Figura 21) (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).



**Figura 21.** Estrutura química de alguns antioxidantes sintéticos utilizados como aditivos na preservação dos alimentos.

Os agentes antiescurecimento são utilizados para prevenir o escurecimento dos alimentos causado ou não por ação enzimática, principalmente no caso de frutas desidratadas e hortaliças. Nesta categoria, os compostos mais utilizados são vitamina C, ácido cítrico e sulfito de sódio (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Os aditivos nutricionais são utilizados para aumentar o valor nutricional dos alimentos ou repor as perdas ocorridas durante o processamento. Dentre os aditivos mais utilizados, têm-se as vitaminas (A, complexo B, C, D, E, K, ácido pantotênico, ácido fólico, biotina, colina, etc.), minerais (cálcio, magnésio, fósforo, cobre, flúor, iodo, ferro, manganês, zinco), aminoácidos e fibras (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

As vitaminas, em geral, são adicionadas aos cereais e aos produtos derivados de cereais, assim como os minerais ferro e iodo. Outras estratégias incluem a adição de vitamina D ao leite e vitamina B em produtos de panificação (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

O aminoácido lisina, geralmente, é adicionado aos cereais para aumentar o seu valor proteico, assim como as proteínas de soja. No entanto, esses compostos são utilizados na maior parte como texturizantes. Fibras derivadas da celulose, pectina e amido não apresentam valor nutricional direto; porém, proporcionam benefícios indiretos à saúde e atuam como texturizantes (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Os corantes são aplicados com o propósito de aumentar a atratividade e consequente aceitabilidade dos alimentos. A cor é o primeiro atributo sensorial pelo qual o alimento é julgado, de forma que a qualidade e o aroma estão intimamente ligados à cor (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Os corantes são ingredientes muito importantes em determinados tipos de alimentos como produtos de confeitaria, gelatinas, *snacks* e bebidas, uma vez que muito desses produtos não apresentam qualquer coloração (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Existem duas categorias nas quais os corantes utilizados atualmente estão inseridos: (1) corantes obtidos de fontes vegetais, animais e minerais e (2) corantes sintéticos. Dentre as principais categorias de corantes naturais têm-se as antocianinas, carotenóides, clorofilas, betalaínas, riboflavina, caramelos, pigmentos de insetos (ex. vermelho de cochonilha - pigmento de tom vermelho intenso produzido por uma antraquinona, o ácido carmínico, extraído do besouro *Dactylopius coccus*), turmerico (pigmento de coloração amarela extraído das raízes de *Curcuma longa*), páprica (pigmento avermelhado intenso extraído da espécie de pimenta *Capsicum annum*) e crocetina (principal corante extraído do açafrão) (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Os corantes sintéticos estão divididos em quatro classes principais (1) azo compostos, (2) trifenilmetano, (3) índigos e (4) xantrenos (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Alguns alimentos produzidos com fins nutricionais específicos podem apresentar sabor indesejado. Desta forma, os aromas podem ser aplicados

para tornar os alimentos mais palatáveis. Outra aplicação da incorporação dos aromas nos alimentos tem por objetivo compensar as perdas ocorridas durante as etapas de processamento ou ressaltar um aroma em específico (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Os aromas, em geral, constituem misturas de compostos sintéticos de diferentes classes químicas (fenóis, éteres, acetais, compostos carbonílicos, ésteres, lactonas, compostos sulfurados) ou misturas de compostos naturais (óleos essenciais) (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Os modificadores de sabor compreendem a maior classe de aditivos utilizados em alimentos e são divididos em edulcorantes (adoçantes), sabores naturais, sabores sintéticos e intensificadores de sabor. Entre os adoçantes calóricos mais utilizados, pode-se citar a sacarose, glicose, frutose e maltose; porém, entre os adoçantes não calóricos ou de baixa caloria, os principais são sacarina e aspartame (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Os intensificadores de sabor são utilizados com o propósito de aumentar ou modificar o sabor dos alimentos. Glutamato monossódico e alguns nucleotídeos são muito utilizados na culinária oriental e em sopas para realçar outros sabores em específico (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Os texturizantes são aplicados para aumentar ou modificar a textura ou a palatabilidade geral do alimento. Nesta categoria de aditivos estão inseridos os emulsificantes, os estabilizantes e os condicionadores de massas. Os emulsificantes têm o papel primário de propiciar a dispersão dos componentes no alimento e são aplicados compostos naturais como lecitina e mono diglicerídios (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

Os estabilizantes, como as gomas, carrageanas e amidos modificados são utilizados para proporcionar a textura desejada em alimentos como sorvetes; porém, são também utilizados para impedir a evaporação e deterioração de compostos voláteis. Os fosfatos são muito utilizados para modificar a textura de alimentos ricos em proteínas e amido e são muito úteis para estabilizar vários produtos lácteos e cárneos (BRANEN; DAVIDSON; SALMINEN, 1990).

## Alimentos funcionais

Existem duas classes majoritárias de metabólitos presentes no reino vegetal: primários e secundários. Os compostos secundários são únicos de uma espécie em particular ou de ocorrência relativamente restrita (CECHINEL FILHO; YUNES, 1998).

As substâncias oriundas do metabolismo secundário possuem múltiplas funções no ciclo de vida da planta como mediadoras de interações, atração de agentes polinizadores, etc.

Além disso, esses metabólitos de origem vegetal têm papel fundamental na determinação da qualidade dos alimentos, assim como sua aplicação como medicamentos, flavorizantes, corantes naturais, etc. (VERPOORTE; MEMELINK, 2002).

O termo alimentos funcionais foi introduzido pela primeira vez no Japão em meados dos anos 1980 e refere-se aos alimentos processados contendo ingredientes que, além da função nutritiva, ajudam em funções específicas do organismo (HASLER, 1998). Desta forma, um alimento funcional apresenta funções nutricionais, metabólicas e terapêuticas, podendo atuar na prevenção e controle de uma determinada doença.

Os estudos envolvendo os compostos de origem vegetal que possuam capacidade antioxidante ou potencial de interferir na qualidade do alimento e na saúde dos consumidores constituem uma área de pesquisa emergente.

Evidências científicas têm indicado que o alimento, além das funções nutricionais, pode contribuir na redução do risco de desenvolvimento de doenças crônico-degenerativas, auxiliar no tratamento de enfermidades, estimular o sistema imunológico e regular o metabolismo de glicídios e lipídios, etc.

Está claro que existem outros componentes em uma dieta balanceada, além dos nutrientes tradicionais, que podem reduzir o risco de desenvolvimento de doenças. Os antioxidantes presentes nos alimentos são substâncias capazes de prevenir ou retardar significativamente a oxidação de outros componentes mais facilmente oxidáveis tais como o DNA e as proteínas (SHI; MAZZA; LE MAGUER, 2002).

O estresse oxidativo é resultado do desequilíbrio entre as espécies reativas de oxigênio (ROS) como íon superóxido ( $O_2^{\cdot-}$ ), peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), radical hidroxila (OH) e espécies reativas de nitrogênio (RNS), causando a morte das células aeróbicas (SCANDALIOS, 2005).

Muitos compostos presentes nos alimentos, principalmente nas frutas e verduras, com alta capacidade antioxidante, são oriundos do metabolismo vegetal secundário e têm efeitos potenciais na prevenção de doenças crônico-degenerativas, tais como câncer e doenças cardiovasculares (SHI; MAZZA; LE MAGUER, 2002; WILLCOX; ASH; CATIGNANI, 2004).

Frutas e hortaliças sempre foram consideradas como alimentos reguladores do metabolismo por conterem uma ampla variedade de vitaminas e minerais. Do ponto de vista das propriedades funcionais, esses alimentos têm sido recomendados devido ao alto teor de vitamina C, carotenóides, flavonoides e substâncias sulfuradas entre outros (SGARBIERI; PACHECO, 1999).

Devido a sua capacidade de atuar como antioxidante, esses compostos reduzem os efeitos adversos produzidos pelo excesso de radicais livres no organismo, protegendo contra o estresse oxidativo (SGARBIERI; PACHECO, 1999).

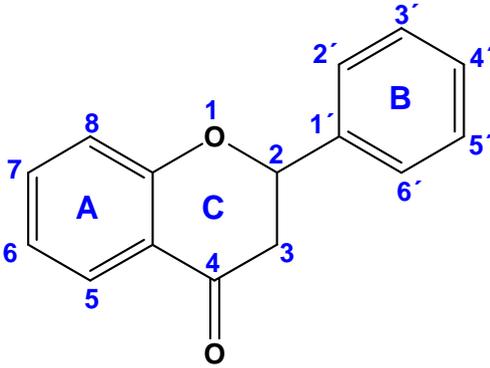
## Compostos emergentes

### Flavonoides

Muitos compostos de origem vegetal, biologicamente ativos em baixas concentrações, estão amplamente distribuídos por todo o reino vegetal e são encontrados em muitos vegetais utilizados na alimentação humana. Este foco aplica-se principalmente aos compostos naturais com estrutura fenólica e, nesta linha, a atenção principal reside nos flavonoides (KÜHNAU, 1976).

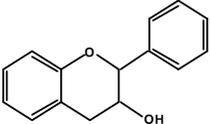
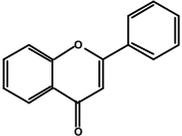
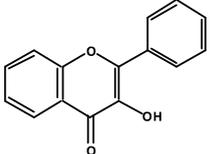
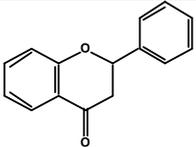
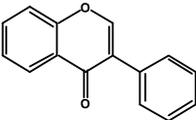
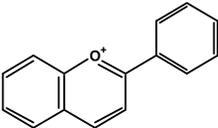
O termo flavonoide é usualmente empregado para descrever uma gama variada de compostos naturais que apresentam uma estrutura carbônica básica do tipo  $C_6-C_3-C_6$ . Os flavonoides são representados por uma série de subclasses distintas dentre as quais se podem citar: (1) flavanois, (2) flavonas, (3) flavonois, (4) flavanonas, (5) isoflavonas e (6) antocianinas (Tabela 3).

A estrutura básica de todas as substâncias que integram uma das subclasses pertencentes aos flavonoides tem como característica a presença de grupo 2-fenilbenzo- $\gamma$ -pirano ou núcleo *flavano* representado por um sistema formado por dois anéis benzênicos (A e B) ligados entre si através do oxigênio do grupo pirano do anel C (Figura 22).



**Figura 22.** Estrutura química básica dos compostos pertencentes ao grupo dos flavonoides.

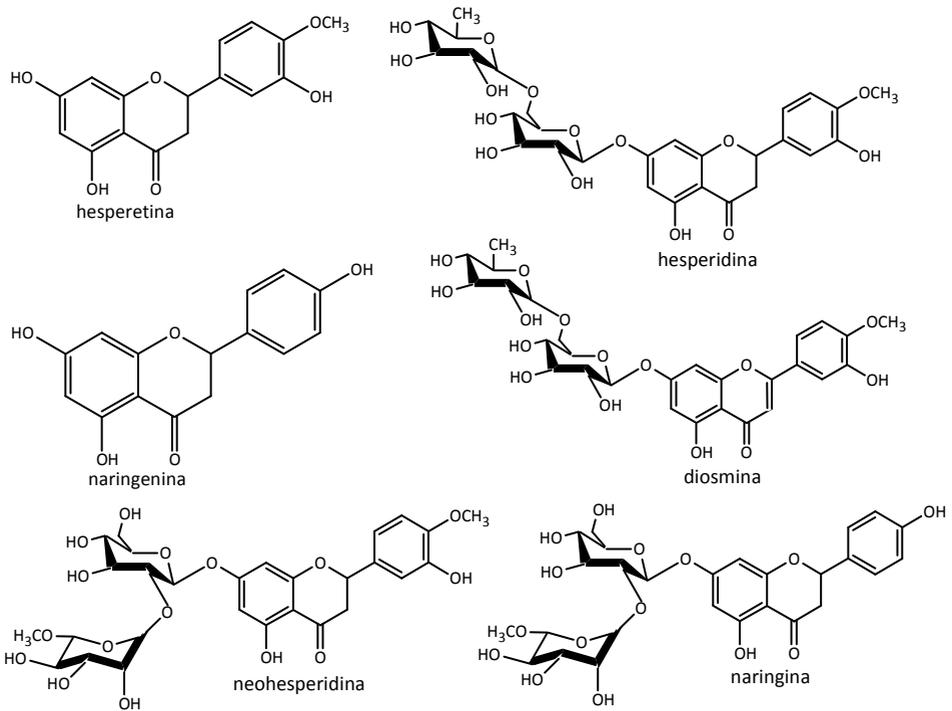
**Tabela 3:** Principais subclasses de metabólitos secundários que compõem a classe dos flavonoides.

SUBCLASSE	ESTRUTURA QUÍMICA GERAL	COMPOSTOS	FONTE ALIMENTAR
FLAVANOL		(+)-catequina (-)-epicatequina Epigallocatequinas	Chá ( <i>Camellia sinensis</i> )
FLAVONA		Crisina	Pele das frutas
		Apigenina	Salsa, aipo
		Rutina	Vinho tinto, citros, pele de tomate
		Luteolina	Pimenta vermelha
		Luteolina glicosilada	
FLAVONOL		Kaempferol	Alho-poró, brócolis, grapefruit, chá preto
		Quercetina	Cebola, alface, brócolis, tomate, chá, vinho tinto, amoras, azeite de oliva
FLAVANONA		Naringina Naringenina Taxifolina Hesperidina	Frutas cítricas (limão laranja, grapefruit, etc.)
ISOFLAVONA		Genistina Genisteína Daidzina Daidzeína Glicitina Gliciteína	Grãos de soja
ANTOCIANINAS		Apigenidina	Frutas coloridas
		Cianidina	Cereja, framboesa, morango

Os flavonoides constituem um dos maiores grupos de metabólitos vegetais secundários, são amplamente distribuídos nas famílias vegetais, sendo encontrados em quase todas as espécies. Atualmente, são conhecidos mais de 4000 flavonoides e esses compostos desempenham importantes funções fisiológicas, tanto nas plantas quanto nos animais (KÜHNAU, 1976; RIJKE et al., 2006).

O organismo humano, assim como o animal, não é capaz de sintetizar o núcleo flavano. Dessa forma, os flavonoides são compostos estritamente exógenos, presentes exclusivamente nos alimentos de origem vegetal. No organismo dos animais superiores, esses compostos são rapidamente metabolizados no rim, fígado e coração (KÜHNAU, 1976).

Nas plantas, o núcleo flavano pode comportar diferentes substituintes (hidroxila, metila, metoxila ou glicosídeos) ligados através de ligações O- ou C- em diferentes posições. Os diferentes substituintes possíveis que podem estar presentes na molécula, somados às diferentes posições e número de substituições, contribuem para a enorme diversidade e complexidade dos flavonoides encontrados na natureza (Figura 23) (KÜHNAU, 1976).



**Figura 23.** Diversidade química de alguns flavonoides encontrados nas espécies do gênero *Citrus*.

Nas plantas, os flavonóides estão envolvidos em mecanismos que respondem contra o estresse oxidativo causado pela radiação ultravioleta, em processos infecciosos causados por micro-organismos, assim como em processos de interação inseto-planta (RIJKE et al., 2006).

Os flavonoides, quando ingeridos por via oral, sofrem rapidamente processos catabólicos que ocorrem no trato intestinal. Desta forma, quando se busca avaliar a ação dos flavonoides no organismo, este fato deve ser levado em consideração. Os efeitos fisiológicos observados podem não ser causados pelos flavonoides que foram ingeridos, mas sim pelos produtos gerados na transformação química dos flavonoides no trato intestinal (KÜHNAU, 1976).

Esses processos catabólicos, que levam à degradação dos flavonoides no trato intestinal, são realizados exclusivamente pela microflora intestinal uma vez que a formação dos metabólitos de degradação é inibida quando são administrados antibióticos que agem no intestino (KÜHNAU, 1976).

Muitos dos metabólitos gerados nos processos de degradação dos flavonóides (ácidos fenólicos e lactonas) não apresentam efeitos fisiológicos consideráveis e podem, inclusive, ser tóxicos ao organismo. Além disso, os ácidos fenólicos formados na degradação dos flavonoides são encontrados naturalmente no corpo humano, pois são produtos de degradação de aminoácidos aromáticos e aminas (KÜHNAU, 1976).

Em função disso, pressupõe-se que somente os flavonoides presentes no alimento e que não sofram qualquer tipo de degradação contribuem significativamente para os efeitos fisiológicos atribuídos aos flavonoides. Além disso, a intensidade dos efeitos depende diretamente da quantidade desses compostos que foi ingerida e não metabolizada (KÜHNAU, 1976).

Estudos têm demonstrado que o percentual de degradação dos flavonoides pela flora intestinal está diretamente relacionado com o padrão de substituição do núcleo flavano. A ausência de grupos hidroxilas nas posições C-5, C-7 e/ou C-4' diminui ou inibe o grau de degradação, aumentando proporcionalmente a concentração do flavonoide não degradado (KÜHNAU, 1976).

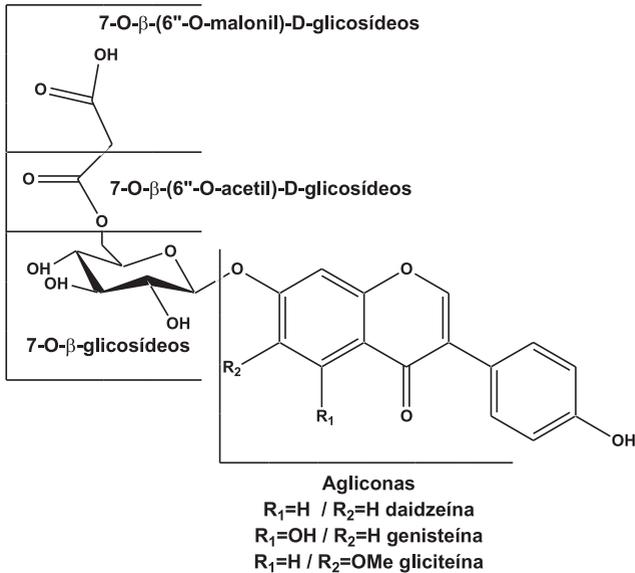
Os flavonoides amplamente distribuídos na natureza, isto é, que possuem como substituintes grupos hidroxila nas posições C-5, C-7, C-3' e C-4' (ex. luteolina, quercetina, rutina) são preferencialmente degradados pela microflora intestinal e, desta forma, somente uma pequena fração que foi ingerida é absorvida pelo organismo (KÜHNAU, 1976).

No entanto, a microflora não exerce apenas efeitos negativos na absorção dos flavonoides no trato gastrointestinal. A absorção dos flavonoides não glicosilados é um processo que ocorre naturalmente; porém, isso não ocorre com os flavonoides glicosilados. Neste caso, a presença da flora intestinal contribui para que os flavonoides glicosilados sejam extensivamente hidrolisados e facilmente absorvidos (KÜHNAU, 1976).

## Isoflavonas

Dentre as diferentes classes de compostos oriundos do metabolismo vegetal secundário, que não atuam como nutrientes, mas que estão despertando interesse no campo das pesquisas científicas, podemos citar as isoflavonas.

As isoflavonas são predominantemente encontradas em leguminosas e especialmente abundantes na soja (*Glycine max* L. Merrill). As três principais isoflavonas não glicosiladas da soja (agliconas) são genisteína, daidzeína e gliciteína; porém, nos grãos e nos produtos não fermentados, são encontradas principalmente como os glicosídeos genistina, daidzina e glicitina (MESSINA; WOOD, 2008) (Figura 24).



**Figura 24.** Diversidade química das isoflavonas encontradas em soja (*Glycine max* L. Merrill).

Na soja, assim como na maioria dos produtos derivados da soja, a relação quantitativa entre genistina/genisteína, daidzina/daidzeína e glicitina/gliciteína representa aproximadamente 50-55%, 40-45% e 5-10%, respectivamente, do teor total de isoflavonas (MESSINA; WOOD, 2008).

As isoflavonas possuem estrutura química semelhante aos estrógenos, tais como o 17- $\beta$ -estradiol, sendo denominadas por essa razão de fitoestrógenos (GENOVESE; LAJOLO, 2001). Os fitoestrógenos representam um grupo de compostos polifenólicos não-esteroidais produzidos pelas plantas, induzindo respostas biológicas que mimetizam ou modulam a ação dos estrógenos endógenos (KUHNLE et al., 2009).

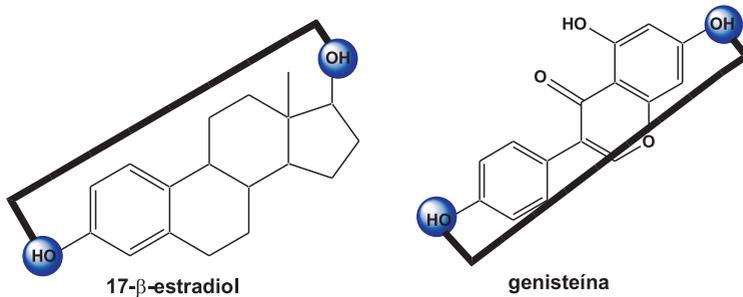
Ligam-se aos receptores estrogênicos devido à sua similaridade estrutural com o 17- $\beta$ -estradiol; porém, não são capazes de induzir uma forte ação estrogênica quando comparados ao 17- $\beta$ -estradiol (KUHNLE et al., 2009).

Esses compostos têm recebido uma grande atenção devido aos seus possíveis efeitos potencialmente benéficos na prevenção de alguns tipos de câncer, osteoporose, sintomas da menopausa e doenças cardiovasculares (GENOVESE; LAJOLO, 2001).

As principais fontes de fitoestrógenos são as frutas e as hortaliças. Nas plantas, estão presentes principalmente na forma de glicosídeos, mas são hidrolisados pelas glicosidases intestinais, promovendo a liberação das agliconas (KUHNLE et al., 2009).

As isoflavonas são compostos difenólicos cuja similaridade estrutural com o estrogênio facilita sua ligação aos receptores estrogênicos alfa e beta (MESSINA; WOOD, 2008; WUTTKE; JARRY; SEIDLOVÁ-WUTTKE, 2007). A genisteína apresenta a maior similaridade estrutural com o 17- $\beta$ -estradiol.

Ambos possuem um anel aromático, uma hidroxila no carbono C-3 e outro grupamento hidroxila em idêntica distância intramolecular ao carbono C-3 (Figura 25). São essas distâncias intramoleculares que determinam a formação de ligações de hidrogênio com os aminoácidos presentes no sítio ativo dos receptores estrogênicos (WUTTKE; JARRY; SEIDLOVÁ-WUTTKE, 2007).



**Figura 25.** Relação estrutura química e atividade biológica (QSAR) entre o 17- $\beta$ -estradiol e a genisteína.

## Antocianinas

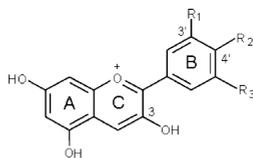
A cor dos alimentos é frequentemente o primeiro dos muitos atributos de qualidade que são avaliados, sendo um fator extremamente importante na aceitação geral do produto.

A segurança química e nutricional dos corantes sintéticos utilizados em alimentos vem sendo questionada, acarretando, dessa forma, uma redução do número de pigmentos permitidos. Devido a essa limitação e à tendência geral de consumir produtos mais saudáveis, o interesse pelos corantes naturais tem aumentado significativamente (PAZMIÑO-DURÁN et al., 2001).

Os pigmentos vermelhos apresentam especial importância para a indústria alimentícia. Porém, são de disponibilidade restrita. Com poucas exceções, a fração colorida dos frutos e das hortaliças pertence a uma das categorias seguintes (1) clorofilas, (2) carotenoides, (3) flavonoides e (4) antocianinas.

As antocianinas representam uma das maiores classes de metabólitos derivados dos flavonoides e são responsáveis pela coloração vermelha, azul e tons intermediários observados em flores e frutos como açaí, amora, uva, etc. (Figura 26) (GROSS, 1987; KÜHNAU, 1976).

**Figura 26.** Diversidade química de algumas antocianinas encontradas em matrizes vegetais.



ANTOCIANINA	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
Pelargonidina	H	OH	H
Cianidina	OH	OH	H
Delfinidina	OH	OH	OH
Peonidina	OMe	OH	H
Petunidina	OMe	OH	OH
Malvidina	OMe	OH	OMe

As antocianinas também estão presentes em uma série de outros alimentos que compõem a dieta humana como vegetais de folhas verdes, cereais, tubérculos e bulbos (KÜHNNAU, 1976).

São compostos solúveis em água e isso facilita sua incorporação em alguns preparos alimentares comercializados principalmente como líquidos

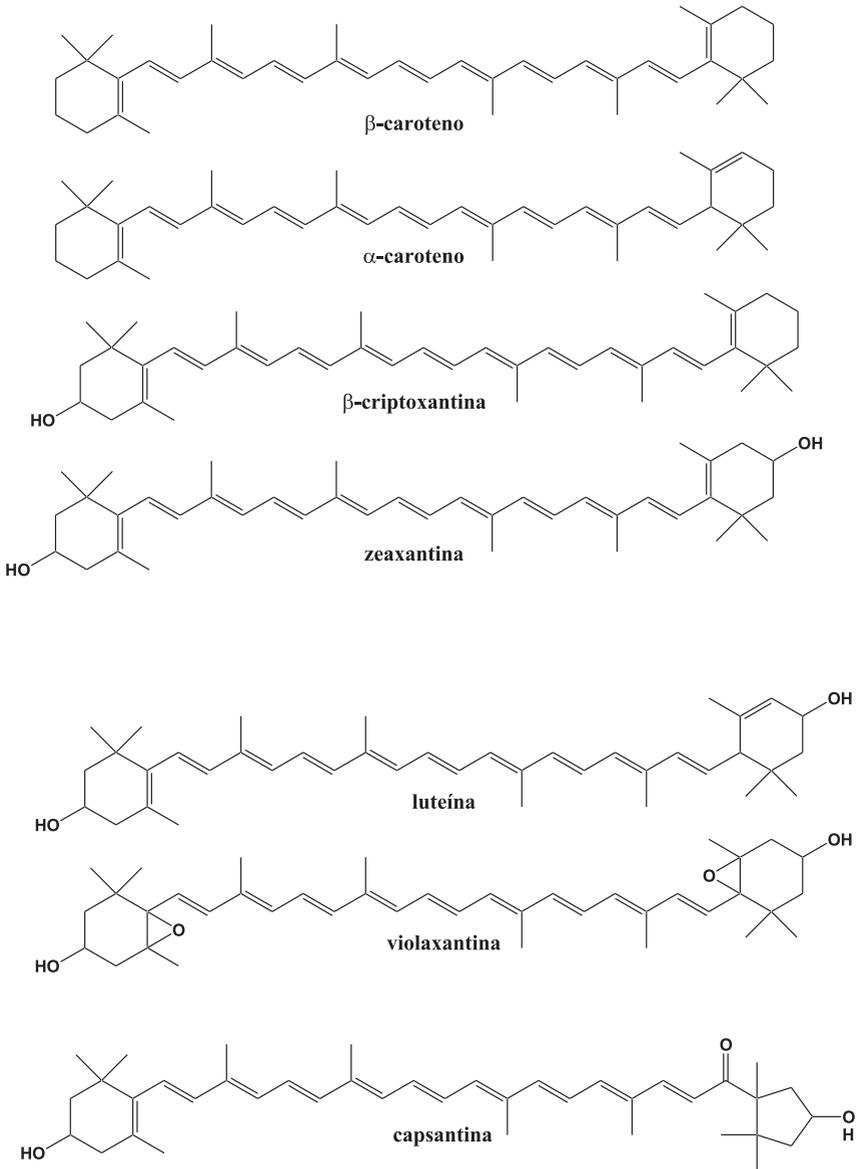
Como as antocianinas são consumidas pelo homem a milhares de anos sem apresentar efeitos colaterais, isso tem despertado o interesse em utilizar tais pigmentos naturais, principalmente os de coloração avermelhada, pois os corantes sintéticos de cor vermelha estão sendo progressivamente banidos em função de sua questionável segurança à saúde humana (FIORINI, 1995).

No entanto, as antocianinas são menos estáveis que os corantes sintéticos e sofrem transformações químicas que resultam na perda de sua cor característica, principalmente quando submetidas a condições drásticas de luminosidade, pH e presença de oxigênio.

Na literatura são descritos os benefícios das antocianinas para a saúde, principalmente seu potencial antineoplásico, vasodilatador, vasoprotetor, anti-inflamatório e hepatoprotetor (PAZMIÑO-DURÁN et al., 2001).

## Carotenoides

Os carotenoides presentes nos alimentos são compostos que contêm uma estrutura com 40 átomos de carbono (Figura 27). A estrutura química pode ser uma unidade cíclica ou acíclica, sendo que, entre os carotenoides não cíclicos, o licopeno encontrado, por exemplo, no tomate, melancia e mamão é o mais comum (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).



**Figura 27.** Diversidade química de alguns carotenoides encontrados em frutas, verduras e alimentos processados.

Dentre os carotenoides cíclicos, o  $\beta$ -caroteno é o que apresenta uma maior distribuição em diferentes fontes naturais como frutos e produtos processados. O  $\beta$ -caroteno ou pró-vitamina A tem papel fundamental no combate às degenerações ou mau funcionamento da visão, pois é convertido no organismo em vitamina A e atuando na preservação da mácula (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

Os carotenoides são responsáveis pela coloração de uma série de frutos tropicais e pode variar desde o amarelo claro até o vermelho-alaranjado.

Por apresentar uma cadeia linear com uma série de duplas ligações conjugadas, característica esta responsável pela presença de coloração, este sistema de duplas ligações conjugadas apresenta-se como um excelente grupo sequestrador de radicais livres, atuando assim como agente antioxidante, pois muitos dos processos de degeneração celular são mediados pela ação de radicais livres (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

## **Contaminantes químicos**

De forma geral, a qualidade de um alimento não depende apenas da avaliação das suas características nutricionais e sensoriais, mas também da sua segurança em relação ao consumo pela população. Em relação ao consumo, a segurança do alimento está diretamente ligada à presença de contaminantes químicos e microbiológicos.

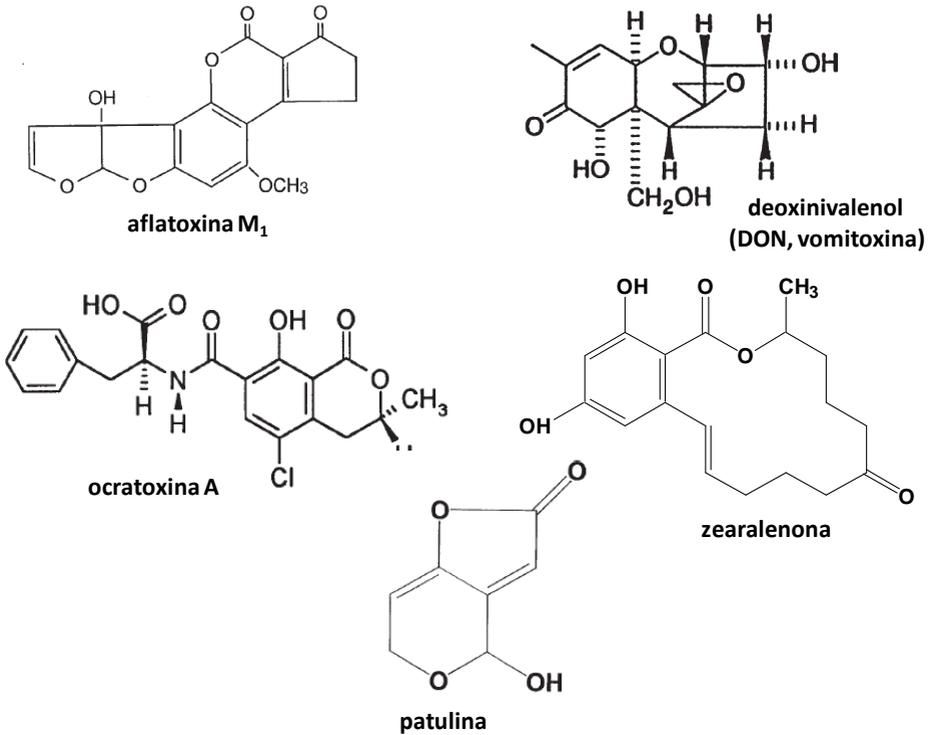
Dentre os contaminantes químicos que têm demandado maior atenção por parte dos órgãos de regulação e fiscalização sanitária, podem ser citados as micotoxinas, os pesticidas, os hidrocarbonetos poliaromáticos (HPAs), as drogas veterinárias, os antibióticos, as drogas hormonais, etc.

### **Micotoxinas**

As micotoxinas são metabólitos secundários altamente tóxicos que apresentam uma grande diversidade química e são produzidas por alguns fungos durante seu desenvolvimento nos alimentos.

Mais de 300 micotoxinas foram relatadas até o momento nos alimentos que são destinados à nutrição animal e humana (Figura 28).

Quando os animais são alimentados com produtos contaminados como, por exemplo, ração, isso pode resultar na contaminação da carne, do leite e dos derivados lácteos (MACRAE, 1988).



**Figura 28.** Estrutura química de algumas micotoxinas encontradas em alimentos.

Esses compostos podem causar intoxicações crônicas e afetar órgãos como fígado, rim, sistema nervoso central, sistema circulatório, ao passo que algumas micotoxinas são carcinogênicas e podem afetar o sistema imunológico (MACRAE, 1988).

As aflatoxinas são produzidas por dois tipos de fungos, *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus*, sendo que a aflatoxina M<sub>1</sub> é derivada da aflatoxina B<sub>1</sub> e ocorre no leite quando o gado consome alimento contaminado. As

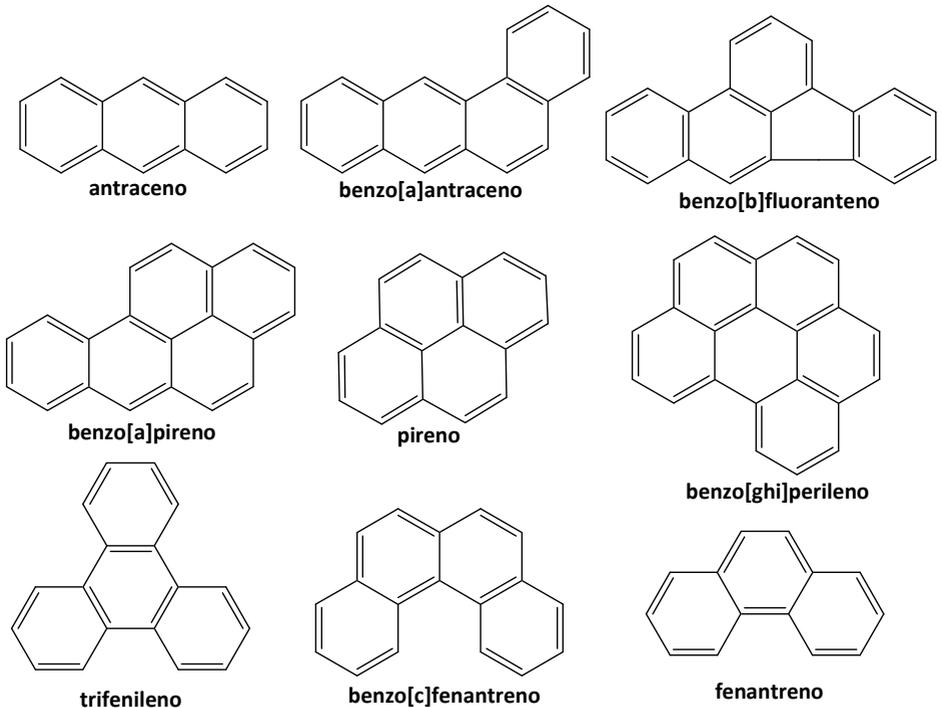
aflatoxinas ocorrem em nozes, sementes de oleaginosas (ex. amendoim), cereais, cacau, condimentos e produtos lácteos (MACRAE, 1988).

A ocratoxina A é produzida pelos fungos *Aspergillus ochraceus* e *Penicillium viridicatum* e ocorre no milho, cevada, trigo, aveia e grãos de café verde, sendo responsável pela incidência de casos de nefropatia. A patulina é uma neurotoxina produzida por uma série de fungos do gênero *Penicillium* e por um número menor de fungos do gênero *Aspergillus* e ocorre em frutos e sucos de frutas (MACRAE, 1988).

Deoxinivalenol e zearalenona são micotoxinas produzidas por vários fungos do gênero *Fusarium* e são encontradas no milho e em outros cereais. A ingestão dessas toxinas causa vômito, diarreia, leucocitose, danos ao sistema gastrointestinal e nervoso, além de danos à musculatura cardíaca (MACRAE, 1988).

## Hidrocarbonetos Poliaromáticos - HPAs

Os hidrocarbonetos poliaromáticos - HPAs (Figura 29) são contaminantes ambientais, presentes em baixas concentrações no ar, água e solo e são formados através da combustão incompleta da matéria orgânica como madeira, combustíveis fósseis, carvão, etc. (MACRAE, 1988).



**Figura 29.** Estrutura química de alguns hidrocarbonetos poliaromáticos (HPAs).

Os hidrocarbonetos poliaromáticos são mutagênicos e carcinogênicos, mesmo em pequenas concentrações, aumentando os riscos de neoplasia após absorção crônica. Traços de HPAs têm sido encontrados em vários alimentos como vegetais, óleos vegetais, frutas, grãos, carne assada e grelhada, peixe defumado, café e chá.

As principais fontes de contaminação dos alimentos com este tipo de composto provêm da deposição de partículas do ar contaminadas com HPAs nas folhas dos vegetais ou durante os processos de secagem e cozimento como, por exemplo, na defumação (MACRAE, 1988).

## **Pesticidas**

Pesticida é qualquer substância ou mistura de substâncias, naturais ou sintéticas, formuladas para controlar ou repelir qualquer praga que compete com o homem por alimento, age como vetor na transmissão de doenças, etc. Em geral, os pesticidas são substâncias químicas, mas, em alguns casos, também podem ser agentes biológicos como vírus ou bactérias (TADEO, 2008).

Existem diferentes classes de pesticidas de acordo com a sua aplicação. O principal grupo de pesticidas são os herbicidas, utilizados para combater ervas daninhas ou outras plantas indesejadas, seguido pelos inseticidas, utilizados para combater insetos e artrópodes, e os fungicidas, aplicados no combate de fungos. Outros tipos de pesticidas incluem os acaricidas, moluscicidas, nematicidas, feromônios, reguladores de crescimento vegetal, repelentes e rodenticidas (TADEO, 2008).

Desde o início da agricultura, as substâncias químicas têm sido utilizadas pelo homem no controle de pragas. No início, o controle era feito basicamente por meio de compostos inorgânicos como enxofre, arsênio, mercúrio e chumbo. Com a descoberta do diclorodifeniltricloroetano (DDT) como inseticida, ocorreu uma revolução no controle das pragas agrícolas e rapidamente o DDT passou a ser utilizado em larga escala (TADEO, 2008).

Além de todos os benefícios obtidos com os pesticidas em termos do aumento da produção de alimentos e do controle fitossanitário, o crescente uso dos pesticidas tem despertado, paralelamente, questionamentos acerca dos seus efeitos deletérios sobre o meio ambiente e a saúde da população (TADEO, 2008).

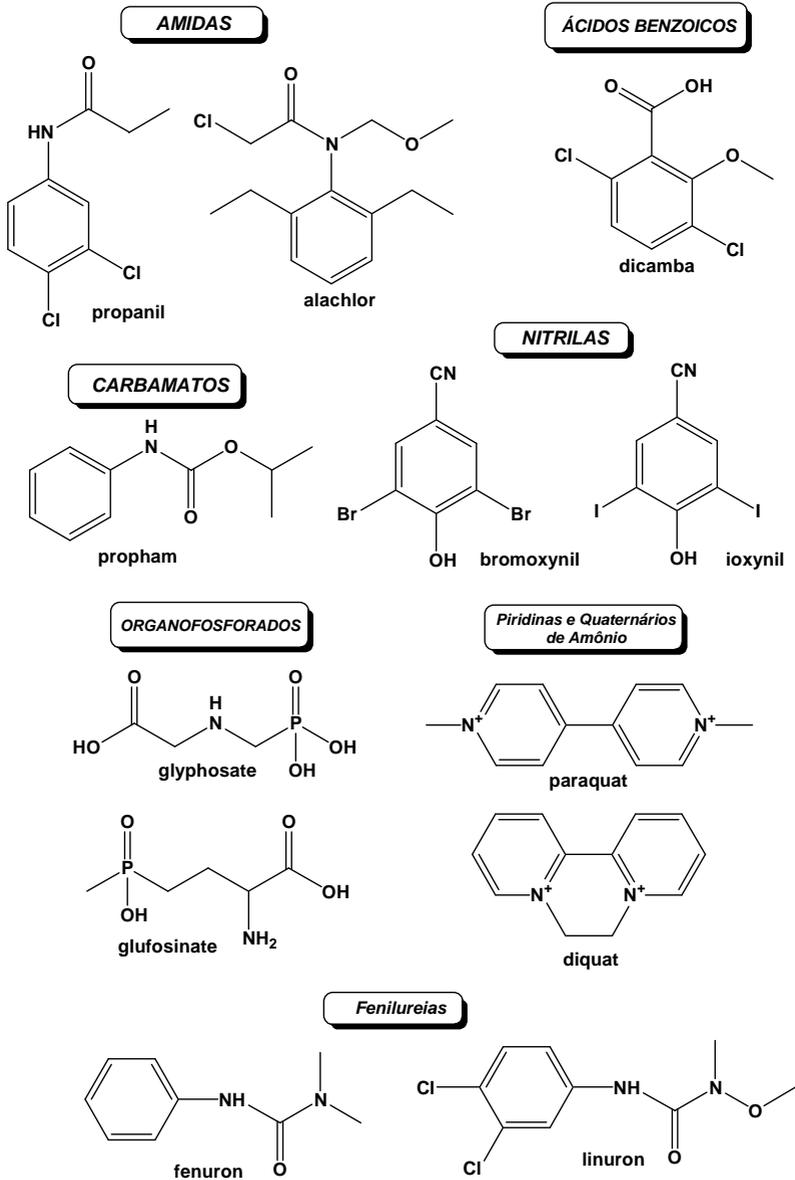
Apesar dos avanços nas áreas de controle biológico e desenvolvimento de plantas resistentes ao ataque de insetos, os inseticidas são indispensáveis para a produção mundial de alimentos. Estima-se que 1/3 da produção agrícola mundial seria perdida se os inseticidas deixassem de ser utilizados (TADEO, 2008).

Atualmente, os químicos analíticos estão envolvidos ao redor do mundo em programas de monitoramento dos resíduos de pesticidas em alimentos, baseando-se nos chamados Limites Máximos de Resíduos (MRLs - *Maximum Residue Limits*) estabelecidos pela comissão FAO/WHO *Codex Alimentarius Commission*. Esta comissão elaborou uma lista com mais de 150 compostos, entre inseticidas e fungicidas, para os quais os limites máximos de resíduos permitidos nos alimentos foram estabelecidos (MACRAE, 1988).

Aproximadamente, mais de 1300 pesticidas são amplamente utilizados no mundo e, desse total, têm-se, principalmente, os compostos com ação inseticida, fungicida e herbicida.

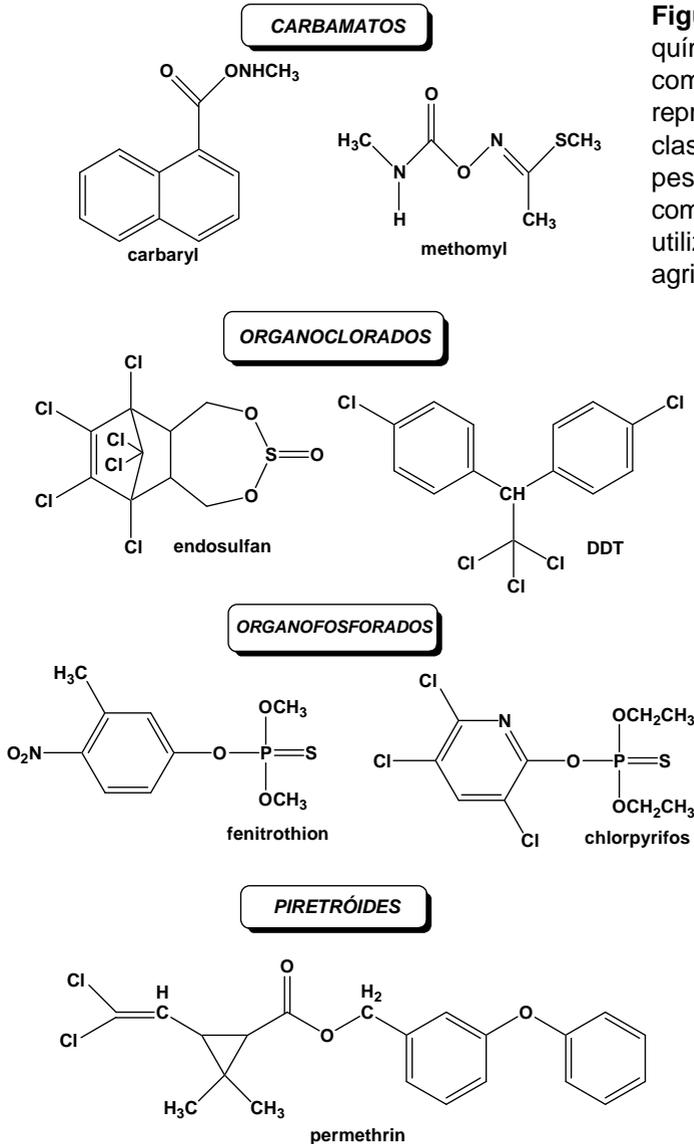
Os herbicidas são classificados como sendo de aplicação no solo ou foliar e podem ser herbicidas de ação total ou seletiva. Os herbicidas de ação total matam toda a vegetação, ao passo que os seletivos matam as ervas daninhas sem afetar a lavoura.

Os herbicidas podem ser classificados, de acordo com a sua composição química, em diferentes classes de compostos: amidas, ácidos benzoicos, carbamatos, nitrilas, nitroanilinas, organofosforados, fenóis, ácidos, piridinas e compostos quaternários de amônio, piridazinas e piridazinonas, triazinas, fenilureias e sulfonilureias (Figura 30) (TADEO, 2008).



**Figura 30.** Estrutura química de algumas classes de herbicidas comumente utilizados na agricultura.

Dentre as principais classes de inseticidas utilizados na agricultura, têm-se os organoclorados, organofosforados, carbamatos e piretroides (Figura 31).



**Figura 31.** Estrutura química de alguns compostos representativos das classes de pesticidas comumente utilizados na agricultura.

O controle dos resíduos de pesticidas nos alimentos continua centrado nos inseticidas organoclorados e organofosforados, devido à alta persistência desses compostos no meio ambiente.

Os inseticidas organofosforados constituem um dos maiores grupos, ao passo que o uso dos organoclorados decresce, pois o uso desse grupo de compostos foi banido em muitos países (MACRAE, 1988).

Os inseticidas organofosforados são hidrocarbonetos que contêm um ou mais átomos de fósforo na molécula, apresentam uma vida útil relativamente curta nos sistemas biológicos e são muito eficazes e de baixa persistência. Devido aos diferentes modos de ação e diversidade os organofosforados constituem um grupo de inseticidas muito versáteis (TADEO, 2008).

São compostos que podem não apresentar ação residual ou possuir uma ação residual prolongada, com um espectro de atuação mais amplo ou muito específico. São compostos solúveis em água e facilmente hidrolisados de forma que desaparecem do solo em poucas semanas após a aplicação. Em função dessas características, são amplamente utilizados como inseticidas sistêmicos em plantas, animais e no tratamento do solo (TADEO, 2008).

Os inseticidas organoclorados são caracterizados por três tipos de compostos: análogos do DDT, hexacloro benzeno (BHC) e ciclodienos. O DDT é o inseticida de contato de maior persistência e duração no meio ambiente, em função da sua insolubilidade em água e baixa pressão de vapor, apresentando um amplo espectro de ação em diferentes famílias de insetos (TADEO, 2008).

Os isômeros do BHC também são eficazes contra uma gama variada de pragas, ao passo que os ciclodienos são aplicados quando se necessita de um inseticida que atue por contato e que tenha longa persistência. Tais compostos têm sido aplicados no controle de pragas de frutas, hortaliças, algodão e no tratamento de sementes. Devido à sua alta persistência e toxicidade, a maior parte dos inseticidas organoclorados foram banidos e seu uso na agricultura é cada vez mais restrito (TADEO, 2008).

Os carbamatos são ésteres *N*-metil e *N,N*-dimetil do ácido carbâmico e sua atividade inseticida é devida à inibição da enzima colinesterase de forma similar ao que ocorre com os inseticidas organofosforados. No entanto, os carbamatos são menos tóxicos aos mamíferos quando comparados aos

organofosforados e apresentam uma menor persistência no meio ambiente (MACRAE, 1988).

Os carbamatos apresentam um amplo espectro de ação e são particularmente efetivos contra as larvas de lepidópteros e pragas de plantas ornamentais, incluindo caramujos, lesmas e pragas domésticas (TADEO, 2008).

Por outro lado, as piretrinas são inseticidas naturais extraídos das flores de certas espécies de crisântemo (*Chrysanthemum sp.*) e sua ação inseticida é devida à presença de cinco ésteres comumente encontrados nas flores dessa planta (TADEO, 2008).

As piretrinas sintéticas são conhecidas como piretroides e foram produzidas com o intuito de aumentar a estabilidade química desses compostos frente ao oxigênio e à luz, assim como ampliar o seu espectro de ação. Dentre os diferentes piretroides utilizados, pode-se citar a aletrina, cipermetrina, deltametrina, fenvalerato, flumetrina, fenpropatrina, permetrina, tetrametrina, etc.

Os piretroides apresentam atividade inseticida seletiva e baixa toxicidade para mamíferos e pássaros. Afetam o sistema nervoso central dos insetos, causando a despolarização das membranas neuronais; degradam-se no solo e não apresentam efeitos deletérios sobre sua a microflora (TADEO, 2008).

O uso dos piretroides tem aumentado ao longo dos anos como uma consequência direta da proibição do uso dos inseticidas organoclorados. Os piretroides são os principais inseticidas foliares na atualidade e são utilizados em uma gama variada de lavouras, assim como na estocagem de alimentos e na pecuária (MACRAE, 1988).

## Conclusões

A qualidade do alimento é fundamental no que se refere à aceitação por parte do consumidor; entretanto, esse é um atributo difícil de ser definido de forma precisa. Qualidade refere-se ao grau de excelência de um alimento e inclui todas as características que são significativas para o mercado consumidor.

A compreensão da natureza química do alimento é um fator primordial para que sejam estabelecidos parâmetros de qualidade. Neste aspecto, a avaliação dos componentes majoritários como ácidos graxos, carboidratos, proteínas, vitaminas, etc. torna-se indispensável.

Atualmente, esse grau de compreensão vem sendo ampliado para campos até então desconhecidos como, por exemplo, descrever a importância de algumas substâncias que possam conferir ao alimento características não apenas nutricionais como funcionais.

No entanto, o conceito de qualidade não está relacionado, de forma geral, apenas à avaliação das características físico-químicas, mas também às características microbiológicas e sensoriais.

Parâmetros físico-químicos e microbiológicos podem ser avaliados de forma objetiva utilizando-se técnicas analíticas modernas e aplicando-se diferentes metodologias quantitativas. As características sensoriais, por outro lado, são de caráter subjetivo e sua avaliação é mais complexa.

Todos esses fatores contribuem para aumentar a complexidade observada no estudo dos alimentos e exige, desta maneira, a aplicação de modernas técnicas analíticas e a consequente formação de profissionais altamente qualificados.

## Referências

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1995. 223 p.

BRANEN, A. L.; DAVIDSON, P. M.; SALMINEN, S. **Food additives**. New York: M. Dekker, 1990. 736 p.

BRUNTON, L. L.; PARKER, K. L.; BLUMENTHAL, D. K.; BUXTON, I. L. O. (Ed.). **Goodman & Gilman's: manual of pharmacology and therapeutics**. 10th ed. New York: McGraw Hill Medical, 2008. 1219 p.

CECHINEL FILHO, V.; YUNES, R. A. Estratégias para a obtenção de compostos farmacologicamente ativos a partir de plantas medicinais: conceitos sobre modificação estrutural para otimização da atividade. **Química Nova**, v. 21, n. 1, p. 99-105, 1998.

COULTATE, T. P. **Alimentos**: a química de seus componentes. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 368 p.

FAO/WHO. **Fats and oils in human nutrition**: report of a joint FAO/WHO expert consultation, Rome, 19-26 October 1993. Rome, 1994. 147 p. (FAO. Food and nutrition paper, 57).

\_\_\_\_\_. **Carbohydrates in human nutrition**: report of a joint FAO/WHO expert consultation, Rome, 14-18 April 1997. Rome, 1998. 140 p. (FAO. Food and nutrition paper, 66).

FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**. 3rd ed. New York: M. Dekker, 1996. 1069 p.

FINGLAS, P. M.; FAULKS, R. M. Critical review of HPLC methods for the determination of thiamin, riboflavin and niacin in food. **Journal of Micronutrient Analysis**, v. 3, p. 251-283, 1987.

FIORINI, M. Preparative high-performance liquid chromatography for the purification of natural anthocyanins. **Journal of Chromatography A**, v. 692, n. 1-2, p. 213-219, 1995.

GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Determinação de isoflavonas em derivados de soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 86-93, 2001.

GOODMAN, L. S.; GILMAN, A. G. **Goodman & Gilman**: as bases farmacológicas da terapêutica. 10. ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 2001. 1326 p.

GROSS, J. **Pigments in fruits**. London; Orlando: Academic Press, 1987. 303 p. (Food science and technology).

HASLER, C. M. Functional foods: their role in disease prevention and health promotion. **Food Technology**, v. 52, n. 11, p. 63-70, 1998.

KÜHNAU, J. The flavonoids: a class of semi-essential food components: their role in human nutrition. **World Review of Nutrition and Dietetics**, v. 24, p. 117-191, 1976.

KUHNLE, G. G. C.; DELL'ÁQUILA, C.; RUNSWICK, S. A.; BINGHAM, S. A. Variability of phytoestrogen content in foods from different sources. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 1184-1187, 2009.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. P. **Princípios de bioquímica**. 2. ed. São Paulo: Sarvier, 1995. 1124 p.

MACHLIN, L. J. **Handbook of vitamins**. 2nd ed. rev. and expanded. New York: M. Dekker, 1991. 595 p.

MACRAE, R. **HPLC in food analysis**. 2nd ed. London: Academic Press, 1988. 502 p.

MESSINA, M. J.; WOOD, C. E. Soy isoflavones, estrogen therapy, and breast cancer risk: analysis and commentary. **Nutrition Journal**, v. 7, n. 17, p. 1-11, 2008.

PAIXÃO, J. A.; CAMPOS, J. M. Determination of fat soluble vitamins by reversed phase HPLC coupled with UV detection: a guide to the explanation of intrinsic variability. **Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies**, v. 26, n. 4, p. 641-663, 2003.

PAIXÃO, J. A. da; STAMFORD, T. L. M. Vitaminas lipossolúveis em alimentos: uma abordagem analítica. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 96-105, 2004.

PAZMIÑO-DURÁN, E. A.; GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E.; GLÓRIA, M. B. A. Anthocyanins from *Oxalis triangularis* as potential food colorants. **Food Chemistry**, v. 75, n. 2, p. 211-216, 2001.

PENTEADO, M. V. C. **Vitaminas: aspectos nutricionais, bioquímicos, clínicos e analíticos**. São Paulo: Manole, 2003. 612 p.

POLESELLO, A.; RIZZOLO, A. Application of HPLC to the determination of water soluble vitamins in foods: 2 (a review 1985-9). **Journal of Micronutrient Analysis**, v. 8, n. 2, p. 105-158, 1990.

RIJKE, E.; OUT, P.; NIESSEN, W. M. A.; ARIESE, F.; GOOIJER, C.; BRINKMAN, U. A. T. Analytical separation and detection methods for flavonoids. **Journal of Chromatography A**, v. 1112, n. 1-2, p. 31-63, 2006.

RIZZOLO, A.; POLESELLO, S. Chromatographic determination of vitamins in foods. **Journal of Chromatography A**, v. 624, n. 1-2, p. 103-152, 1992.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington, DC: ILSI Press, 2001. 64 p.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defense. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 38, n. 7, p. 995-1014, 2005.

SGARBIERI, V. C.; PACHECO, M. T. B. Revisão: alimentos funcionais fisiológicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 2, n. 1-2, p. 7-19, 1999.

SHI, J.; MAZZA, G.; LE MAGUER, M. (Ed.). **Functional foods: biochemical and processing aspects**. 2nd ed. Washington, DC: CRC Press, 2002. 409 p.

STRAYER, L. **Bioquímica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. 881 p.

TADEO, J. L. (Ed.). **Analysis of pesticides in food and environmental samples**. Boca Raton: CRC Press, 2008. 367 p.

VACLAVIK, V. A.; CHRISTIAN, E. W. **Essentials of food science**. 3rd ed. New York: Springer, 2008. 571 p.

VERPOORTE, R.; MEMELINK, J. Engineering secondary metabolite production in plants. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 13, n. 2, p. 181-187, 2002.

WILLCOX, J. K.; ASH, S. L.; CATIGNANI, G. L. Antioxidants and prevention of chronic disease. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 44, n. 4, p. 275-295, 2004.

WUTTKE, W.; JARRY, H.; SEIDLOVÁ-WUTTKE, D. Isoflavones - Safe food additives or dangerous drugs? **Ageing Research Reviews**, v. 6, n. 2, p. 150-188, 2007.

ZEMPLINI, J.; RUCKER, R. B.; McCORMICK, D. B.; SUTTIE, J. W. (Ed.). **Handbook of vitamins**. 4th ed. Boca Raton: Taylor & Francis, 2007. 593 p.



---

*Agroindústria de Alimentos*

CGPE 8750



Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento

