



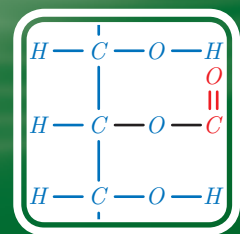
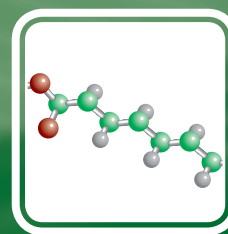
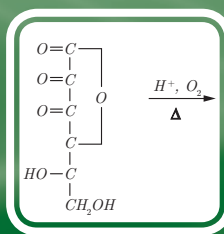
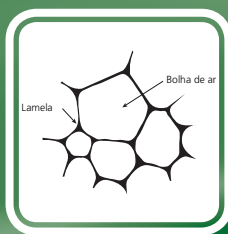
· rede
e-Tec
Brasil

Produção Alimentícia

Artur Bibiano de Melo Filho

Margarida Angélica da Silva Vasconcelos

Química de Alimentos



UFRPE
Universidade
Federal Rural
de Pernambuco



UFRN
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Ministério da
Educação

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA



Química de Alimentos

Artur Bibiano de Melo Filho
Margarida Angélica da Silva Vasconcelos



UFRPE/CODAI
2011

Presidência da República Federativa do Brasil
Ministério da Educação
Secretaria de Educação a Distância

© Colégio Agrícola Dom Agostinho Ikas (CODAI), órgão vinculado a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Este Caderno foi elaborado em parceria entre o Colégio Agrícola Dom Agostinho Ikas (CODAI) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec Brasil.

Reitor da UFRPE

Prof. Valmar Correa de Andrade

Vice-Reitor da UFRPE

Prof. Reginaldo Barros

Diretor do CODAI

Prof. Luiz Augusto de Carvalho Carmo

Equipe de Elaboração

Colégio Agrícola Dom Agostinho Ikas (CODAI) / UFRPE

Coordenadora Institucional

Profa. Argélia Maria Araújo Dias Silva – CODAI / UFRPE

Coordenadora do Curso

Profa. Claudia Mellia – CODAI / UFRPE

Professor Pesquisador

Prof. Paulo Ricardo Santos Dutra – CODAI / UFRPE

Professores-Autores

Margarida Angélica da Silva Vasconcelos
Artur Bibiano de Melo Filho

Equipe de Produção

Secretaria de Educação a Distância / UFRN

Reitora

Profa. Ângela Maria Paiva Cruz

Vice-Reitora

Profa. Maria de Fátima Freire Melo Ximenes

Secretária de Educação a Distância

Profa. Maria Carmem Freire Diógenes Rêgo

Secretária Adjunta de Educação a Distância

Profa. Eugênia Maria Dantas

Coordenador de Produção de Materiais Didáticos

Prof. Marcos Aurélio Felipe

Revisão

Jânio Gustavo Barbosa
Verônica Pinheiro da Silva
Cristinara Ferreira dos Santos
Rosilene Alves de Paiva

Diagramação

Ana Paula Resende
Rafael Garcia

Arte e Ilustração

Carolina Costa

Leonardo dos Santos Feitoza **Projeto Gráfico**
e-Tec/MEC

Ficha catalográfica

Catálogo da publicação da fonte. Bibliotecária Verônica Pinheiro da Silva.

Melo Filho, Artur Bibiano de.

Química de alimentos / Artur Bibiano de Melo Filho e Margarida Angélica da Silva Vasconcelos. – Recife: UFRPE, 2011.

78 p.: il.

ISBN 978-85-7946-096-8

Coordenadora Institucional Argelia Maria Araújo Dias Silva.

Disciplina ministrada no curso Técnico de Alimentos do Colégio Agrícola Dom Agostinho Ikas – CODAI.

1. Química de alimentos. 2. Componentes. 3. Alimentos. I. Vasconcelos, Margarida Angélica da Silva. II. Silva, Argelia Maria Araújo Dias. III. Título.

**CDU 664.8.022
M528q**

Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,

Bem-vindo ao e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional pública de ensino, a Escola Técnica Aberta do Brasil, instituída pelo Decreto nº 6.301, de 12 de dezembro 2007, com o objetivo de democratizar o acesso ao ensino técnico público, na modalidade a distância. O programa é resultado de uma parceria entre o Ministério da Educação, por meio das Secretarias de Educação a Distância (SEED) e de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), as universidades e escolas técnicas estaduais e federais.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade, e promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes, geograficamente ou economicamente, dos grandes centros.

O e-Tec Brasil leva os cursos técnicos a locais distantes das instituições de ensino e para a periferia das grandes cidades, incentivando os jovens a concluir o ensino médio. Os cursos são ofertados pelas instituições públicas de ensino e o atendimento ao estudante é realizado em escolas-polo integrantes das redes públicas municipais e estaduais.

O Ministério da Educação, as instituições públicas de ensino técnico, seus servidores técnicos e professores acreditam que uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!

Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação
Janeiro de 2010

Nosso contato
etecbrasil@mec.gov.br

Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



Atenção: indica pontos de maior relevância no texto.



Saiba mais: oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



Glossário: indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



Mídias integradas: remete o tema para outras fontes: livros, filmes, músicas, *sites*, programas de TV.



Atividades de aprendizagem: apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.

Sumário

Palavra dos professores-autores	9
Apresentação da disciplina	11
Projeto instrucional	13
Aula 1 – Atividade de Água	15
1.1 Água.....	15
1.2 Atividade de água e umidade.....	15
1.3 Formas em que a água ocorre nos alimentos.....	18
1.4 Atividade de água e crescimento de microrganismos.....	19
1.5 Atividade de água e as reações químicas e bioquímicas.....	20
1.6 Alimentos com teor de umidade intermediária.....	21
1.7 Isotermas de sorção.....	22
Aula 2 – Carboidratos	25
2.1 Conceito e classificação.....	25
Aula 3 – Lipídios	39
3.1 Definição.....	39
3.2 Aspectos físicos.....	39
3.3 Alterações nos alimentos.....	43
Aula 4 – Proteínas, pigmentos, vitaminas e minerais	51
4.1 Proteínas.....	51
4.2 Pigmentos.....	58
4.3 Vitaminas.....	59
4.4 Minerais.....	60
Aula 5 – Escurecimento enzimático	61
5.1 Escurecimento enzimático.....	61
5.2 O substrato.....	62
5.3 As enzimas.....	63
5.4 Métodos de controle do escurecimento enzimático.....	64

Aula 6 – Escurecimento não enzimático	69
6.1 Escurecimento não enzimático.....	69
Referências	75
Currículo dos professores-autores	78

Palavra dos professores-autores

Prezado aluno!

Neste livro, vamos conhecer melhor as substâncias químicas que compõem os alimentos, suas funções, mecanismos das reações, porque ocorre a deterioração dos alimentos e como proceder para que isso não ocorra.

Propusemos algumas atividades e fornecemos *sites* e textos que irão complementar seu aprendizado.

Pretendemos transmitir de modo mais conciso informações que julgamos essenciais na área de Química de Alimentos que servirão de base para continuidade da sua formação.

Bons estudos!

Apresentação da disciplina

A disciplina Química dos Alimentos é composta por 6 aulas. Vamos iniciar nossa disciplina falando sobre a atividade de água, pois a água é um dos principais componentes da maioria dos alimentos e tem muita influência nos processos de conservação. Também vamos estudar os macronutrientes, tais como carboidratos, lipídios e proteínas, além de reações de origem enzimática e não enzimática.

Caro aluno, na Aula 1, serão estudadas as propriedades da água nos alimentos e sua influência na deterioração deles.

Na Aula 2, você vai estudar os carboidratos e suas propriedades físico-químicas e funcionais. Serão descritos também algumas características dos principais polissacarídeos de importância na indústria de alimentos.

Já na Aula 3, você vai ver aspectos físicos e químicos dos lipídios e descrever as principais alterações que afetam os alimentos, principalmente a lipólise e a rancificação oxidativa. Vale salientar que não estudaremos os conceitos básicos, classificação e nomenclatura dos lipídios, pois esse assunto foi visto na disciplina de Bioquímica.

Na Aula 4, você vai estudar as proteínas, processo de desnaturação, principais propriedades funcionais e suas características. Vamos também falar um pouco sobre os principais pigmentos, dentre eles os mais encontrados nos produtos alimentícios de origem animal e vegetal e falar resumidamente das vitaminas e minerais.

Na Aula 5, você vai entender as reações de escurecimento enzimático, por que ocorrem, como ocorrem, quando podem ser usadas como benefício e como podem ser evitadas.

E por fim, na Aula 6, você vai estudar o que é escurecimento não enzimático, por que ocorre, como acontece, para que pode ser usado e como evitá-lo nos produtos alimentícios.

Projeto instrucional

Disciplina: Química de Alimentos (Carga horária: 60h)

Ementa: Atividade de água. Carboidratos nos alimentos. Proteínas nos alimentos. Lipídios nos alimentos. Vitaminas e minerais. Pigmentos. Definir o conceito de atividade de água. Estudar as transformações químicas e físicas associadas às condições inerentes ao processamento e armazenamento dos alimentos.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Atividade de água	Conhecer as formas como a água encontra-se nos alimentos. Entender as funções exercidas pela água nos alimentos. Conhecer os efeitos da atividade da água. Relacionar as velocidades de transformações em alimentos em função da atividade de água.	10
2. Carboidratos	Definir carboidratos. Conhecer as propriedades físico-químicas dos mono, oligo e polissacarídeos. Entender a importância dessas propriedades na indústria de alimentos.	10
3. Lipídios	Definir o conceito de lipídios. Conhecer suas propriedades físicas. Descrever as principais alterações que afetam os alimentos.	10
4. Proteínas, pigmentos, vitaminas e minerais	Estudar as principais propriedades funcionais das proteínas. Relacionar os fatores que podem afetar essas propriedades. Tomar conhecimento dos pigmentos mais encontrados nos diversos alimentos de origem vegetal e animal. Conhecer algumas funções das vitaminas. Citar alguns minerais essenciais.	10
5. Escurecimento enzimático	Conhecer a natureza do escurecimento enzimático, entendendo as suas reações. Verificar os efeitos desejáveis e indesejáveis. Identificar como ocorre o escurecimento. Compreender os fatores que influenciam o escurecimento enzimático, conhecendo seus meios de controle.	10
6. Escurecimento não enzimático	Conhecer os tipos de escurecimento não enzimático. Entender as reações de escurecimento. Verificar os efeitos desejáveis e indesejáveis. Propiciar o conhecimento de como ocorre o escurecimento. Compreender os fatores que influenciam o escurecimento enzimático.	10

Aula 1 – Atividade de Água

Objetivos

Conhecer as formas como a água encontra-se nos alimentos.

Entender as funções exercidas pela água nos alimentos.

Conhecer os efeitos da atividade da água.

Relacionar as velocidades de transformações em alimentos em função da atividade de água.

1.1 Água

A água é um dos principais componentes da maioria dos alimentos. Os alimentos naturais que não foram processados tecnologicamente possuem mais de 30% de água, com raras exceções. Por exemplo: leite 87,5%; carnes 47-79%; ovos 73,7%; frutas e vegetais 75 a 95%. São exceções: cereais e leguminosas 11-15%.

Diversas funções importantes são exercidas pela água nos alimentos, influenciando suas características físicas e químicas:

1.2 Atividade de água e umidade

Atividade de água é definida como a relação existente entre a pressão de vapor de uma solução ou de um alimento (P) com relação à pressão de vapor da água pura (Po) à mesma temperatura (GAVA; SILVA; FRIAS, 2009, p. 95):

$$A_w = \frac{P_{\text{solute (alimento)}}}{P_o_{\text{solvente (água)}}$$

A atividade de água (A_w) de um alimento e a umidade relativa do ambiente no qual se encontram tendem sempre a equilibrar-se, e, por isso, é comum expressar a umidade como umidade relativa de equilíbrio (%) (URE). Por exemplo, se a atividade de água de um alimento for menor que a umidade relativa da atmosfera que o rodeia, o alimento tenderá a absorver água do ambiente, se maior, cederá água para o ambiente, até que se atinja o equilíbrio.

(<http://www.scribd.com/doc/38443438/atividadedagua>)

$$A_w \text{ ou } a_a = \frac{\text{URE}}{100}$$

Em que:

A_w ou a_a = atividade de água do produto;

P = pressão de vapor da água do alimento;

P_0 = pressão de vapor da água pura;

URE = umidade relativa de equilíbrio do produto (%).

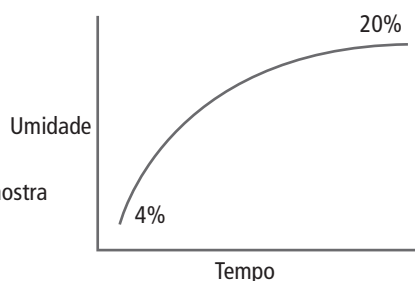
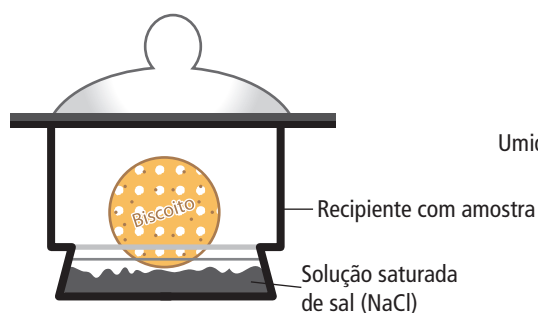
O conteúdo de água ou umidade é obtido pela determinação da água total contida no alimento. Esse valor, todavia, não fornece indicações de como ela está distribuída, nem permite saber se toda a água está ligada do mesmo modo ao alimento.

É a atividade de água que fornece informação sobre: crescimento microbiano, migração da água, estabilidade química e bioquímica, propriedades físicas e vida útil. A umidade não fornece estas informações. Isto quer dizer que quando nos referimos à conservação dos alimentos, a atividade de água é a melhor medida quando comparada ao teor de umidade.

Sistema Biscoito Cream Cracker x Queijo

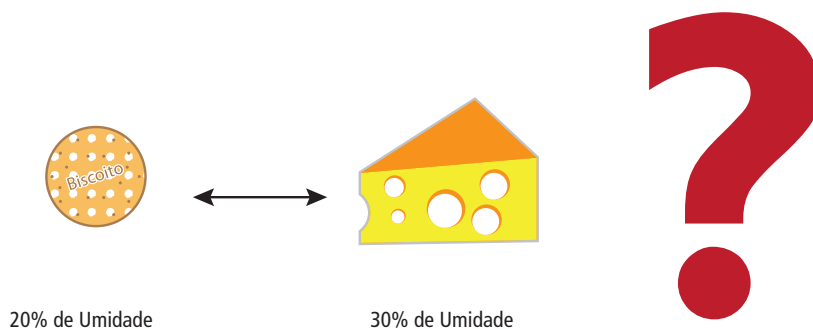
Experimento 1 – Biscoito é equilibrado em recipiente selado contendo solução saturada NaCl.

	Inicial	Final
Umidade	4%	20%
Atividade de água	0,30	0,75%



Experimento 2 – queijo é equilibrado em recipiente selado contendo solução saturada NaCl.

	Inicial	Final
Umidade	60%	30%
Atividade de água	0,90	0,75%



Experimento 3 – Biscoito e o Queijo são colocados juntos em um recipiente selado.

Para qual lado a água se move?

Condições de equilíbrio

$$A_w \text{ biscoito} = A_w \text{ queijo} = A_w \text{ ar}$$

Resposta: no equilíbrio o potencial químico é o mesmo e então não há migração da água.

Fonte: <<http://www.visionline.com.br/roche/forumpet/palestras/download/Control%20of%20Water%20Activity%20pt.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2011.

A atividade de água é dependente da temperatura e o efeito da temperatura sobre a atividade de água é específico para cada produto.



1. Qual a diferença entre umidade e A_w ?

2. Em relação à conservação de alimentos, o que é mais importante a umidade ou atividade de água? Por que?

3. Em relação à umidade relativa de equilíbrio e atividade de água, explique:

a) Por que ao armazenar, por exemplo, uma maçã mal acondicionada na geladeira após alguns dias murcha.

b) Por que um pacote de biscoito cream cracker perde a crocância após deixá-lo aberto por algum tempo.

1.3 Formas em que a água ocorre nos alimentos

As expressões “água livre” e “água combinada” são muito empregadas para descrever o estado em que a água se encontra nos alimentos.

A água livre está fracamente ligada aos componentes não-aquosos dos alimentos, pode ser mais facilmente eliminada, como por exemplo, no processo de secagem de alimentos, e está disponível para o crescimento microbiano e reações químicas. A água combinada está fortemente ligada aos componentes não-aquosos dos alimentos, é mais difícil de ser eliminada, e não está disponível para o crescimento de microrganismos e reações químicas.

Quando falamos em água livre estamos nos referindo a atividade de água, entretanto quando falamos em umidade estamos mencionando a água livre mais água combinada, ou seja, estamos falando da água total contida no alimento.

1.4 Atividade de água e crescimento de microrganismos

A água é o solvente fundamental para todos os seres vivos. Sem ela, o metabolismo dos microrganismos fica paralisado, isto é, não pode haver crescimento nem multiplicação. Entretanto, os microrganismos podem sobreviver, em estado latente, por tempo quase indefinido, na forma desidratada. Após o restabelecimento da atividade de água adequada, inicia-se o seu crescimento e multiplicação.

A velocidade de crescimento dos microrganismos diminui com a atividade de água, podendo até sofrer paralisação completa em atividade de água menor que 0,6, variando o valor mínimo, com o tipo de microrganismo (Quadro 1.1).

Um alimento com atividade de água inferior a 0,85 está protegido contra o desenvolvimento de bactéria patogênica. Existem algumas espécies de microrganismos em cada grupo que apresenta elevada resistência a baixas A_w e esses microrganismos podem causar a deterioração lenta de alimentos.

Os limites mínimos aproximados da atividade de água para desenvolvimento de microrganismo são os representados no Quadro 1.1.

Quadro 1.1: Tipos de microrganismos e limites de atividade de água para o crescimento

	Microrganismos	A_w mínima
Bactérias	0,91	0,91
Leveduras	0,88	0,88
Fungos	0,80	0,80
Bactérias halófilas	0,75	0,75
Leveduras osmófilas	0,60	0,60

Realmente, o primeiro cuidado que se deve ter ao preservar um alimento é evitar a contaminação microbiológica, que ocorre tão rapidamente que se alguma reação química ocorrer concomitantemente tornar-se-á insignificante. Contudo, se evitarmos o desenvolvimento de fungos, leveduras e bactérias, a deterioração poderá ocorrer através das reações químicas e enzimáticas.

1.5 Atividade de água e as reações químicas e bioquímicas

A velocidade das reações químicas e bioquímicas, desejáveis ou não, que ocorrem durante o armazenamento de alimentos, depende, principalmente, da atividade de água. A figura a seguir constitui uma representação esquemática das velocidades relativas das transformações em função da atividade de água dos alimentos.

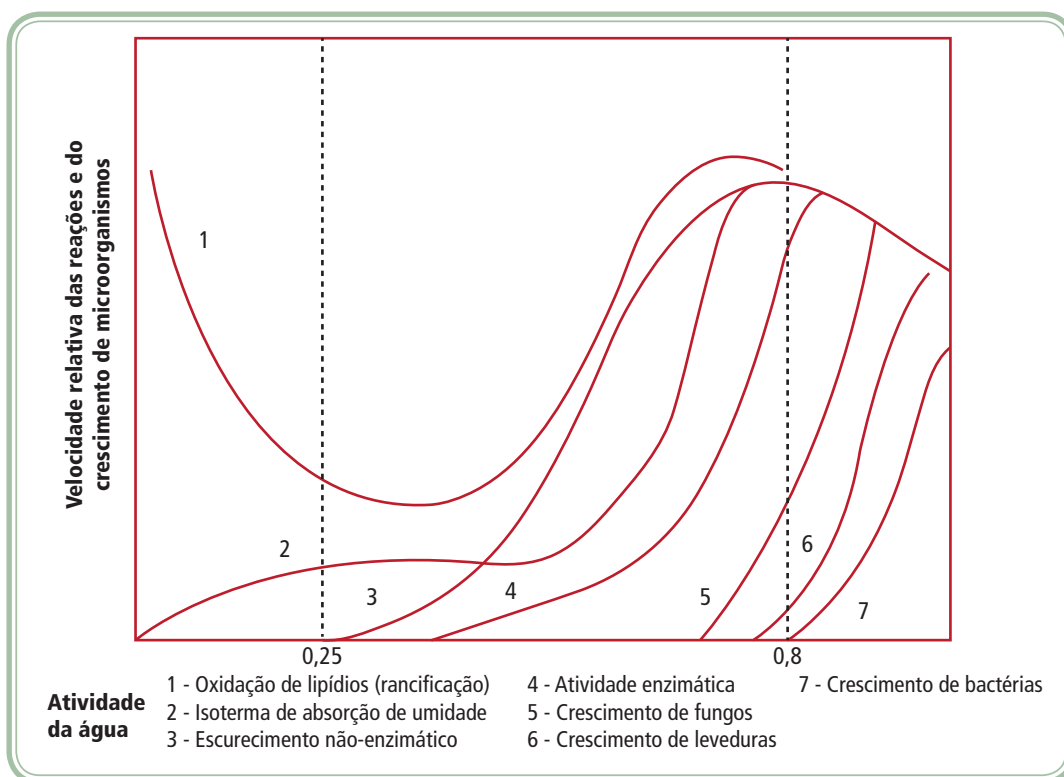


Figura 1.2: Apresenta velocidades relativas das transformações em função da atividade de água dos alimentos.

Fonte: <<http://bioquimica.ufcspa.edu.br/pg2/pgs/tecnologia/atividadedagua.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2011.

Analisando o gráfico podemos observar que as reações de escurecimento não enzimático são desfavorecidas aproximadamente nas faixas de atividade de água menor que 0,25 e maior que 0,80. A oxidação lipídica, por sua vez, começa a aumentar na faixa entre 0,25 e 0,8, também é a única reação

que ocorre em atividade de água menor que 0,25. Outra reação, de grande importância na preservação da qualidade dos alimentos, é o escurecimento enzimático, a velocidade dessa reação aumenta com a atividade de água entre aproximadamente 0,25 e 0,8, diminuindo em seguida, face a redução da concentração dos “reativos”.

“A atividade de água é um mapa para prever que tipo de reação ocorrerá baseado na composição do produto”. (GRISI, 2002, extraído da Internet).

À medida que a atividade de água diminui aumenta-se a estabilidade e segurança dos alimentos. Vários métodos de conservação são baseados na diminuição de atividade de água, tais como: desidratação, adição de solutos como sal e açúcar, dentre outros.

Quanto à umidade, os alimentos podem ser classificados em:



- Alimentos de alta umidade – $A_w > 0,85$ e Umidade $> 40\%$
- Alimentos de umidade intermediária - A_w de 0,6 a 0,85 e Umidade de 20 a 40%
- Alimentos de baixa umidade - $A_w < 0,6$ e Umidade $< 20\%$

1.6 Alimentos com teor de umidade intermediária

Essa expressão foi introduzida nos últimos anos para os alimentos com atividade de água entre 0,60 e 0,85. Trata-se de alimentos de preservação relativamente fácil, uma vez que não permitem o desenvolvimento de bactérias patogênicas. Ademais, o número de outros microrganismos que se desenvolvem nesse meio é reduzido e de crescimento lento.

A figura 1.2 ilustra graficamente o efeito da A_w sobre a estabilidade dos alimentos. Nela pode-se observar que esses alimentos estão sujeitos a velocidades relativamente altas de escurecimento não-enzimático, oxidação de lipídios e reações enzimáticas. Essas reações devem ser devidamente inibidas, embora o escurecimento não-enzimático geralmente não seja considerado problema em frutas desidratadas e doces, uma vez que a cor escura é uma característica desses produtos. A oxidação dos lipídios é frequentemente inibida por meio de antioxidantes e as enzimas são inativadas termicamente.

Por isso, pode-se dizer que o maior problema na conservação de produtos de teor intermediário de umidade é o microbiológico.

Como a velocidade de desenvolvimento de microrganismo é uma função da atividade de água, o seu conhecimento é essencial para o estabelecimento de processamentos, sistemas de embalagem e formulação desses alimentos.

Alguns exemplos de alimentos com teor intermediário de umidade são: doces, geléias, frutas cristalizadas, banana passa e outras frutas desidratadas, queijo parmesão, doce de leite, cocada, rapadura, melaço e muitos outros. A determinação de suas atividades de água é de suma importância para a sua conservação e para estabelecer a sua embalagem.

1.7 Isotermas de sorção

O estudo da atividade de água é realizado pelas isotermas de sorção. São gráficos que demonstram a relação entre a atividade de água no alimento e o seu conteúdo de umidade, a uma dada temperatura. O conhecimento das isotermas de sorção é imprescindível para determinar o teor de água final necessário para estabilizar o produto alimentício. É importante lembrar que, cada produto alimentício tem sua isoterma de sorção própria, devido a diferentes interações entre a água e os outros componentes dos alimentos (carboidratos, proteínas, lipídios, sais minerais, etc) com diferentes conteúdos de umidade.

A figura 1.3 ilustra um exemplo de isoterma de sorção.

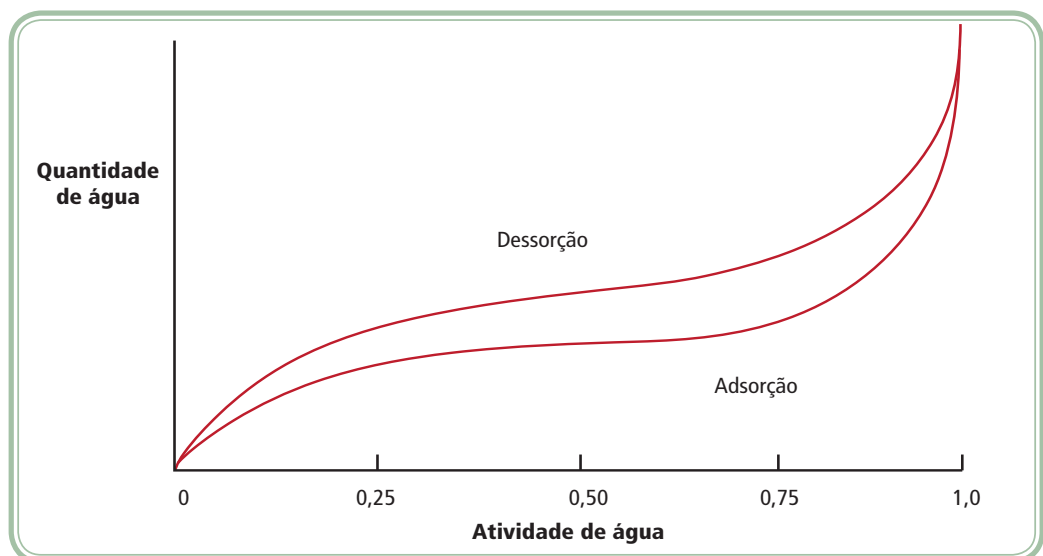


Figura 1.3: Apresenta as isotermas de sorção (adsorção e dessorção) de água

Fonte: <<http://bioquimica.ufcspa.edu.br/pg2/pgs/tecnologia/atividadedagua.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2011.

Para que servem as isotermas de sorção?

Bem, elas podem ser úteis para formular misturas de alimentos, cujos ingredientes possuem diferentes umidades, de modo a evitar a transferência de umidade entre estes ingredientes, como por exemplo, mistura para bolos, granola, biscoitos recheados, etc; servem também para determinar as propriedades de barreira de umidade necessárias ao material de embalagem indispensável à proteção de um sistema em particular, entre outros.

1. Quais os valores mínimos de atividade de água para crescimento de:



- a) Bactérias
- b) Fungos
- c) Leveduras

2. Relacione as colunas.

Em relação à atividade de água e a deterioração dos alimentos.

- | | |
|-------------------------------|--|
| (1) $A_w < 0,25$ | () Os principais responsáveis pela deterioração de alimentos são os bolores e leveduras. |
| (2) A_w entre 0,61 e 0,80 | () Os principais responsáveis pela deterioração de alimentos são as bactérias. |
| (3) A_w de água $> 0,90$ | () Todas as reações estão praticamente inibidas, com exceção da oxidação lipídica. |

3. Assinale a alternativa correta.

A deterioração dos alimentos provocadas pelas reações químicas e enzimáticas são mais favorecidas em:

- () Alimentos de alta umidade
- () Alimentos de umidade intermediária
- () Alimentos de baixa umidade

4. O que são isotermas de sorção e para que servem?

Resumo

Você estudou nesta aula as várias funções da água e como ela se encontra nos alimentos, observou que existe diferença entre atividade de água e umidade, e que a velocidade relativa das reações químicas e enzimáticas e de crescimento de microrganismo está diretamente relacionada com a atividade de água.

Atividades de aprendizagem

1. Cite as funções da água nos alimentos que repercute nas suas características físicas e químicas.

2. É possível ter alimentos com o mesmo teor de umidade e diferentes A_w . Comente.

Aula 2 – Carboidratos

Objetivos

Definir carboidratos.

Conhecer as propriedades físico-químicas dos mono, oligo e polissacarídeos.

Entender a importância dessas propriedades na indústria de alimentos.

2.1 Conceito e classificação

Carboidratos são poliidroxiáldeídos ou poliidroxicetonas (Figura 2.1) ou substâncias que liberam tais compostos por hidrólise. Os carboidratos constituem mais de 90% de matéria seca dos vegetais. Fornecem a maior parte das calorias da dieta da população humana, além de proporcionar texturas e palatabilidade desejáveis e é universalmente reconhecido poder edulcorante. Os mais utilizados pelo homem são o amido e a sacarose e, por isso, as plantas que os contêm são as mais cultivadas e consumidas. Nos animais, o principal açúcar é a glicose, e o carboidrato de reserva, o glicogênio. Nas plantas, há grande variedade de carboidratos, e o amido é, por excelência, o de reserva.

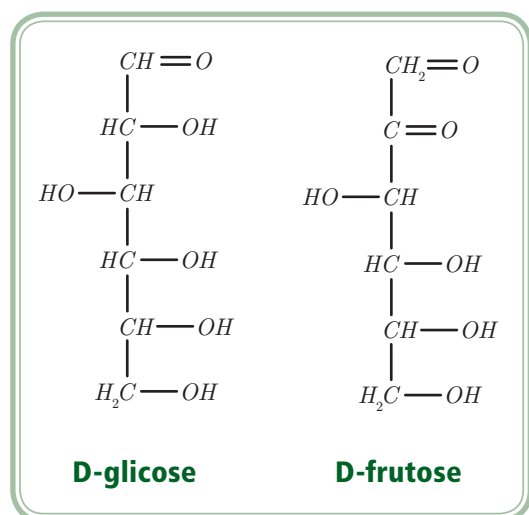


Figura 2.1: Representação das estruturas químicas da D-glicose e D-frutose, respectivamente, uma aldose (poliidroxiáldeído) e uma cetose (poliidroxicetona)

Fonte: Junior Francisco (2008).



Nos açúcares as denominações das letras D e L, depende da posição do grupo hidroxila (-OH) no penúltimo carbono, ou seja, do carbono próximo ao grupo CH₂, (-OH do lado direito, denominação D; -OH do lado esquerdo, denominação L).

A classificação mais simples dos carboidratos divide-os em três grupos: monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos.

2.1.1 Monossacarídeos

São moléculas de carboidratos que não podem ser degradadas por hidrólise, sendo consideradas como moléculas de carboidratos mais simples. Também são conhecidos como açúcares simples. Ex: glicose, frutose, xilose, ribose, arabinose, galactose, manose, etc.

Contêm átomos de carbono quiral, pois apresentam quatro substituintes diferentes, por isso, podem existir em duas configurações espaciais diferentes, que no espelho, uma é o reflexo da outra (Figura 2.2). Devido a essa característica, estas substâncias são denominadas opticamente ativas, isto é, possuem a propriedade de desviar o plano da luz polarizada, e esta propriedade é denominada atividade ótica.

Qualquer figura geométrica é opticamente ativa desde que sua imagem num espelho plano não coincida com ela própria. Com base nesses argumentos, os carboidratos são opticamente ativos, uma vez que todos esses compostos possuem pelo menos um carbono quiral.

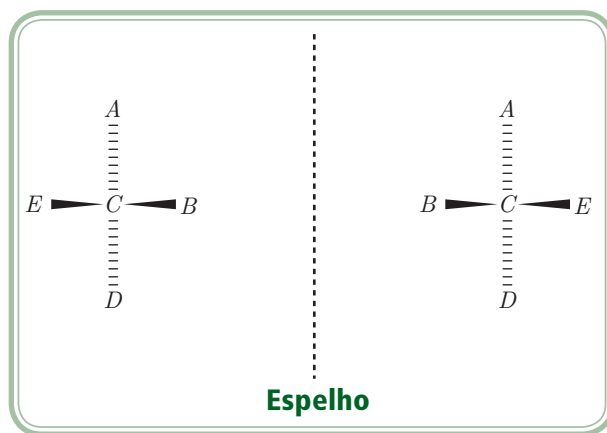


Figura 2.2: Átomo de carbono quiral

Fonte: Fennema (2000).

Vamos exercitar um pouco do que vimos?



1. Qual é a unidade básica dos carboidratos?
2. O que é um carbono quiral?

2.2.1.1 Monossacarídeos mais importantes

- **Glicose** – encontrado livre na natureza ou resultado da hidrólise de carboidratos mais complexos (sacarose, lactose, amido).

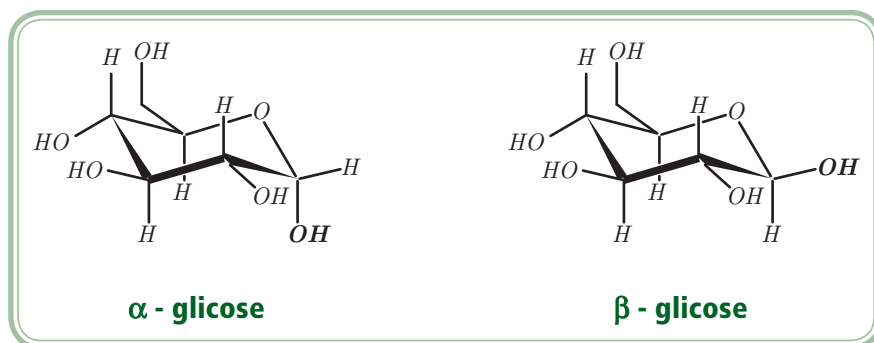


Figura 2.3: Estrutura da α e β glicose “conformação de cadeira”

Fonte: Pinheiro (2005).

- **Frutose** – encontrada principalmente nas frutas

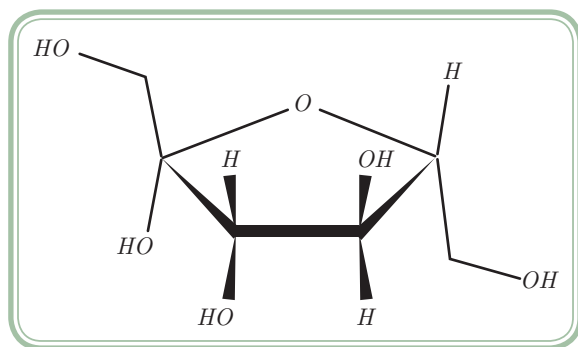


Figura 2.4: Estrutura química da frutose

Fonte: Pinheiro (2005).

- **Galactose** – proveniente da lactose (açúcar do leite)

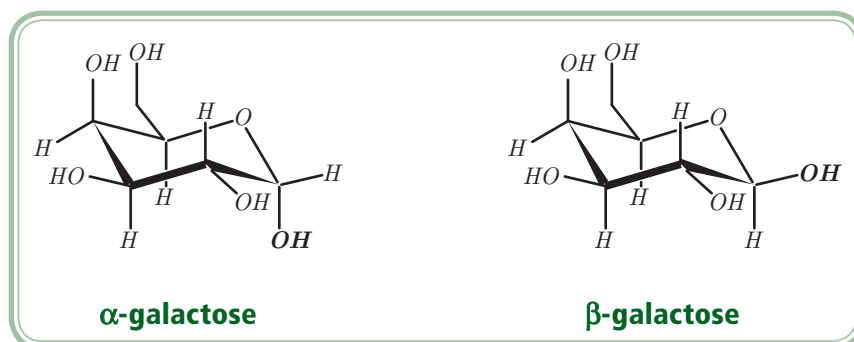


Figura 2.5: Estrutura da α e β galactose “conformação de cadeira”



Vamos exercitar um pouco do que vimos?

1. O que é um monossacarídeo?
2. Cite alguns monossacarídeos importantes em alimentos.

2.1.2 Oligossacarídeos

Um oligossacarídeo contém de 2 a 20 unidades (outros autores definem de 2 a 10 unidades) de açúcares unidos por ligações glicosídicas. Ex: sacarose (glicose + frutose), maltose (glicose + glicose, ligação glicosídica α (1 \rightarrow 4)), celobiose (glicose + glicose, ligação glicosídica β (1 \rightarrow 4)), lactose (galactose + glicose), rafinose (galactose + glicose + frutose), estaquiose (galactose + galactose + glicose + frutose), etc.

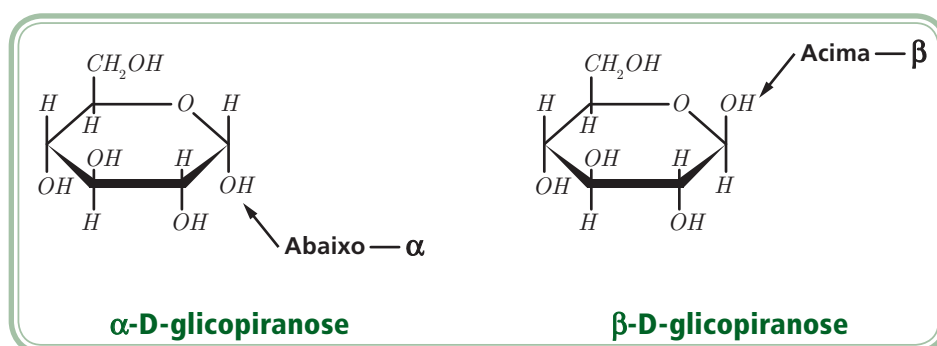


Figura 2.6: Exemplo de estrutura de monossacarídeo alfa e beta



Os anéis são nomeados de acordo com o número e átomos que os formam, por exemplo, o pirano contém seis membros e o furano cinco membros.

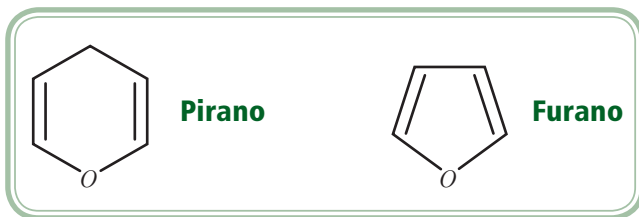


Figura 2.7: Exemplo de estrutura de um pirano e furano

2.1.2.1 Maltose

Também conhecida como açúcar do malte, é o elemento básico da estrutura do amido, de onde pode ser facilmente obtida por hidrólise ácida ou enzimática (através da enzima β -amilase).

2.1.2.2 Lactose

É o açúcar comum do leite. Nos produtos lácteos fermentados como os iogurtes e alguns queijos, contém uma quantidade menor de lactose (quando comparados ao leite e produtos lácteos não fermentados), pois durante a fermentação parte da lactose é convertida em ácido lático. Pertence à série de dissacarídeos redutores e a enzima responsável por sua hidrólise é a lactase.

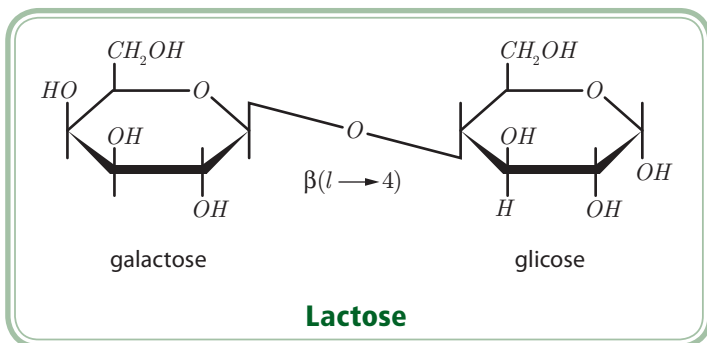


Figura 2.8: Exemplo de estrutura da lactose

2.1.2.3 Sacarose

É o dissacarídeo mais consumido e as principais fontes são a cana-de-açúcar e a beterraba. É composta por uma unidade α -D-glucopiranosil e outra β -D-frutofuranosídeo. Sendo um dissacarídeo não redutor não reage com solução de Fehling ou solução amoniacal de íons de prata, nem sofre mutarrotação (quando em solução observa-se a transformação de uns isômeros em outros). É facilmente hidrolisada por soluções diluídas de ácidos minerais ou por enzimas (invertase) com formação de D-glicose e D-frutose.

Inversão da sacarose – Consiste na hidrólise de sua molécula, seja por via enzimática (invertase), seja por procedimentos físico-químicos, como a hidrólise com ácido clorídrico. O termo inversão refere-se à mudança que se observa no poder rotatório da solução quando ocorre a hidrólise, por exemplo, a rotação específica de uma solução de sacarose é de $+66,5^\circ$, enquanto a do açúcar invertido é de -20° . O fenômeno da inversão provoca o aumento do sabor doce e, sobretudo, da solubilidade do açúcar, visto que a frutose livre é mais solúvel que a sacarose.

2.1.3 Algumas propriedades dos açúcares

Solubilidade constitui-se em propriedade importante pelos seus efeitos texturais e preservativos, pois graças à capacidade da molécula dos açúcares de ligar moléculas de água, o seu teor pode ser elevado alterando-se a textura, sem um aumento considerável da atividade de água. Conforme a maior ou menor solubilidade do açúcar em água, ele pode ser escolhido para um determinado tipo de alimento industrializado. Todos os açúcares são solúveis em água e, geralmente, há variação de 30 a 80% na solubilidade.

Higroscopicidade é a capacidade do açúcar (na forma cristalina) de absorver umidade da atmosfera e formar torrões, às vezes, tão duros (empedramento) que prejudicam a sua utilização. Propriedade não desejável, ocorre quando o armazenamento não é adequado.

A higroscopicidade está relacionada diretamente com a presença de grupos hidroxilas, que são capazes de ligar água mediante o estabelecimento de pontes de hidrogênio. Os açúcares são mais higroscópicos, quanto menor for o tamanho dos cristais devido à maior superfície de contato. O açúcar refinado é mais fácil de hidratar do que o açúcar cristal.



A frutose (levulose) é o mais solúvel e o mais doce dos açúcares. Conforme a fruta amadurece, ela se torna mais doce porque a sacarose que ela contém é quebrada em glicose + frutose.

Doçura relativa de alguns açúcares: lactose (16), glicose (75), sacarose (100), frutose (175).

Cristalização: Uma das principais características dos açúcares é sua capacidade de formar cristais. É desejável obter açúcar industrial ou refinado na

forma cristalina. O processo de cristalização da sacarose na indústria é exatamente o de purificação dela. O estado vítreo é o estado amorfo (sem forma), no qual a viscosidade é tão elevada que impede a cristalização do açúcar.

Em certos alimentos, não é desejável a presença de cristais que possam ser detectados pelo paladar, é o caso, por exemplo, dos grandes cristais de lactose que podem aparecer no leite condensado ou no sorvete, esses cristais conferem ao produto textura arenosa, tornando esse produto praticamente inutilizável.

Os carboidratos capazes de reduzir sais de cobre e prata em soluções alcalinas são conhecidos como açúcares redutores, pois apresentam um grupo carbonila livre. Assim, todos os monossacarídeos são redutores. Já os açúcares não redutores não são capazes de reduzir sais de cobre e prata em soluções alcalinas, neste caso, os grupos carbonilas não estão livres, pois estão envolvidos na ligação glicosídica.

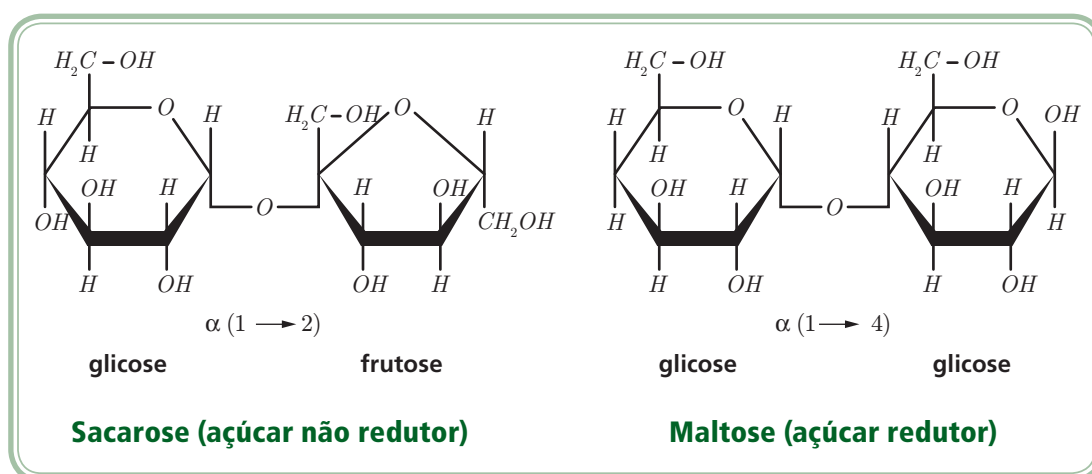


Figura 2.9: Exemplos de açúcar redutor e não redutor

A ciclização dos monossacarídeos acontece como resultado de interação entre carbonos aparentemente distantes, tais como C-1 e C-5, para formar um **hemiacetal**. Ou uma interação entre C-2 e C-5 para formar um **hemicetal**.

2.1.4 Polissacarídeos (glicanos)

São polímeros de monossacarídeos (mais de 10 unidades), dispostos de forma linear ou ramificada. Se todas as unidades glicosídicas estão constituídas pelo mesmo açúcar, são homogêneos, e se chamam homoglicanos,

por exemplo, a celulose, amilose, amilopectina. Quando um polissacarídeo é composto por duas ou mais unidades diferentes de monossacarídeos, são chamados de heteroglicanos, por exemplo, alginatos.

A maioria dos carboidratos ocorre na forma de polissacarídeos.

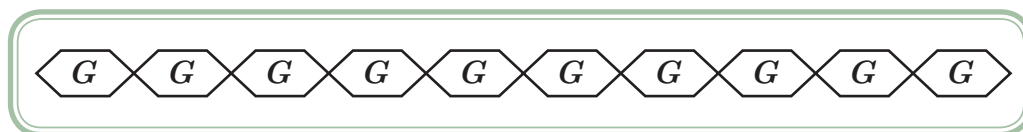


Figura 2.10: Exemplo de estrutura de um polissacarídeo

Os polissacarídeos mais abundantes na natureza são o amido, a celulose, pectinas, glicogênio.

Os polissacarídeos de menor peso molecular são na sua grande maioria solúveis em água, e a solubilidade diminui não só com o aumento de peso molecular, mas também com a maior ou menor facilidade com que as moléculas desses compostos se associam umas as outras.

São exemplos de polissacarídeos insolúveis a celulose e hemicelulose, que são constituintes da chamada fibra dietética, são benéficos a saúde, contribuindo para motilidade intestinal. Os demais polissacarídeos são solúveis em água e responsáveis pela viscosidade e pela capacidade espessante e geleificante, por isso, sua presença permite preparar alimentos com formas e texturas específicas. A sua solubilidade pode ser explicada pelo fato de serem poliálcoois constituídos por unidades glicosídicas contendo, em média, três grupos hidroxila que podem estabelecer uniões (pontes de hidrogênio) com as moléculas de água, de tal maneira que cada molécula de polissacarídeo pode estar totalmente solvatada e, portanto, permanecendo totalmente dissolvida na água. Juntos, os polissacarídeos e a água controlam muitas propriedades funcionais dos alimentos, incluindo a textura.

2.1.4.1 Função dos polissacarídeos em alimentos

Os polissacarídeos apresentam a propriedade de reter moléculas de água, formando soluções coloidais e controlando desse modo, a atividade de água de um sistema. Gomas, coloides hidrofílicos (ou hidrocoloides), mucilagens, ou ainda polissacarídeos solúveis em água, são algumas designações dadas a essas substâncias que têm a capacidade de formar com água, géis ou soluções viscosas, isto é, têm a função de agentes espessantes ou gelificantes,

estabilizantes de emulsões. São exemplos de alguns hidrocolóides: pectina, amido, agar, alginatos que formam géis mesmo em baixas concentrações.

Outros polissacarídeos: celulose, hemicelulose, goma arábica, goma “karaaya”, carragenana, goma guar, goma locuste, goma de tamarindo, dextrana, xantana, etc.

2.1.5 Amido

É um polímero encontrado nos vegetais, desempenhando a função de reserva. Os amidos comerciais são obtidos das sementes de cereais, particularmente de milho, trigo, vários tipos de arroz e algumas raízes e tubérculos, como por exemplo, a batata. Tem grande importância na aplicação em alimentos como, ligantes, estabilizante de espuma, agente de envelhecimento do pão, gelificante, umectante, estabilizante, texturizante e espessante.

O amido se diferencia dos outros carboidratos pela natureza em que se apresenta, como complexas partículas (grânulos). Os grânulos de amido são relativamente densos e insolúveis, sua hidratação é mínima em água fria, formando suspensões de baixa viscosidade. A capacidade de formar soluções viscosas é alcançada quando a suspensão dos grânulos é submetida à ação do calor.

Todos os amidos retêm pequenas quantidades de minerais, lipídeos e proteínas.



O grânulo de amido é constituído por uma mistura de dois polissacarídeos denominados amilose (tem estrutura linear) e amilopectina (tem estrutura ramificada).

Na amilose, as moléculas de D-glicose estão unidas por ligações glicosídicas α -1,4 que conferem à amilose uma estrutura helicoidal dentro da qual podem se acomodar átomos de iodo, formando um composto de inclusão de cor azul intensa. Esta reação é usada na determinação quantitativa de amilose, e como indicador da presença de amido.

A amilopectina constitui a fração altamente ramificada do amido. Está presente em todos os amidos, constituindo em torno de 75%. É formada por várias cadeias formadas por 20 a 25 unidades de α -D-glucopiranosose unidas em (1 \rightarrow 4). As ramificações, por sua vez, estão unidas entre si por ligações α -1,6. Durante a cocção, a amilopectina absorve muita água e é responsá-

vel, em parte, pelo inchamento dos grânulos de amido. Devido a sua estrutura ramificada, a amilopectina não tem tendência à recristalização e, ao contrário da amilose, as soluções de amilopectina não retrogradam.

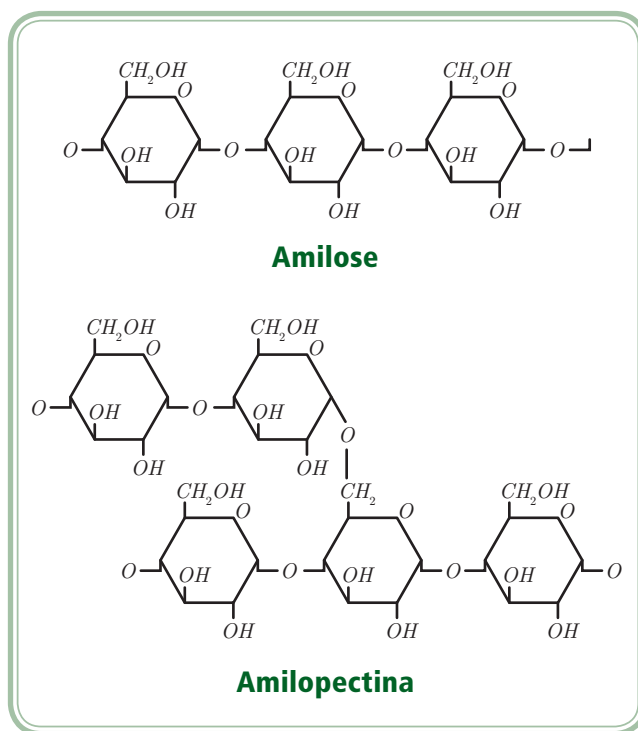


Figura 2.11: Estrutura dos polissacarídeos constituintes do amido

Fonte: Ordóñez et al (2005).

2.1.5.1 Gelatinização e retrogradação do amido

Durante o aquecimento em meio aquoso, os grânulos de amido sofrem mudanças em sua estrutura, envolvendo a ruptura das pontes de hidrogênio estabilizadoras da estrutura cristalina interna do grânulo, quando uma temperatura característica para cada tipo de amido é atingida. Se o aquecimento prossegue com uma quantidade suficiente de água, rompe-se a região cristalina e a água entra, fazendo o grânulo romper-se.

Com a gelatinização, o amido torna-se mais facilmente acessível à ação das enzimas digestivas. A gelatinização refere-se à formação de uma pasta viscoelástica túrbida ou, em concentrações suficientemente altas, de um gel elástico opaco. Conforme passa o tempo e a temperatura diminui (na refrigeração ou congelamento, principalmente), as cadeias de amido tendem a interagir mais fortemente entre si, obrigando a água a sair, determinando, assim, a chamada sinérese.

A recristalização ou retrogradação ocorre se o amido gelatinizado é submetido à leve aquecimento, a estrutura linear (amilose) pode formar um precipitado de natureza cristalina, que é conhecido como o fenômeno da retrogradação.

2.1.5.2 Amido modificado

A estrutura química do amido pode ser modificada por métodos químicos ou enzimáticos, com formação de produtos com propriedades diferentes do amido natural.

2.1.6 Substâncias pécticas

São polímeros lineares do ácido galacturônico, cujos grupos carboxila estão esterificados com metanol em diferentes proporções, os que as tornam diferentes umas das outras. Encontram-se nas paredes celulares e nos espaços intracelulares dos tecidos vegetais. Entre as mais importantes temos: o ácido péctico (as carboxilas das unidades galacturônicas não estão esterificadas) e o ácido pectínico (as carboxilas das unidades galacturônicas estão esterificadas, por exemplo, a pectina).

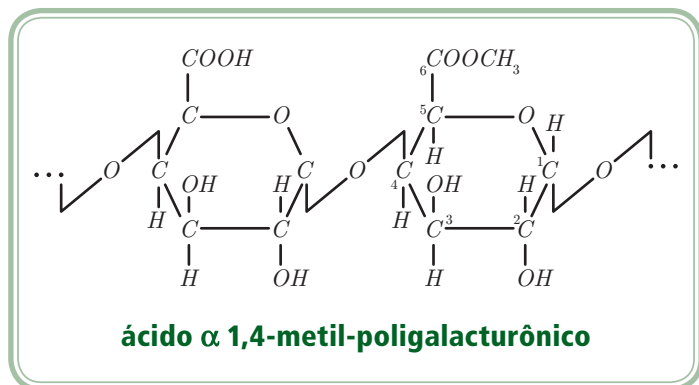


Figura 12: Estrutura química da cadeia de pectina

O comprimento da cadeia e o grau de esterificação são importantes no momento de determinar as propriedades das pectinas, em especial, sua capacidade geleificante. As pectinas (~1%) em presença de açúcar (60 a 65%) e ácido (pH 2 a 3,5) formam géis muito estáveis. Nas pectinas naturais, os grupos metoxílicos esterificados podem chegar até 16%. As pectinas com mais da metade dos grupos carboxila esterificados com metanol são chamadas de pectinas de alto grau de metoxilação (HM) e com menos da metade, são chamadas de baixo grau de metoxilação (LM). As soluções de pectinas HM geleificam na presença de açúcares, enquanto as LM só o fazem na presença de cátions divalentes, principalmente o cálcio.

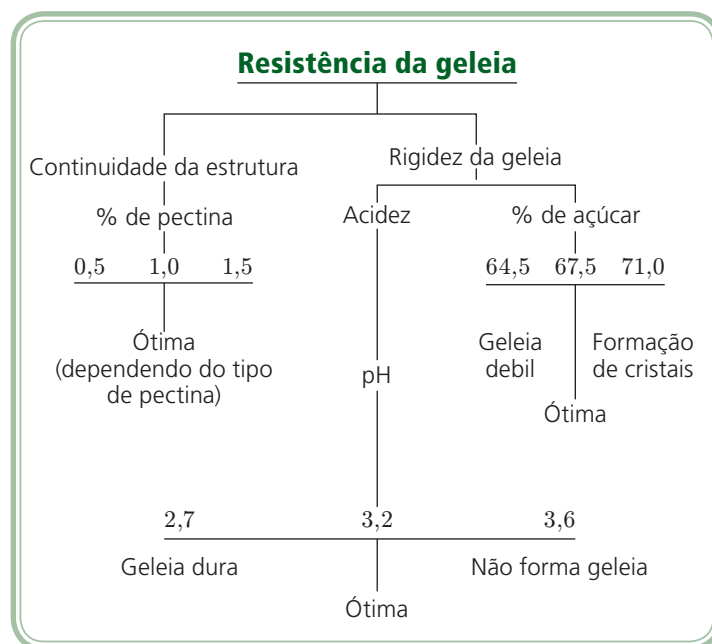


Figura 13: Formação de geleia em função da combinação pectina, açúcar e acidez

Fonte: Desrosier (1974 apud GAVA, 2008).



1. Cite e descreva algumas propriedades dos açúcares.
2. Defina e dê exemplos de açúcar redutor.
3. O que é açúcar invertido?
4. Qual o polissacarídeo de reserva vegetal e o de reserva animal?
5. O que difere o processo de geleificação do amido e da pectina?
6. É possível a elaboração de geleias de frutas sem adição de açúcar? Explique.

Resumo

Nesta aula, você aprendeu que os carboidratos são formados por poliálcoois e dependendo do número de unidades que os constituam, são classificados em monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos. Dentro dessa classificação, você conheceu os mais importantes, como também suas características mais relevantes para a indústria de alimentos.

Atividades de aprendizagem

Agora, você vai avaliar o quanto aprendeu. Retome a aula, veja os passos dados e responda às questões.

1. Conceitue e classifique os carboidratos.
2. Descreva sucintamente sobre monossacarídeos, oligossacarídeos e polisacarídeos mais importantes.

Aula 3 – Lipídios

Objetivos

Definir o conceito de lipídios.

Conhecer suas propriedades físicas.

Descrever as principais alterações que afetam os alimentos.

3.1 Definição

São substâncias que se caracterizam pela propriedade de serem insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos, tais como éter, clorofórmio, benzeno, entre outros. Devido a sua complexidade, os lipídios não são polímeros, isto é, não são repetições de uma unidade básica. São os componentes principais do tecido adiposo e juntamente com as proteínas e carboidratos constituem os principais componentes estruturais das células vivas. Os glicérides (mono, di ou tri) são ésteres de glicerol e dos ácidos graxos e correspondem a 99% dos lipídios de origem vegetal ou animal, que são tradicionalmente denominados de óleos e gorduras.

Os lipídios apolares ou neutros são ésteres de ácidos graxos com alcoóis, e incluem-se nesse grupo os glicérides, ceras, carotenoides, terpenoides e esteroides. Os lipídios polares são substâncias que, além da ligação éster da união do ácido graxo e do álcool, tem outras funções químicas. Pertencem a esse grupo os fosfolipídios, cerebrosídeos e outros lipídios complexos, como os esfingolipídios.



3.2 Aspectos físicos

A seguir, vamos conhecer um pouco sobre algumas características físicas dos óleos e gorduras. Dentre elas, podemos citar: polimorfismo, ponto de fusão, índice de refração, saponificação, densidade, hidrogenação e transesterificação ou interesterificação.

3.2.1 Polimorfismo

As gorduras diferenciam-se dos óleos no grau de solidificação à temperatura ambiente, já que os óleos são líquidos nessas condições. O estado sólido de uma gordura não é senão a consequência do aparecimento de cristais, e a proporção destes é de grande importância na determinação das propriedades físicas de um produto. Os cristais na gordura mantêm-se unidos por forças de Van der Waals e, em seu crescimento, formam uma rede tridimensional que confere rigidez ao produto, podendo reter em seu interior gordura líquida ainda sem cristalizar (cristais mistos). Uma das características mais importantes da gordura é seu polimorfismo cristalino, já que tanto os triglicerídeos como os di e monoglicerídeos têm a propriedade de solidificação em diferentes formas cristalinas.

3.2.2 Ponto de fusão

É a temperatura em que as gorduras sólidas passam para o estado líquido. A presença de ácidos graxos de cadeia curta ou insaturados tende a ter ponto de fusão mais baixo e, por isso, os óleos vegetais, ricos em ácidos graxos insaturados, são líquidos em temperatura ambiente, enquanto a gordura animal, mais saturada, apresenta-se como sólida na mesma temperatura.

3.2.3 Índice de refração

Os óleos e gorduras possuem poder de refringências diferentes e de acordo com a sua natureza, desviam com maior ou menor intensidade os raios luminosos que os atravessam. O índice de refração (n) de uma substância é a relação entre a velocidade da luz no vácuo e sua velocidade na substância, neste caso, um óleo ou uma gordura. Geralmente o índice de refração dos óleos e gorduras é proporcional ao tamanho da cadeia e também ao grau de insaturação.

3.2.4 Saponificação

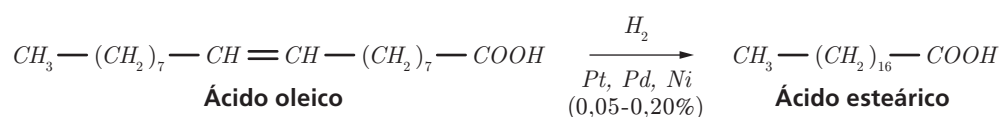
Quando um óleo ou gordura é aquecido em solução aquosa de álcali, forma-se glicerol e uma mistura de sais alcalinos de ácidos graxos conhecidos como sabões.

3.2.5 Densidade

Sua aplicação mais importante é para determinar a relação sólido/líquido das gorduras comerciais.

3.2.6 Hidrogenação

Consiste na adição de hidrogênio às duplas ligações dos ácidos graxos insaturados dos óleos e gorduras naturais, na presença de um catalisador, produzindo saturação total ou parcial da cadeia, sob condições de T elevadas (140 e 225°C) (Pressão: 0,5-4 atm). O processo é aplicado para aumentar o ponto de fusão das gorduras. Essa reação é de grande importância na indústria porque permite a conversão de óleos em gorduras utilizáveis na indústria de elaboração de margarinas e gorduras emulsificantes (*shortenings*). A reação de hidrogenação normalmente é controlada medindo-se o índice de refração, relacionado com o grau de saturação. É durante o processo de hidrogenação que grande parte da gordura cis se transforma em gordura trans (~90%).



Isômeros trans também podem ser formados no processo de refinação de óleos, cerca de 0,2 a 6,7% e nas operações de fritura, em torno de 0 a 35%.



“Shortenings” ou “spreads” – Ex: margarina, gordura vegetal, cremes vegetais.

Rótulo – zero trans ($\leq 0,2$ g/porção)

3.2.7 Transesterificação (interesterificação)

A interesterificação é uma técnica usada para transformar óleos em gordura. Ou seja, é um processo industrial de endurecimento de óleos sem o inconveniente de formar isômero trans e diminuir o valor nutritivo. Devido à crescente preocupação com o impacto nutricional dos AGT (Ácidos Graxos Trans) na saúde, a interesterificação tem-se mostrado como o principal método para preparação de gorduras com baixos teores de isômeros trans ou mesmo ausência destes compostos. Este processo apresenta-se como um bom substituto do tratamento de hidrogenação. Os métodos utilizados podem ser químicos ou enzimáticos. No processo químico podem ser utilizados ácidos, bases ou metais, enquanto no processo enzimático podem ser utilizados, por exemplo, lípases microbianas.

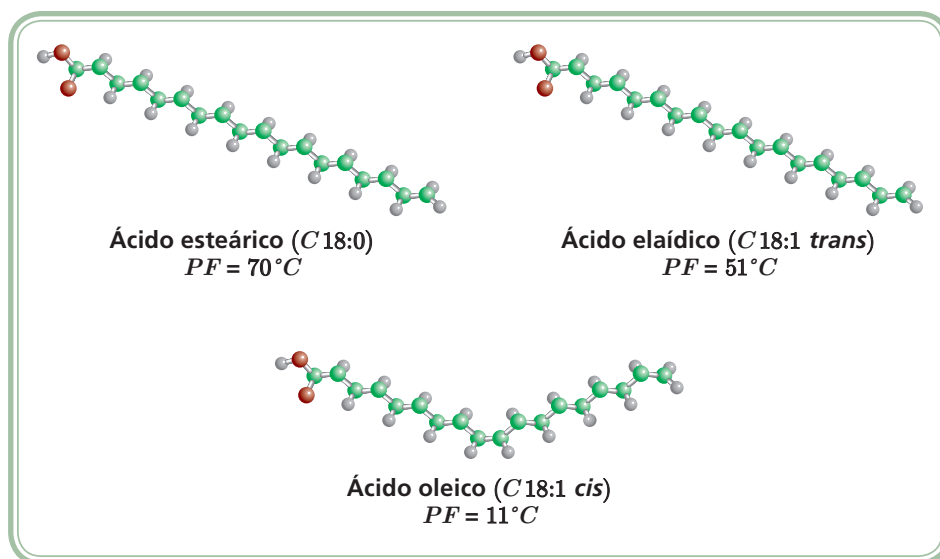


Figura 3.1: Estruturas e pontos de fusão dos ácidos esteárico, oleico e eláidico

Fonte: Ribeiro et al (2007).

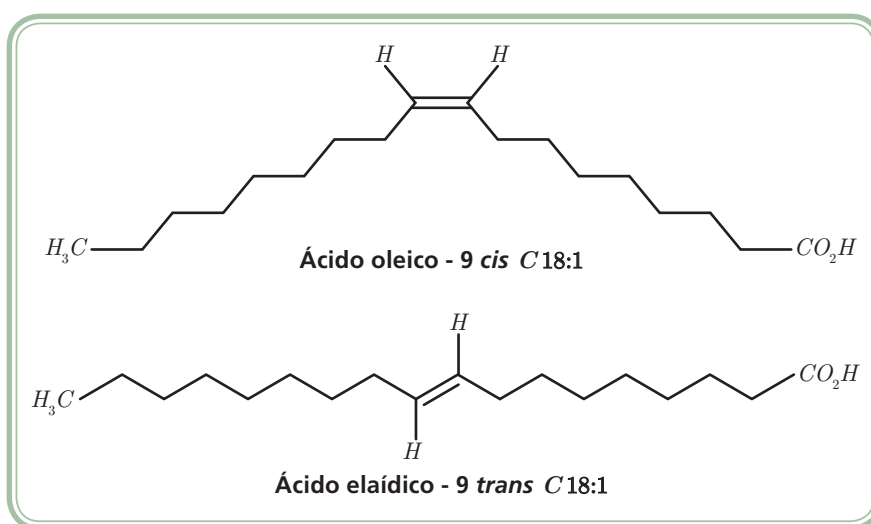


Figura 3.2: Configurações dos ácidos oleico e eláidico nas formas isoméricas *Cis* e *Trans*

Fonte: <http://www.mecatronica.eesc.usp.br/wiki/upload/f/fb/Acido_graxo_oleico.png>. Acesso em: 16 mar. 2011.

É bom lembrar que ácidos graxos saturados não apresentam configuração *cis* nem *trans*, porque não tem dupla ligação.

Vamos exercitar um pouco do que vimos?



1. Defina lipídios polares, apolares e dê exemplo de cada um deles.
2. Descreva alguns aspectos físicos dos óleos e gorduras.

3.3 Alterações nos alimentos

Os lipídios podem sofrer transformações químicas durante o armazenamento, no processamento ou ainda no uso como meio de calor. As transformações mais importantes são a lipólise e a oxidação, que levam à deterioração dos lipídios, tais como, rancidez hidrolítica e oxidativa, respectivamente.

3.3.1 Lipólise

É uma reação que ocorre com a hidrólise das ligações éster dos lipídios, em consequência da ação enzimática (lipases e fosfolipases) ou por aquecimento da gordura na presença de água, em ambos os casos ocorre liberação de ácidos graxos livres, que são mais suscetíveis à oxidação do que quando se encontram esterificados ao glicerol. Por sua vez, se os ácidos graxos livres forem oxidados, serão responsáveis pela aparição de sabores estranhos (ranço).

A lipólise é uma das principais reações produzida durante a fritura dos produtos alimentícios, devido à água presente nos alimentos e a temperatura relativamente alta a que é submetida à gordura.

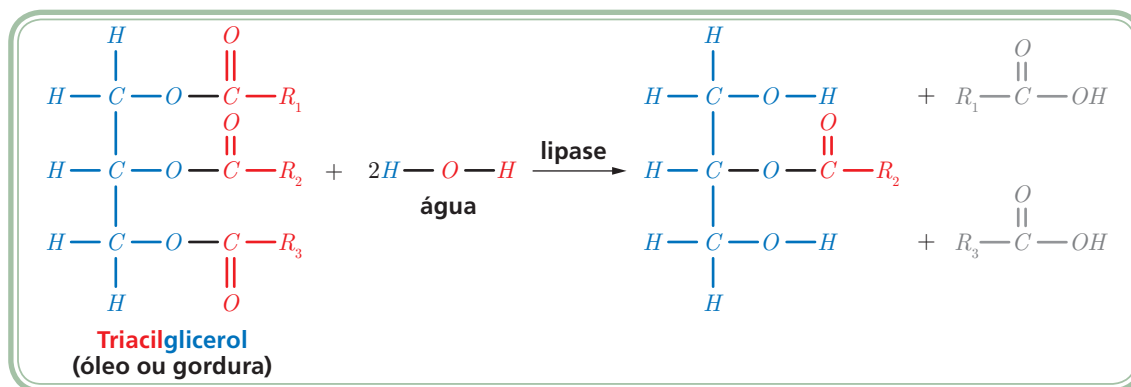


Figura 3.3: Reação de hidrólise enzimática. Fonte: <<http://petagronomia.files.wordpress.com/2010/02/2009-bioquimica-marisa-cacia-de-oliveira-lipideos2.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2011.

3.3.2 Rancidez hidrolítica

Efeitos benéficos: maturação de queijos; iogurtes, pães, chocolates. Efeitos maléficos: odor a ranço (manteiga, leite cru e leite de coco), aumento de acidez, alterações das propriedades funcionais, abaixamento do ponto de fumaça, favorecimento da oxidação de lipídios.

3.3.3 Autoxidação

É uma das principais causas de deterioração dos alimentos. O substrato principal para que a reação ocorra são as insaturações, o que leva conseqüentemente, a formação sabores e odores desagradáveis, o ranço.

O processo é oxidativo e pode acontecer tanto por via não enzimática (autoxidação e fotoxidação), quanto por via enzimática (pela ação das li-poxigenases).

Na rancidez provocada pela autoxidação verifica-se a reação do oxigênio atmosférico com as duplas ligações dos ácidos graxos insaturados, produzindo peróxidos e hidroperóxidos que por uma série de reações paralelas geram compostos como aldeídos, cetonas, alcoóis, entre outros, que são responsáveis pelas características de produtos rancificados. A rancidez além de afetar as características sensoriais dos alimentos, destrói vitaminas, ácidos graxos essenciais, pigmentos e proteínas.

Veja o esquema da autoxidação dos lipídios na Figura 3.4.

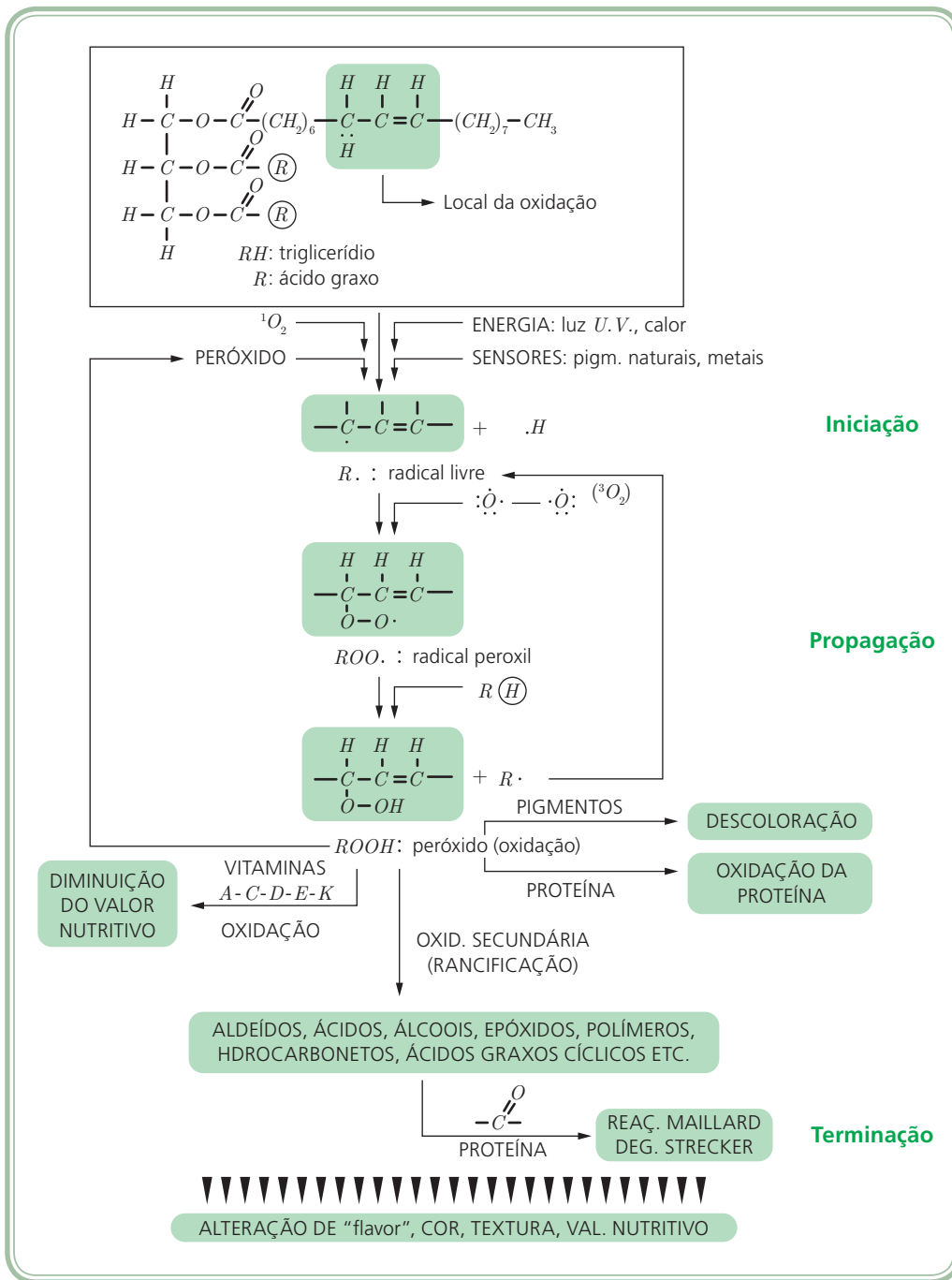


Figura 3.4: Alterações químicas no alimento, provocadas pela oxidação de lipídios durante o processamento e armazenamento

Fonte: Araújo (2004).

É uma reação química de baixa energia de ativação (4-5 Cal/mole) bastante complexa, que abrange grande número de reações inter-relacionadas, não sendo significativamente inibida pelo abaixamento da temperatura de armazenamento do alimento. A reação envolve a formação de radicais livres e pode ocorrer na ausência da luz.

As reações de autoxidação podem ser divididas em três fases: iniciação, propagação e terminação.

3.3.3.1 Iniciação

A iniciação é caracterizada pela formação de radicais livres. Isso ocorre, quando um hidrogênio é removido do carbono α -metileno (carbono vizinho ao carbono da dupla ligação) por ação da luz, calor, metais ou de outros radicais livres.



O mecanismo de formação do primeiro radical livre ainda não está devidamente esclarecido, mas pode ser formado por irradiação, tratamento térmico e pela ação de íons metálicos. Em alimentos sempre ocorrem traços de peróxidos (formados pela ação do oxigênio singlete ou pela ação da lipoxigenase ou outras oxigenases), os quais se dissociam com formação de radicais livres.

Radicais livres são substâncias químicas que apresentam número ímpar de elétrons, sendo portanto, altamente energéticos e instáveis.

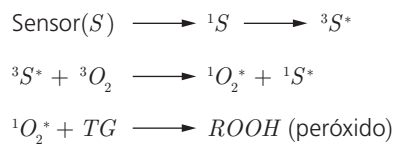
O radical livre é altamente suscetível ao ataque do oxigênio atmosférico, formando o radical peróxido livre. O radical peróxido livre é um forte iniciador de novos radicais livres com a formação de hidroperóxidos.



$RH + O_2 \rightarrow$ radicais livres (R ; ROO.) - é necessário a presença de 1O_2 (oxigênio singlete). A energia de ativação é muito alta, assim a participação de iniciadores (metais, fotossensores) é fundamental na formação do primeiro peróxido.

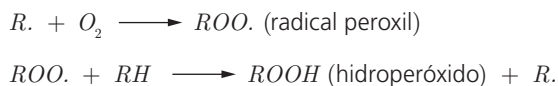
A molécula de lipídio ocorre no estado singlete e o oxigênio do ar no estado triplete, portanto, é altamente improvável a ocorrência inicial da autoxidação. Os fotossensores conhecidos como a clorofila, riboflavina, mioglobina, são capazes de converter o oxigênio triplete (3O_2) em singlete (1O_2). O mecanismo desta conversão é iniciado pela transferência do fotossensor para o estado excitado, devido à absorção de luz na região do visível ou próximo do UV. Subsequentemente, o fotossensor é capaz de transferir o excesso de

energia para a molécula do oxigênio, passando este para o estado singlete, desta forma, ele pode reagir com a molécula de lipídio, formando o peróxido, conforme a sequência abaixo.



3.3.3 Propagação

A formação de radicais peróxido livre e de novos radicais livres pode ser repetida, em cadeia, por milhares de vezes, o que caracteriza a etapa de propagação.



No início, acumulam-se os peróxidos, que por serem altamente instáveis, vão se decompondo e, por isso, seu conteúdo final acaba por diminuir, como consequência, o índice de peróxidos, prova utilizada para determinar o grau de rancificação de uma gordura, não constitui medida efetiva do grau de oxidação, exceto no início da reação. Como resultado da decomposição dos peróxidos obtém-se uma variedade de aldeídos, alcoóis, ácidos, epóxidos, polímeros, hidrocarbonetos, cetonas, dentre os quais se incluem os agentes de gosto e odor indesejáveis.

3.3.3.4 Terminação

Simultaneamente às reações de iniciação e propagação, podem-se produzir as de terminação, que consistem na reação entre compostos radicais, dando lugar a produtos não reativos.

3.3.4 Fotoxidação

É um mecanismo alternativo para formação de radicais livres. A presença de sensores nos tecidos animais e vegetais, como riboflavina, clorofila e mioglobina na presença da luz e oxigênio, dá início ao processo de transferência de energia para a reação de formação do peróxido. A reação fotoxidativa apresenta certas características que diferem da reação de autoxidação, entre elas podemos destacar: não apresenta período de indução e o oxigênio age

direto na dupla ligação sem formar radical livre, havendo a formação imediata de hidroperóxidos.

3.3.5 Rancidez oxidativa devido à ação das enzimas lipoxigenases

O peróxido pode também ser formado por via alternativa, pela reação de ácidos graxos poliinsaturados (linoleico, linolênico e araquidônico), com o oxigênio catalisado pela enzima lipoxigenase presente em vegetais. Os radicais livres intermediários formados durante a oxidação catalisada pela enzima podem oxidar compostos como carotenoides e polifenóis, levando a descoloração do produto.



As lipoxigenases somente atuam sobre os ácidos graxos que possuem um sistema pentadieno ($C=C-C-C=C$). Assim, os substratos preferidos são os ácidos linoleico e ácido linolênico. Formam-se hidroperóxidos que podem se decompor em seus radicais, propagando a reação.



Para retardar o desenvolvimento da rancificação, podem ser acrescentados aos alimentos substâncias antioxidantes que bloqueiam a sucessão de reações, retardando, desse modo, o ranço. Também podem ser aplicados procedimentos físicos fundamentados principalmente no controle dos níveis de oxigênio. São exemplos de antioxidantes: galato de propila, ter-butil-hidroquinona (TBHQ), butil-hidroxianisol (BHA), EDTA (ácido etilenodiaminotetracético), ácido cítrico, vitamina E (tocoferol), etc.



Vamos exercitar um pouco do que vimos?

1. Corrija as frases de modo a torná-las verdadeiras.
 - a) A rancidez oxidativa resulta da hidrólise da ligação éster por lipase ou umidade.
 - b) O substrato necessário para que ocorra lipólise são as ligações insaturadas.
 - c) De forma não enzimática, a rancidez oxidativa se dá em altas temperaturas, produzindo ácidos graxos livres.
 - d) São exemplos de reações de oxidação lipídica: lipólise, autooxidação e fotoxidação.

Resumo

Nesta aula, você estudou o conceito de lipídios, as propriedades físicas das gorduras e dos óleos, e também que os lipídios são o substrato de uma das alterações mais importantes dos alimentos, a lipólise e a oxidação. No caso da oxidação, o substrato necessário para que a reação ocorra são os ácidos graxos insaturados e levam à formação de compostos de baixo peso molecular, como por exemplo, os aldeídos, cetonas, ácidos graxos de cadeia curta, lactonas, etc., que são responsáveis pelo aparecimento de odores estranhos, conhecidos como ranço.

Atividades de aprendizagem

1. Quais os métodos utilizados na indústria que permitem a conversão de óleos em gorduras?
2. Explique o processo de lipólise e oxidação dos lipídios.
3. Quais os tipos de oxidação que podem levar à rancidez dos óleos e gorduras?
4. Descreva, resumidamente, o processo de autooxidação.

Aula 4 – Proteínas, pigmentos, vitaminas e minerais

Objetivos

Estudar as principais propriedades funcionais das proteínas.

Relacionar os fatores que podem afetar essas propriedades.

Tomar conhecimento dos pigmentos mais encontrados nos diversos alimentos de origem vegetal e animal.

Conhecer algumas funções das vitaminas.

Citar alguns minerais essenciais.

4.1 Proteínas

As proteínas são formadas por unidades básicas de aminoácidos, ligados entre si por ligações peptídicas, o que formam polímeros de alto peso molecular. (As ligações são entre o grupo amino (NH_2) de um aminoácido e o grupo carboxílico (COOH) de outro aminoácido). São exemplos de aminoácidos: Glicina (Gli), Alanina (Ala), Valina (Val), Leucina (Leu), isoleucina (Ile), Prolina (Pro), Fenilalanina (Fen), Metionina (Met), Serina (Ser), Treonina (Tre), Cisteína (Cis), Tirosina (Tir), Asparagina (Asn), Glutamina (Glu), Triptofano (Trp), Ácido glutâmico (Glu), ácido aspártico (Asp), Lisin (Lis), Arginina (Arg), Histidina (His).

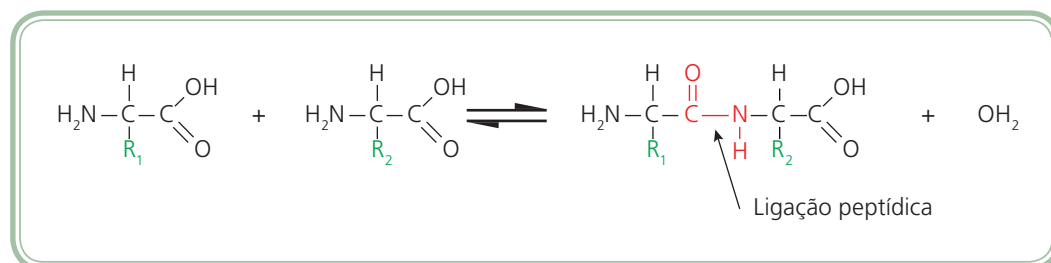


Figura 4.1: Ligação peptídica entre aminoácidos

Fonte: <http://www.enq.ufsc.br/labs/probio/disc_eng_bioq/trabalhos_pos2003/const_microorg/proteinas.htm>. Acesso em: 11 ju. 2011.



As fontes convencionais de proteínas são de origem animal e vegetal, enquanto as não convencionais são provenientes de bactérias, leveduras e cogumelos comestíveis.

4.1.1 Propriedades físicas e químicas

As propriedades físicas e químicas que ditam a funcionalidade da proteína são: forma, composição e sequência de aminoácidos, carga líquida e sua distribuição, relação hidrofobicidade/hidrofilicidade, estruturas primária, secundária, terciária e quaternária, flexibilidade/rigidez e habilidade de reagir com outros componentes. Conforme as funções que desempenham, podem ser agrupadas em três categorias: proteínas estruturais, proteínas com atividade biológica (enzimas) e proteínas com valor nutritivo.

4.1.2 Desnaturação das proteínas

Primeiramente, vamos lembrar que desnaturação proteica é definida como alteração da conformação (estrutura tridimensional) de sua molécula, acarretando a perda de sua atividade biológica e funcionalidade. A desnaturação, por sua vez não envolve alterações da estrutura primária, mas de estruturas secundárias, terciárias e quaternárias.

Na ciência e tecnologia de alimentos, a estrutura nativa de uma proteína, ou mistura delas, tem uma importância apenas relativa de acordo com as necessidades do tecnólogo ou do consumidor, o que faz com que em muitos casos, um certo grau de desnaturação seja desejável. Um exemplo característico é a desnaturação das proteínas do trigo durante a mistura da massa para se obter a rede estrutural que dá o corpo e a textura característicos do pão de trigo. As principais proteínas envolvidas no processo são as proteínas da semente, as gliadinas e as gluteninas.

A proteína desnaturada é geralmente menos solúvel ou até mesmo insolúvel, aumenta a viscosidade do alimento, a reatividade dos grupos laterais, é mais sensível a hidrólise pelas enzimas proteolíticas e em muitos casos a sua digestibilidade e utilização aumentam.

Os vários fatores que podem provocar a desnaturação proteica são: calor, alteração da superfície, alteração do pH e concentrações salinas, desidratação, etc. No caso do calor, por exemplo, o branqueamento e a pasteurização utilizados durante diferentes tratamentos tecnológicos provocam a desnaturação da proteína, acarretando a inativação enzimática e a eliminação dos efeitos tóxicos de várias proteínas (toxinas microbianas e inibidores enzimáticos naturais etc). Em geral, quanto maior o peso molecular, mais facilmente a proteína será desnaturada pelo calor. A subtração do calor até o congelamento pode desnaturar irreversivelmente algumas proteínas, porém

certas enzimas, no entanto, não desnaturam e até conservam atividade a temperatura de - 40°C, como ocorre com a α -galactosidase, que degrada os oligossacarídeos do amendoim e da soja.

Vamos exercitar um pouco do que vimos?



1. Defina proteínas e cite os aminoácidos que podem ser encontrados numa cadeia proteica.
2. De acordo com as funções, quais os tipos de proteínas?
3. Descreva resumidamente sobre desnaturação proteica.

4.1.3 Propriedades funcionais das proteínas

O estudo das propriedades funcionais das proteínas em alimentos é de fundamental importância, tendo em vista que a escolha e o emprego correto das proteínas para produção de alimentos estão diretamente relacionados com o conhecimento prévio que se tem de suas propriedades. Essas propriedades têm características que governam o comportamento das proteínas nos alimentos durante o processamento, preparação e armazenamento, assim como a influência na qualidade, utilização e aceitação do alimento frente ao consumidor.

De um modo geral, as propriedades funcionais das proteínas referem-se a qualquer propriedade química, físico-química ou física, que afete o processamento ou determine as funções do produto final. Por exemplo, as características sensoriais dos pães estão relacionadas com as propriedades viscoelásticas e formadoras da massa do glúten do trigo; as propriedades texturais e suculentas dos produtos cárneos dependem em parte das proteínas musculares (actina, miosina, actimiosina e várias proteínas da carne solúveis em água); as propriedades texturais e a formação da coalhada que oferecem alguns produtos lácteos se devem a estrutura coloidal das micelas de caseína; a estrutura de alguns biscoitos é dependente das propriedades funcionais das proteínas da clara do ovo, entre outras mais.

As propriedades funcionais de proteínas em alimentos são: emulsificação (salsichas, creme de leite, maionese), hidratação (salsicha, massa de pão e bolo), viscosidade (sopas, molhos, sobremesa), geleificação (queijo, salsicha), espuma (coberturas, bolos, sorvetes), solubilidade (soro de leite).

4.1.3.1 Propriedades emulsificantes

As emulsões são sistemas dispersos de dois líquidos pouco solúveis ou insolúveis entre si.

Em geral, as proteínas são consideradas bons agentes emulsificantes porque possuem numa mesma molécula regiões hidrofílicas e hidrofóbicas, as quais reduzem a tensão superficial e interagem na interface da emulsão. Contudo, a maioria das proteínas apresenta uma redução ou perda da atividade emulsificante em regiões de pH próximo ao ponto isoelétrico da proteína, onde a carga líquida e a solubilidade apresentam-se reduzida. Outros fatores que prejudicam a capacidade emulsificante das proteínas são a presença de sais e exposição ao aquecimento.



Na emulsão óleo em água, a fase dispersante é água e a dispersa, óleo. No caso da emulsão água em óleo, a fase dispersante é óleo e a dispersa é água.

A propriedade emulsificante da proteína é importante para vários produtos alimentícios, tais como: maionese (emulsão óleo em água), manteiga (emulsão água em óleo), margarina (emulsão água em óleo), creme de leite, carne finamente moída utilizada em salsichas e outros embutidos etc.

4.1.3.2 Propriedade de hidratação

As propriedades de hidratação das proteínas dependem da sua composição de aminoácidos e de sua conformação. Assim, quando há proporção maior de aminoácidos com cadeias laterais hidrofóbicas, a proteína apresenta capacidade menor de hidratação do que quando é composta por aminoácidos com cadeias laterais hidrofílicas, que podem estabelecer mais facilmente pontes de hidrogênio com a água.

As proteínas exibem sua hidratação mínima em seu ponto isoelétrico, já que as interações proteína-proteína minimizam a interação com água. Tanto acima como abaixo do ponto isoelétrico, as proteínas incham e fixam mais água devido ao aumento da carga líquida (negativa ou positiva) e das forças repulsivas. A máxima capacidade da maioria das proteínas se ligarem à água é em valores de pH entre 9 e 10 devido à ionização dos grupos sulfidrilas.

Em baixas concentrações de sais, os sais aumentam a capacidade de fixação de água das proteínas, porque os íons de sais hidratados se fixam (fracamente) aos grupos carregados das proteínas. Entretanto, em concentrações salinas elevadas, grande parte da água presente no meio se fixa aos íons de sal, o que leva a desidratação das proteínas.

A capacidade de fixar água pelas proteínas vai diminuindo à medida que aumenta a temperatura, devido à ruptura das pontes de hidrogênio.

A capacidade de fixação de água não serve para prever as características de solubilidade das proteínas. Em outras palavras, a solubilidade das proteínas não depende apenas da capacidade de fixação de água, mas também de outros fatores termodinâmicos.

4.1.3.3 Viscosidade

A viscosidade de um fluido é a medida de sua resistência a fluir ou a romper-se. A viscosidade dos fluidos proteicos está diretamente relacionada com o diâmetro aparente das moléculas dispersas, que, por sua vez, depende das características de cada proteína (massa, volume, estrutura, cargas elétricas etc.), das interações proteína-água (determina o inchamento das moléculas) e das interações proteína-proteína (influem no tamanho dos agregados). Portanto, a perda da viscosidade dos fluidos proteicos é sempre determinada pela diminuição do diâmetro aparente das moléculas.

A viscosidade é também afetada pelo pH, pela temperatura, pela concentração proteica e salina, pois todos esses fatores implicam a ruptura de pontes de hidrogênio ou dissulfeto, modificando o diâmetro aparente.

4.1.3.4 Geleificação

Um gel é uma fase intermediária entre um sólido e um líquido. A geleificação proteica consiste na formação de uma rede proteica ordenada a partir de proteínas previamente desnaturadas. As ligações envolvidas na formação da rede são, basicamente, pontes de hidrogênio, interações hidrofóbicas e interações eletrostáticas. A maioria dos géis proteicos alimentares são preparados aquecendo-se uma solução de proteína.

A geleificação proteica é uma propriedade funcional com grandes aplicações em Tecnologia de alimentos, já que se aplica não apenas à formação de géis viscoelásticos, mas também para melhorar a absorção de água, a viscosidade, a adesão entre partículas e para estabilizar emulsões e espumas. As proteínas alimentares que apresentam melhores propriedades geleificantes são as proteínas miofibrilares (actina e miosina) que influem na textura das carnes reestruturadas, ajuda a estabilizar a emulsão das salsichas; as micelas de caseína que são utilizadas para preparação de coalhadas, elaboração de queijos, leites fermentados etc.; as proteínas da clara do ovo utilizadas como agente ligante na fabricação de derivados cárneos etc.

4.1.3.5 Propriedades espumantes

Espumas são sistemas onde os gases estão dispersos numa fase líquida, formando bolhas de ar.

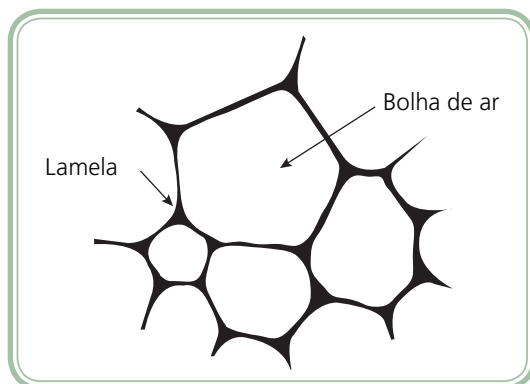


Figura 4.2: Esquema de espumas a base de proteínas

Fonte: Santos (2008).

As espumas alimentícias são bastante instáveis porque apresentam grande superfície na interface. A desestabilização deve-se fundamentalmente a:

- a) perda de líquido da lâmina por gravidade, diferença de pressão ou evaporação;
- b) difusão do gás das bolhas pequenas para as grandes;
- c) ruptura da lamínula líquida que separa a fase gasosa.

A capacidade de formar e estabilizar espumas não é a mesma para todas as proteínas. As proteínas alimentícias que apresentam boas propriedades espumantes são a clara de ovo, as proteínas do soro do leite, entre outras.

4.1.3.6 Solubilidade

As propriedades funcionais das proteínas são frequentemente afetadas pela solubilidade proteica; geralmente as proteínas requerem alta solubilidade para promover emulsão, espuma, geleificação e capacidade espessante. As proteínas insolúveis têm uso muito limitado nos alimentos, por exemplo, na fabricação de queijo, a precipitação da caseína.

A solubilidade de uma proteína é definida como a porcentagem de proteína que se mantém em solução ou dispersão coloidal sob condições específicas e que não sedimenta com forças centrifugas moderadas.

As interações que mais influenciam as características de solubilidade das proteínas são as hidrofóbicas e iônicas. As interações hidrofóbicas promovem a associação proteína-proteína e diminui a solubilidade, entretanto, a iônica promove as interações proteína-água e aumenta a solubilidade.

A solubilidade das proteínas depende não apenas das propriedades físico-químicas da molécula, mas também do pH, da força iônica, da temperatura e do tipo de solvente.

Em pH distinto do ponto isoelétrico, as proteínas possuem cargas líquidas e repelem-se entre si, podendo interagir com moléculas de água, portanto, são mais solúveis.

Concentrações baixas de sais aumentam a solubilidade, mas quando a concentração é aumentada, as proteínas podem precipitar-se devido ao excesso de íons (os que não estão ligados às proteínas), já que concorrem com elas pela água.

Em relação à temperatura, geralmente, a solubilidade das proteínas aumenta com a temperatura de 0 a 40° C, e acima de 40° C, a maioria delas tende a se desnaturar-se, o que implica numa perda de solubilidade.

A presença de certos solventes diminui as forças eletrostáticas de repulsão entre as moléculas proteicas, o que favorece a agregação e posterior precipitado. Além disso, os solventes competem pelas moléculas de água e, portanto, também reduzem a solubilidade das proteínas.

Vamos exercitar um pouco do que vimos?

1. Qual a importância das propriedades funcionais das proteínas para a tecnologia de alimentos?
2. Cite pelo menos três propriedades funcionais das proteínas e descreva sobre cada uma delas.



Na indústria de bebidas, a interação de compostos fenólicos (por exemplo, taninos) com proteínas afeta a solubilidade, ocasionando sua precipitação.



4.2 Pigmentos

Os pigmentos são responsáveis pelas cores dos vegetais e animais. Nos produtos alimentícios eles podem ser naturais, quando extraído de substância vegetal ou animal, e artificiais ou sintéticos quando produzido quimicamente.

4.2.1 Pigmentos dos tecidos animais

Mioglobina e hemoglobina – a mioglobina é a principal substância na determinação da cor da carne. O teor de hemoglobina (prevalece no sangue) só influenciará a cor se o processo de sangria for mal executado. Tanto a mioglobina como a hemoglobina são proteínas globulares com um grupo prostético heme e ambas complexam com o oxigênio, o que é essencial para atividade biológica do animal. Na Figura 4.3 está representada a estrutura da mioglobina.

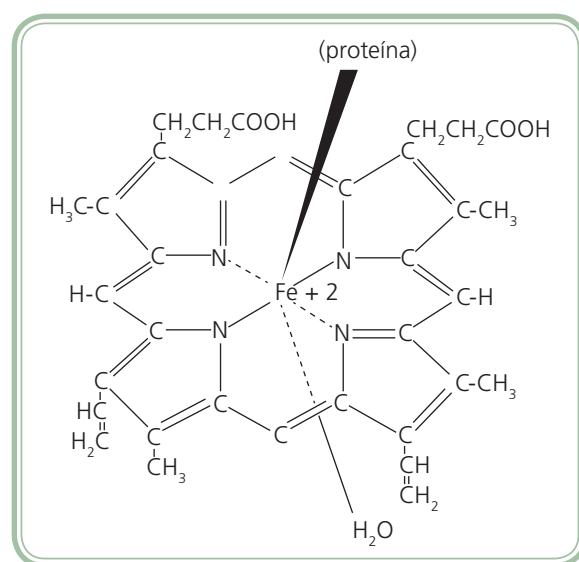


Figura 4.3: Estrutura da mioglobina

Fonte: Bobbio e Bobbio (1984).

4.2.2 Pigmentos dos tecidos vegetais

Clorofilas – São os pigmentos responsáveis pela cor verde dos vegetais. Ocorrem nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos vegetais. São muito comuns em legumes e várias frutas.

Carotenoides – São substâncias coloridas amplamente distribuídas na natureza, principalmente em plantas; são principalmente lipossolúveis e as cores vão desde o amarelo, passando pelo laranja até o vermelho intenso. São exemplos de carotenoides: α e β -carotenos (cenoura, manga), luteína (gema



Exemplo de outras proteínas pigmentadas da carne são: citocromos, flavinas e catalases, que estão presentes em pequenas quantidades e por isso tem menos efeitos sobre a cor do tecido muscular.

de ovo), criptoxantina (milho amarelo, mamão), zeaxantina (gema de ovo, milho), crocina (açafraão), bixina (urucum), licopeno (tomate, melancia) etc.

Betalainas – São pigmentos encontrados em algumas flores vermelhas e frutos de cactos, são conhecidas pela sua abundância, entre eles podemos citar os pigmentos da beterraba.

Flavonoides – os flavonoides são pigmentos naturais presentes nos vegetais. As antocianinas são os flavonoides mais abundantes da natureza e são responsáveis por uma variedade de cores atrativas e brilhantes de frutas, flores e folhas, que incluem azul, púrpura, violeta, vermelho e laranja.

Outros flavonoides, como antoxantinas, são encontrados em flores brancas ou amarelas, batata, repolho branco. Proantocianidinas, incolores, têm semelhanças estruturais com as antocianidinas, podem converter-se em compostos coloridos durante o processamento de alimentos; também são conhecidas como leucoantocianidinas ou leucoantocianinas, são encontradas em maçãs, peras e outras frutas. É responsável pela adstringência de alguns alimentos. Para produzir adstringência, as proantocianidinas de 2 a 8 unidades interagem com as proteínas. As leucoantocianidinas formam complexos com íons de ferro produzindo estruturas coloidais de cor entre marrom e preto, solúveis em meio ácido. Esses flavonoides são também considerados como componentes dos taninos.

Taninos – Compostos fenólicos que recebem esse nome pela sua capacidade de combinar-se com proteínas e outros polímeros como polissacarídeos. Geralmente, são substâncias fortemente adstringentes. As proantocianidinas também são denominadas taninos condensados.

4.3 Vitaminas

As vitaminas compreendem um grupo diverso de compostos orgânicos que são, desde o ponto de vista nutritivo, micronutrientes essenciais. *In vivo*, desempenham várias funções, entre elas: (a) como coenzimas ou seus precursores (niacina, tiamina, riboflavina, biotina, ácido pantotênico, vitamina B₆, vitamina B₁₂ e folato); (b) como componentes antioxidantes (ácido ascórbico, certos carotenoides e vitamina E); (c) como fatores que implicam na regulação genética (vitaminas A, D, entre outras) e (d) em funções especializadas, como a vitamina A na visão, o ascorbato em diversas reações de hidroxilação e a vitamina K nas reações de carboxilação específicas.

Muitas vitaminas influenciam na natureza química do alimento ao comportar-se como agentes redutores, sequestradores de radicais, reagentes nas reações de escurecimento e como precursores do sabor e aroma.

4.4 Minerais

A presença de minerais nos alimentos é muito variável, pois depende de diversos fatores, sendo os mais importantes a composição do solo, no caso das plantas, e a dieta, no caso dos alimentos de origem animal. São exemplos de elementos minerais essenciais o cálcio, fósforo, magnésio, ferro, zinco, iodo, selênio.

Resumo

Nesta aula, você aprendeu que as proteínas influem diretamente nas características sensoriais dos alimentos, que suas propriedades funcionais dependem da composição aminoacídica e da disposição das ligações que estabilizam sua estrutura. Também conheceu um pouco as características dessas propriedades. Aprendeu sobre alguns pigmentos de origem animal e vegetal. Conheceu algumas funções das vitaminas e os minerais essenciais.

Atividades de aprendizagem

1. Quais as características das propriedades de hidratação das proteínas?
2. Quais os fatores que podem afetar a solubilidade das proteínas?
3. Defina o termo emulsão e explique por que as proteínas são consideradas bons agentes emulsificantes.
4. Cite algumas proteínas alimentícias que apresentam propriedades geleificantes.
5. Cite algumas vitaminas que podem atuar como componentes antioxidantes.
6. Dê exemplo de carotenoides encontrados em alimentos.

Aula 5 – Escurecimento enzimático

Objetivos

Conhecer a natureza do escurecimento enzimático, entendendo as suas reações.

Verificar os efeitos desejáveis e indesejáveis.

Identificar como ocorre o escurecimento.

Compreender os fatores que influenciam o escurecimento enzimático, conhecendo seus meios de controle.

5.1 Escurecimento enzimático

A procura e aceitação de um determinado produto são baseadas em sua qualidade. Em alimentos, a cor é um dos atributos mais importantes, pois o consumidor geralmente julga inicialmente a qualidade de um produto pela aparência. Daí a importância de se usar, no processamento, além de uma matéria-prima de boa qualidade, técnicas que permitem a máxima preservação das qualidades que o material possuía quando estava no estado fresco.

O escurecimento que normalmente ocorre em frutas e hortaliças durante o processamento ou quando sofre qualquer distúrbio, como descascamentos, cortes, amassamento etc., é devido à ação das polifenoloxidasas que reage com seus substratos, os compostos fenólicos (monofenol e o-difenol), na presença de oxigênio. O produto inicial da oxidação é a quinona, que por sua vez, se condensa gerando pigmentos escuros denominados melanina (Figura 5.1).

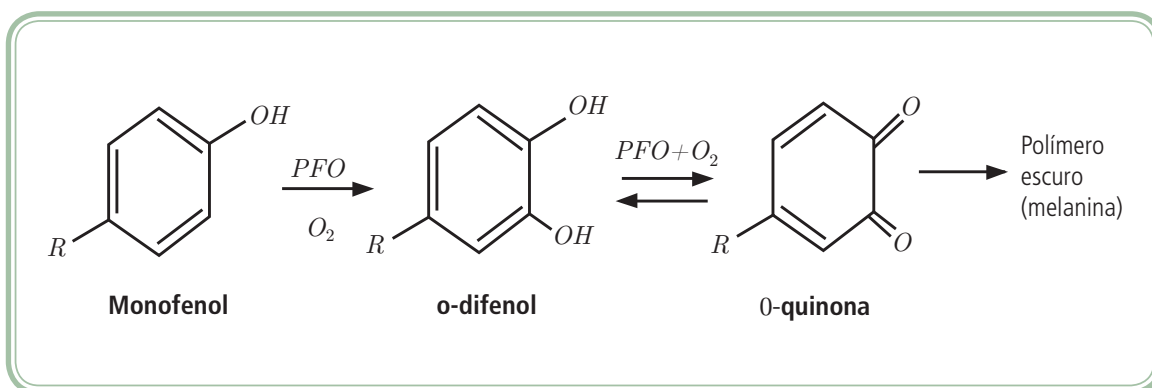


Figura 5.1: Reação de oxidação de compostos fenólicos catalisada pela polifenoloxidase

O escurecimento pode ser desejável em alguns produtos, como por exemplo, no café, cacau, ameixa seca e chá preto. É indesejável quando afeta negativamente a aparência do produto, podendo haver perdas de nutrientes, diminuição da vida útil e formação de sabor indesejável.

A enzima polifenoloxidase (PPO) é, às vezes, denominada de: *tirosinase*, *polifenolase*, *catecol oxidase* e *catecolase*. A enzima ocorre também em mamíferos e crustáceos como lagosta, camarão e caranguejo.

A polifenoloxidase é uma proteína que contém cobre como grupo prostético.

5.2 O substrato

Dentre os compostos derivados do catecol mais comumente encontrados em frutas e hortaliças estão incluídos: o ácido cafeico na berinjela, a tirosina na alface e cogumelo, o tanino no pêssego, e o ácido clorogênico na pera, batata, café, maçã, entre outros.

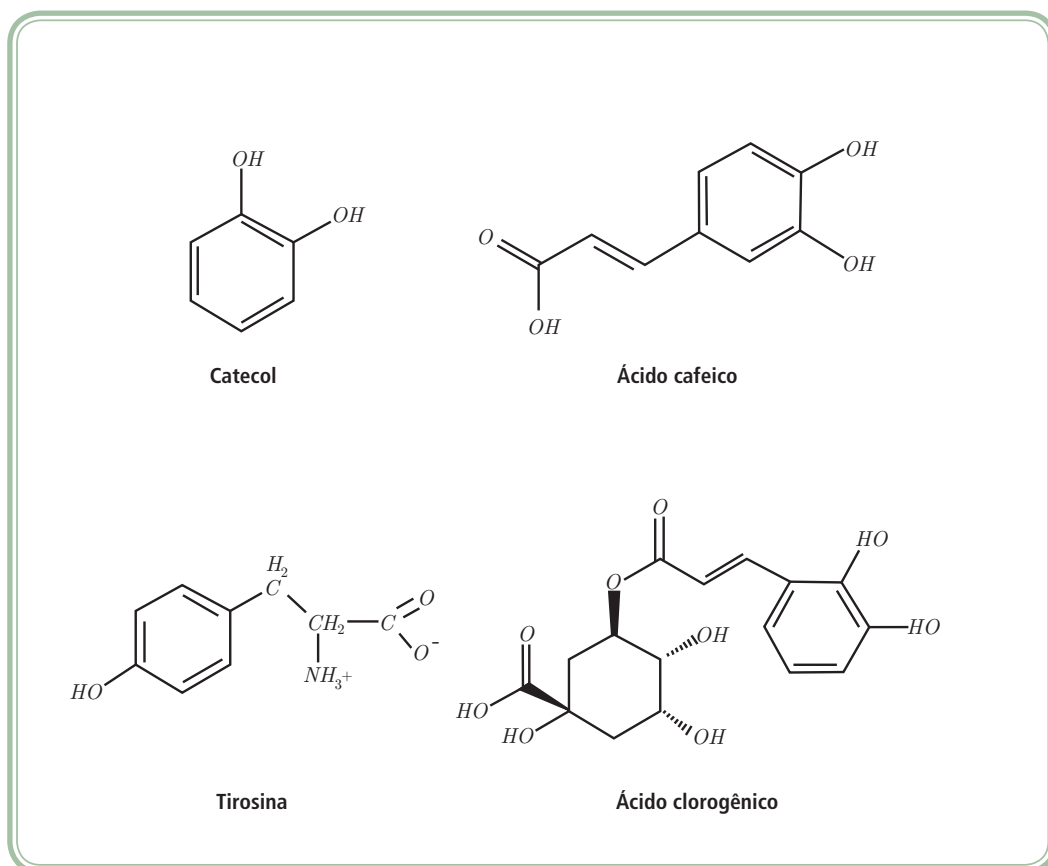


Figura 5.2: Compostos fenólicos encontrados em frutas e hortaliças

Todas estas e algumas outras substâncias fenólicas de estruturas semelhantes, incluindo os taninos é que servem de substratos para as respectivas enzimas resultando, da reação, um produto de coloração parda.

5.3 As enzimas

Ao grupo de enzimas responsável pelo escurecimento enzimático tem-se dado vários nomes, tais como fenolase, polifenolase e polifenoloxidase. Esta classe de enzimas é caracterizada por possuir o cobre como grupo prostético e engloba um número de fenolases. Vejamos a seguir.

Tirosinase

- É uma monofenol oxidase capaz de oxidar o aminoácido tirosina a ortoquinona-fenilalanina. A tirosina sofre inicialmente uma hidroxilação, dando formação a 3,4-dihidroxifenil-alanina que é então oxidada.

Catecolase

- É uma polifenoloxidase que catalisa a oxidação do catecol e outros compostos fenólicos semelhantes.

Lacase

- É também uma polifenoloxidase que catalisa a oxidação do lacol, uma substância fenólica que se torna escura após oxidação.

Ácido ascórbico oxidase

- É também uma enzima contendo cobre e que catalisa a oxidação do ácido ascórbico (vitamina C) a ácido dehidroascórbico.

Além das fenolases, outras enzimas que podem afetar negativamente o sabor das frutas e hortaliças são as **peroxidases**, porém, acredita-se que elas não têm qualquer participação nas reações de escurecimento enzimático.



Vamos exercitar um pouco do que vimos?

1. Onde a enzima PPO pode ser encontrada?
2. Quando e como ocorre o escurecimento?
3. Descreva com suas palavras o mecanismo de ação das polifenoloxidases.

5.4 Métodos de controle do escurecimento enzimático

Como sabemos, o escurecimento enzimático envolve a presença do oxigênio, da enzima e do substrato, portanto, a reação pode ser controlada alterando um desses fatores. Por exemplo, se qualquer um deles estiver ausente ou, se por um motivo qualquer, for impedido de participar da reação, não haverá oxidação e, conseqüentemente, não ocorrerá o escurecimento enzimático.

De um modo geral, o controle do escurecimento enzimático é limitado à remoção de oxigênio ou inibição da enzima pelo emprego de temperatura ou de agentes químicos.

5.4.1 Emprego da temperatura

5.4.1.1 Emprego do frio

A utilização de baixas temperaturas, ou seja, refrigeração e congelamento apenas diminuem a intensidade da ação enzimática, não conseguindo paralisá-la totalmente e, quanto mais baixa for a temperatura mais lentamente a reação ocorre, não impedindo assim, a formação de compostos escuros.

5.4.1.2 Emprego do calor

Este é provavelmente o método mais simples e mais utilizado para inativação da polifenoloxidase, bem como de outras enzimas no processamento de alimentos. Pelo uso de altas temperaturas, por um período de tempo adequado, pode-se inativar as enzimas, o que é muito usado no preparo de alimentos antes do congelamento, enlatamento, desidratação, irradiação etc. O uso do calor, entretanto, apresenta algumas desvantagens, pois pode ocasionar alterações indesejáveis nas propriedades organolépticas, físicas e químicas dos alimentos, principalmente em frutas de consistência mais delicadas e, por isso, deve ser usado com certa cautela.

A inativação de enzimas pelo calor é, quase sempre, devido a uma desnaturação das proteínas.

O tratamento térmico utilizado para inativação é o branqueamento, que geralmente utilizam temperaturas que variam de 70 a 100°C por um tempo de 1 a 5 minutos.

O branqueamento de frutas e hortaliças para processamento pode ser feito de maneira simples em uma câmara de vapor ou mergulhando a fruta devidamente preparada em água fervente por um tempo adequado. Para o processamento de maçãs, por exemplo, um tratamento com vapor por 2 minutos é suficiente para evitar o escurecimento enzimático.

5.4.2 Emprego de agentes químicos

5.4.2.1 Aplicação de dióxido de enxofre ou sulfito (SO₂)

Vários compostos químicos têm sido citados como eficientes no controle do escurecimento enzimático em frutas, mas a maioria deles é tóxico e, por isso, eles não podem ser utilizados em alimentos. Dos agentes químicos, o SO₂ é sem dúvida o mais comumente empregado e, provavelmente, o mais eficiente no controle do escurecimento enzimático, é também barato, não requer equipamento especial para sua aplicação.

O modo pelo qual o SO₂ age inibindo a reação do escurecimento enzimático parece ser complexo e desconhecido em sua maior parte. Sabe-se, entretanto, que o SO₂ pode agir diretamente sobre a enzima ou com intermediários formados durante a ação enzimática.

A concentração da solução de SO_2 usada é de grande importância, pois deve ter uma concentração tal que evite dar gosto desagradável ao produto e que ao mesmo tempo permita um controle eficiente da reação enzimática.

Algumas combinações tais como: utilização de branqueamento e imersão em solução de SO_2 têm sido testadas com ótimos resultados, tanto na preservação da cor como também do sabor e aroma do produto.

5.4.2.2 Aplicação de ácidos

O emprego de ácidos como inibidores do escurecimento enzimático é prática comum no processamento de alimentos. Depois do SO_2 , os ácidos são os agentes químicos mais usados como inibidores no controle do escurecimento enzimático. Os ácidos têm a propriedade de baixar o pH e sabe-se que a atividade da polifenoloxidase pode ser inibida consideravelmente quando o pH do meio é baixo (menor que 3).

Os ácidos normalmente usados no processamento de alimentos estão entre aqueles de ocorrência natural: cítrico, fosfórico, málico e ascórbico.

O pH ótimo de atuação da PPO está entre 6 e 7, e abaixo de 3 não há virtualmente nenhuma atividade enzimática. O ácido cítrico, em conjunto com o ácido ascórbico ou o sulfito de sódio, é muito utilizado como inibidor químico do escurecimento enzimático. O efeito inibitório é duplo, pois age sobre as PPOs, não somente pelo abaixamento do pH do meio, mas também complexando com o cobre presente na estrutura química da enzima.

5.4.2.3 Outros agentes químicos

Além do SO_2 e dos ácidos, outros agentes químicos podem ser usados com eficiência no controle do escurecimento enzimático. O cloreto de sódio é comumente usado, porém quando é necessária a inativação completa da enzima, tem-se que empregar altas concentrações do sal, o que acarreta algumas limitações no seu uso. Sais de boro são também eficientes no controle do escurecimento enzimático, pois formam um complexo com o substrato, evitando desta maneira o escurecimento.

5.4.2.4 Remoção do oxigênio

Como se sabe a presença do oxigênio é um dos fatores essenciais para que ocorra o escurecimento enzimático. Portanto, qualquer artifício que se empregue no sentido de diminuir ou eliminar o oxigênio do meio, resultará numa redução ou paralisação da reação do escurecimento enzimático. Um dos métodos mais comuns utilizados para evitar a presença do oxigênio é fechar hermeticamente (a vácuo) os recipientes.

Vamos exercitar um pouco do que vimos?



1. Existem maneiras de se retardar o escurecimento nos alimentos?
2. Cite os métodos de controle do escurecimento enzimático e descreva cada um deles.

Resumo

Nesta aula, você estudou a natureza e a importância do escurecimento enzimático das frutas, hortaliças e outros vegetais como chá, café e cacau. Conheceu também o mecanismo de ação das enzimas polifenol oxidases, os fatores que influem na atividade enzimática, bem como os meios de controle do escurecimento enzimático para uma melhor qualidade de produtos alimentícios.

Atividades de aprendizagem

1. Por que, nas saladas de frutas, a banana e a maçã não escurecem tão rapidamente como acontece quando expostas ao ar?
2. Indique as possíveis razões para o fato do tomate, da vagem e do pepino não escurecerem quando cortados e expostos ao ar.
3. Dê exemplo de situações em que o escurecimento enzimático pode ser favorável.

Aula 6 – Escurecimento não enzimático

Objetivos

Conhecer os tipos de escurecimento não enzimático.

Entender as reações de escurecimento.

Verificar os efeitos desejáveis e indesejáveis.

Propiciar o conhecimento de como ocorre o escurecimento.

Compreender os fatores que influenciam escurecimento não enzimático.

6.1 Escurecimento não enzimático

As reações de escurecimento ocorrem nos alimentos durante o processamento e/ou armazenamento. As cores produzidas vão do amarelo pálido até o marrom escuro ou mesmo preto, dependendo do tipo de produto e da extensão da reação. Em muitos alimentos as colorações produzidas são consideradas desejáveis, como por exemplo, as crostas do pão, bolo, bolachas, cerveja, caldas de doces, batatas fritas, café e amendoim torrados etc. Em outros alimentos, no entanto, o escurecimento é indesejável e prejudicial, como no leite em pó, ovo em pó etc. Mesmo em alimentos cujo escurecimento é desejável, o excesso produz um alimento desagradável, além de diminuir o seu valor nutritivo. O escurecimento sempre é acompanhado de mudanças no aroma e no sabor, o que acaba por tornar o alimento palatável ou não.

As reações de escurecimento não enzimático, na sua maioria, envolvem açúcares ou compostos relacionados com os açúcares. O processo de caramelização para produzir uma calda marrom com um sabor característico, por exemplo, é uma das técnicas tradicionais na preparação de alimentos. Nos últimos anos, um grande volume de estudos tem sido levado a efeito visando o conhecimento dessas reações, que são extremamente complexas, e apesar disso, muitos dos seus caminhos ainda são desconhecidos, princi-

palmente quanto aos últimos estágios de formação dos pigmentos marrons, as melanoidinas.

Sabe-se que há pelo menos três vias ou mecanismos de escurecimento:

- a) Reação de Maillard (ou reação do tipo carbonila-amina)
- b) Caramelização
- c) Oxidação do ácido ascórbico

6.1.1 Reação de Maillard

Maillard foi o primeiro a descrever o desenvolvimento de pigmentos marrons, ou melanoidinas, que observou quando aqueceu uma solução contendo glicose e glicina. Essa reação ficou subsequentemente conhecida como “reação de Maillard”. Posteriormente, verificou-se que também as proteínas e os peptídeos reagem com os açúcares redutores, produzindo o mesmo resultado.

A reação de Maillard pode ser resumidamente descrita através do seguinte esquema:

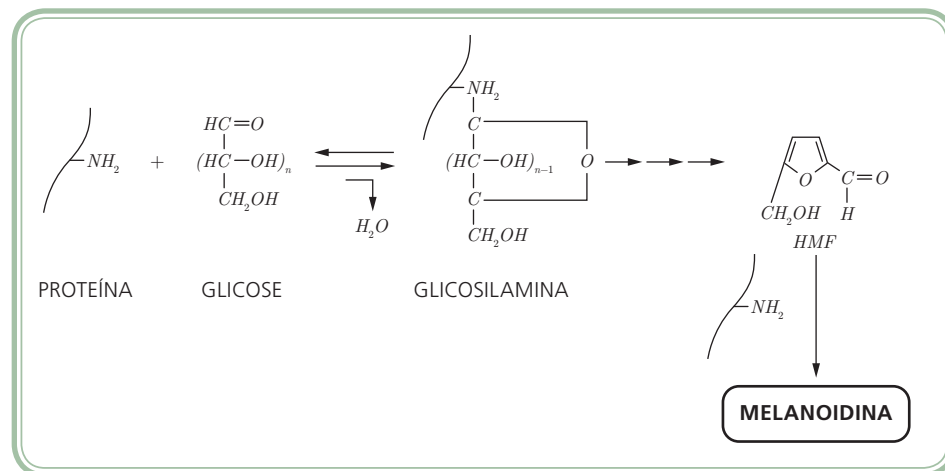


Figura 6.1: Reação de Maillard

Fonte: Araujo (2008).

Inicialmente, a carbonila do açúcar redutor (por exemplo, a glicose) condensa-se com o grupo amino (NH_2) de um aminoácido, peptídeos, proteínas ou aminas, em seguida, passa por várias etapas, culminando com a formação do pigmento escuro chamado melanoidina. As presenças de hidroximetilfurfural (HMF) e outras substâncias (redutonas) levam ao escurecimento e aroma característicos da reação de Maillard.

A cor produzida, a sua intensidade e as propriedades do produto final da reação são fortemente dependentes dos reagentes (tipo de aminoácido e açúcar redutor) e das condições de reação, especialmente do valor de pH e da temperatura, ou seja, a reação é influenciada pelo aumento de pH e temperatura. Em valores de atividade de água elevada ou muito baixa, a taxa de escurecimento é baixa ou mesmo zero, entretanto, aumenta de forma rápida em valores intermediários (a_w entre 0,5 e 0,8).

Em termos nutricionais, essa reação provoca perda de certos aminoácidos (lisina, arginina, histidina e triptofano) e de valor nutritivo das fontes de proteínas e sob aspecto toxicológico está ligada à formação de compostos mutagênicos.

O procedimento mais utilizado no controle da reação de Maillard é a aplicação de derivados de enxofre, por exemplo o sulfito, que vão interagir com o grupo carbonila impedindo a reação, ou então agem pela formação de compostos estáveis com os intermediários da reação de Maillard, reduzindo assim a concentração de reagentes susceptíveis de originar as melanoidinas. O controle também pode ser feito pelo abaixamento da temperatura, diminuição do pH (pH abaixo de 5,0), exclusão de um dos substratos, entre outros.

Vamos exercitar um pouco sobre o que vimos?

1. Quais as reações envolvidas no escurecimento não enzimático?
2. Cite exemplos de produtos alimentícios em que o escurecimento enzimático é desejável e situações em que não é desejável.
3. Descreva resumidamente o que é a reação de Maillard.
4. Que procedimentos de controles poderiam ser realizados para evitar a reação de Maillard?

6.1.2 Caramelização

Muitas reações de escurecimento podem ocorrer com açúcar sem a presença de aminoácidos ou proteínas. Provavelmente a mais conhecida delas é o escurecimento do açúcar quando aquecido para produzir caramelo.



Para que ocorra a reação de Maillard, tanto os açúcares redutores como as gorduras (neste caso, o grupo carbonila livre é formado durante a oxidação de lipídios insaturados) podem fornecer o grupo carbonilo livre para reagir com o grupo amino de aminoácidos, peptídeos, proteínas ou aminas.



Durante o processo de caramelização, o aquecimento do açúcar, geralmente em temperatura acima de 120°C, leva à desidratação e geração de duplas ligações com formação de anéis e compostos lábeis, que se condensam e formam polímeros que dão a cor e o aroma de caramelo.

Os monossacarídeos são os principais substratos para a reação, entretanto, os oligossacarídeos e polissacarídeos devem ser inicialmente hidrolisados para monossacarídeos. A reação é favorecida por ácidos e certos sais. O aumento da temperatura e do pH acelera a reação, sendo que a pH 8,0 a reação é dez vezes mais rápida que a pH 5,9.



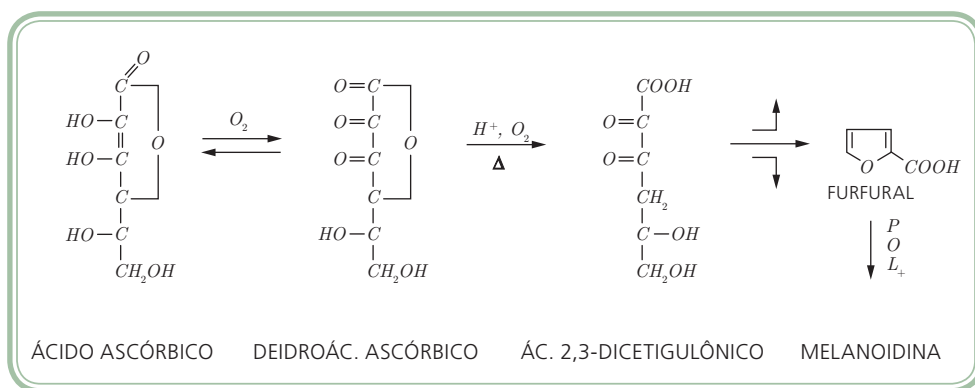
Vamos exercitar um pouco sobre o que vimos?

1. Descreva resumidamente o processo de caramelização.
2. É possível produzir caramelo com açúcar não redutor, como por exemplo, a sacarose? Explique.

6.1.3 Oxidação do ácido ascórbico

O escurecimento de sucos naturais e concentrados de frutos cítricos é atribuído à oxidação e degradação do ácido ascórbico (vitamina C). Na presença de oxigênio e metais, tais como cobre e ferro, o ácido ascórbico é oxidado a dehidroascórbico e peróxido de hidrogênio, que por sua vez, leva à destruição do referido ácido.

O ácido ascórbico na presença de oxigênio é oxidado a ácido dehidroascórbico, que é convertido por hidrólise irreversivelmente em ácido 2,3-dicetogulônico e, posteriormente, será transformado em furfural, após perdas de uma molécula de CO₂ e sofrer desidratação. A reação é acelerada em meio ácido e presença de calor.



O processo de oxidação da vitamina C tanto pode ocorrer por via enzimática, pela enzima ascorbato oxidase ou peroxidase, como pela via não enzimática.

Figura 6.2: Reação de oxidação do ácido ascórbico

Fonte: Araújo (2008).

Vamos exercitar um pouco sobre o que vimos?



1. Descreva resumidamente o processo de oxidação da vitamina C pela via não enzimática.
2. Que tipos de produtos alimentícios são susceptíveis ao processo de oxidação da vitamina C?

Resumo

Você estudou, nesta aula, a interação entre a carbonila e os grupos amina livre de natureza não enzimática designada por reação de Maillard, como também a reação de caramelização e a oxidação do ácido ascórbico, que provocam modificações complexas nos alimentos e nos sistemas biológicos. As reações têm implicações na química dos alimentos (qualidades organolépticas), na sua inocuidade (formação de mutagênicos), na nutrição (biodisponibilidade de aminoácidos), dentre outras.

Atividades de aprendizagem

1. Caramelização e reação de Maillard são exemplos de reações de escurecimento não enzimático. Como ocorrem e qual a diferença entre elas?
2. Qual a reação de escurecimento não enzimático que precisa de oxigênio como substrato?

3. Complete os itens a seguir respondendo sim ou não.

Mecanismo	Requerimento de oxigênio	Requerimento de açúcar	Requerimento de NH ₂
Reação de Maillard			
Caramelização			
Oxidação da vitamina C			

Referências

ATIVIDADE da água. Disponível em: <<http://bioquimica.ufcspa.edu.br/pg2/pgs/tecnologia/atividadedagua.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2010.

_____. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/38443438/atividadedagua>>. Acesso em: 25 jul. 2011.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 478 p.

_____. **Química de alimentos: teoria e prática**. 4. ed. Viçosa: Ed: UFV, 2008. 596 p.

ARAÚJO, L. M. et al. Influência da temperatura e do pH no processo de caramelização da sacarose. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – JEPEX, 10. 2010, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 18 a 22 de outubro de 2010.

ARTHEY, D.; DENNIS, C. **Procesado de frutas**. Zaragoza: Acribia, 1997.

_____. **Procesado de hortalizas**. Zaragoza: Acribia, 1992.

BARUFFALDI, R., OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. 317 p.

BELITZ, H. D.; GROSCH, W. **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1987. 840 p.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. Campinas, SP: Unicamp, 1984. 232p.

_____. **Química do processamento de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 1992.

_____. **Introdução à química de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1995.

_____. **Química do processamento de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2001.

CAMARGO, R. de. et al. **Tecnologia dos produtos agropecuários: alimentos**. São Paulo, SP: Nobel, 1984.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. rev. Campinas, SP: Unicamp, 2003.

CHEFTEL, J. C.; CHEFTEL, H. **Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza, España: Acribia, 1976. v 1.

_____. **Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos**. 2. ed. V. 1, Zaragoza (España), Acribia, 1992.

DESROSIER, N. W. **Conservación de alimentos**. 5. impres, Compañía Editorial Continental, S. A. Calz. De Tlalpan Núm. 4620, México 22, D. F. 1974.

ELIZALDE, B. E.; PILOSO, A. M. R.; BARTHOLOMAI, G. B. Prediction of emulsion instability from emulsion composition and physicochemical properties of proteins. **Journal of Food Science**, v. 56, n.1, p. 116-1, 1991.

ESTRUTURA primária de proteínas. Disponível em: <<http://disciplinas.ist.utl.pt/qgeral/biomedica/aminoacidos.html#Amino>>. Acesso em: 17 mar. 2011.

FARFÁN, J. A. **Química de proteínas aplicada à ciência e tecnologia dos alimentos**. 2 ed. Campinas: Editora da UICAMP, 1994. 134 p. (Série Manuais).

FELLOWS, P. **Tecnología del procesamiento de los alimentos**. Zaragoza, Esp: Ed. Acribia, 1994. 549 p.

FENNEMA, Owen R. (Dir.). **Química de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza, España, 2000. 1258 p.

FRANCISCO JUNIOR, W. E. Carboidratos: estrutura, propriedades e funções. **Química Nova na Escola**, n. 29, 2008.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo, SP: Nobel, 1979. 284 p.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008.

GAVA, Altanir Jaime; SILVA, Carlos Alberto Bento da; FRIAS, Jenifer Ribeiro Gava. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2009.

GRISI, Celso. Controle de atividade de água. In: FORUM PET FOOD, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.visionline.com.br/roche/forumpet/palestras/download/Control%20of%20Water%20Activity%20pt.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2011.

HOLDSWARTH, S. D. **Conservación de frutas e hortaliças**. Zaragoza: Acribia, 1988.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ – IAL. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 4. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Industrialização de frutas**: manual técnico n 8. Campinas, 1988. 206 p.

MADRID, A.; CENZANO, I.; VICENTE, J. M. **Manual de indústria dos alimentos**. São Paulo, SP: Livraria Varela, 1995.

LIMA, J. R. Vida de Prateleira de Amêndoas de Castanha de Caju em embalagens comerciais. **Comunicado técnico**, n. 76. Fortaleza: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento/Embrapa, dez. 2002.

LIPÍDEOS. Disponível em: <<http://petagronomia.files.wordpress.com/2010/02/2009-bioquimica-marisa-cacia-de-oliveira-lipideos2.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2011.

LOBO, A. R.; SILVA, G. M. L. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Rev. Nutr.**, Campinas, v.16, n. 2, abr./jun. 2003.

MORETTO, E.; FETT, R. **Óleos e gorduras vegetais: processamento e análises**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1989. 179p.

OLETO, F. et al. Propriedades emulsificantes de complexos de proteínas de soro de leite com polissacarídeos. **Braz. J. Food Technol.**, 2006.

ORDÓÑEZ, J. A. et al. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. v 1.

PARK, Kil Jin et al. **Seleção de processos e equipamentos de secagem**. 2006. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/ctea/manuais/selprcequipsec.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2011.

PERONE, C. A. S.; CAPOBIANCO, M. P.; JUNIOR, S. P. Determinação de polifenóis (taninos) em productos alimentícios (chás) usando biossensor de polifenol oxidase, obtida de extrato bruto da casca de banana nanica (*Musa acuminata*) e caracterização desse biossensor. **Rev. Inst. Cienc. Saúde**, v. 27, n. 1, p. 28-34, 2009.

PINHEIRO, Denise Maria; PORTO, Karla Rejane de Andrade; MENEZES, Maria Emília da Silva. **A química dos alimentos: carboidratos, lipídios, proteínas e minerais**. Maceió: EDUFAL, 2005. 52 p. (Conversando sobre ciências em Alagoas).

QUERRA, Nonete Barbosa et al. **Manual para processamento de frutas**. Recife: Ed Universitária da UFPE, 2006. 106 p.

RIBEIRO, A. P. B. et al. Interesterificação química: alternativa para obtenção de gorduras zero trans. **Quim. Nova**, v. 30, n. 5, p. 1295-1300, 2007.

SANTOS, D. O. **Propriedades funcionais de proteínas da clara do ovo de codorna**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

SOUTHGATE, D. **Conservacion de frutas y hortalizas**. Zaragoza, España: Editorial Acribia, 1992.

Currículo dos professores-autores



Artur Bibiano de Melo Filho

Graduado em Licenciatura em Química pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1990), em Química Industrial pela Universidade Católica de Pernambuco (1996) e mestre em Nutrição pela Universidade Federal de Pernambuco (2001). Atualmente, é professor do curso de Nutrição da Faculdade do Vale do Ipojuca – FAVIP, do curso de Tecnologia em Gastronomia da Faculdade SENAC-PE, do curso de Nutrição da Faculdade Guararapes e técnico da Universidade Federal de Pernambuco. Tem experiência na área de Nutrição, com ênfase em Tecnologia e Análise de Alimentos.



Margarida Angélica da Silva Vasconcelos

Graduada em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal da Paraíba (1985), possui mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal da Paraíba (1993) e doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa (2004). Atualmente, é professora adjunta da Universidade Federal de Pernambuco do Departamento de Nutrição. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, atuando principalmente nos seguintes temas: carnes e frutas.



ISBN 978-85-7946-096-8

