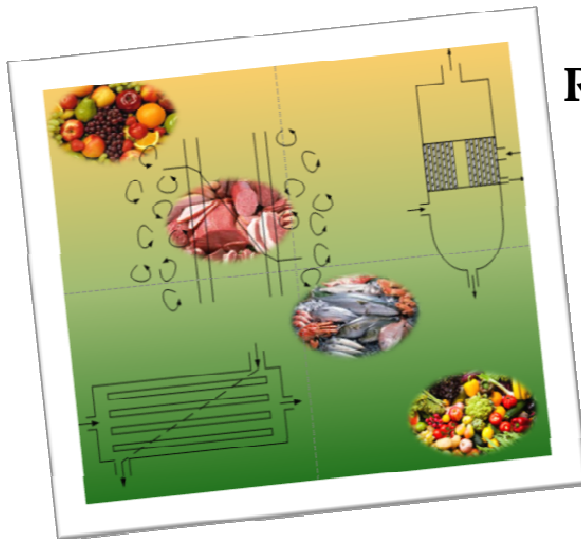




OS PROCESSOS nas INDÚSTRIAS ALIMENTARES



Raquel P. F. Guiné

ESAV

OS PROCESSOS
nas
INDÚSTRIAS
ALIMENTARES

Raquel P. F. Guiné

Edição

Edição de autor

Coordenação editorial

Raquel Guiné, ESAV

Composição

Raquel Guiné, ESAV

Capa

Raquel Guiné, ESAV

Copyright © 2014

Impressão

AEESAV - Associação de Estudantes da
ESAV

Encadernação

AEESAV - Associação de Estudantes da
ESAV

ISBN

978-989-20-5076-8

ÍNDICE

Prefácio	xi
Nota introdutória	xiii

PARTE I – PROCESSOS POR CONTACTO EM EQUILÍBRIO 1

1 – Introdução	1
1.1 – Concentrações.....	1
1.2 – Equilíbrio gás-líquido	2
1.3 – Equilíbrio sólido-líquido.....	2
1.4 – Relações de equilíbrio-concentração	2
1.5 – Condições de operação	3
1.6 – Cálculo da separação nos processos de contacto em equilíbrio.....	4
2 – Absorção de gases	6
2.1 – Velocidade de absorção do gás.....	7
2.2 – Absorção de gases por etapas de contacto em equilíbrio.....	8
3 – Extração e lavagem.....	9
3.1 – Velocidade de extração.....	9
3.2 – Extração por etapas múltiplas.....	10
3.3 – Lavagem	10
3.4 – Extração por pressão.....	11
3.4.1 – Influência da preparação da matéria-prima.....	11
3.4.2 – Relação entre pressão e tempo.....	12
3.5 – Extração sólido-líquido.....	12
3.5.1 – Mecanismos de extração.....	13
3.5.2 – Características industriais da extração sólido-líquido.....	14
3.5.3 – Cinética da extração sólido-líquido	16
3.5.4 – Método gráfico para o cálculo do número de etapas de extração	24
3.5.5 – Fatores que influenciam a eficiência da extração	31
3.6 – Extração líquido-líquido	33
3.6.1 – Condições de equilíbrio	33
3.6.2 – Método de cálculo do número de etapas.....	36
3.7 – Extração por fluido supercrítico	42
3.7.1 – Fluidos supercríticos.....	42
3.7.2 – Aplicação nas indústrias alimentares	43
4 – Destilação.....	45
4.1 – Introdução.....	45
4.1.1 – Equilíbrio líquido-vapor	47
4.1.2 – Vaporização parcial e condensação parcial	48
4.1.3 – Pressões parciais e leis de Dalton, Raoult e Henry	49
4.1.4 – Volatilidades relativas	51
4.1.5 – Obtenção do diagrama de temperatura de ebulição	52
4.1.6 – Métodos de destilação para misturas de dois constituintes.....	54
4.2 – Destilação fracionada	58
4.2.1 – Considerações gerais	58

4.2.2 – Cálculo do número de andares necessários.....	60
4.2.3 – Importância do quociente de refluxo	64
4.3 – Destilação por arrastamento com vapor.....	65
4.3.1 – Considerações gerais.....	65
4.3.2 – Determinação do número de andares necessários.....	67
4.4 – Aplicações da destilação.....	68
5 – Cristalização.....	71
5.1 – Nucleação	71
5.2 – Equilíbrio de cristalização	72
5.2.1 – Solubilidade	72
5.2.2 – Calor de cristalização.....	73
5.3 – Velocidade de crescimento dos cristais	74
5.4 – Cristalização em equilíbrio	76
5.5 – Tipos de cristalizadores	76
5.6 – Aplicações da cristalização.....	77
6 – Utilização de membranas.....	79
6.1 – Considerações gerais.....	79
6.2 – Velocidade de fluxo através das membranas	80
6.3 – Ultrafiltração e osmose inversa.....	81
6.3.1 – Mecanismos e fluxos transmembrana	82
6.3.2 – Membranas.....	91
6.3.3 – Seletividade das membranas	93
6.3.4 – Principais aplicações.....	95
6.3.5 – Efeito sobre os alimentos.....	100
6.4 – Eletrodíálise	101
6.4.1 – Fundamentos.....	101
6.4.2 – Aspectos tecnológicos	108
6.4.3 – Âmbitos de aplicação e problemas técnicos da eletrodíálise	109
6.5 – Pervaporação.....	112
6.5.1 – Funcionamento.....	113
6.5.2 – Equipamentos.....	118
6.5.3 – Aplicações.....	119
7 – Permuta iônica.....	121
7.1 – Estrutura e propriedades dos permutadores	121
7.1.1 – Principais tipos de permutadores iônicos.....	121
7.1.2 – Equilíbrios entre as soluções externa e interna	123
7.1.3 – Teoria da permuta iônica	124
7.2 – Funcionamento técnico da permuta iônica.....	127
7.2.1 – Dinâmica das colunas de permuta iônica.....	127
7.2.2 – Funcionamento cíclico da permuta iônica.....	130
7.3 – Tecnologia das colunas de permuta iônica	132
7.3.1 – Colunas de leito fixo e regeneração em cocorrente.....	132
7.3.2 – Colunas de leito fixo e regeneração em contracorrente	133
7.3.3 – Permutadores contínuos	133
7.4 – Principais aplicações.....	133
PARTE II – PROCESSOS MECÂNICOS.....	135

8 – Introdução	135
9 – Velocidade das partículas que se movem num fluido	137
10 – Sedimentação	139
10.1 – Processo de separação gravítica.....	140
10.2 – Classificação dos processos de sedimentação	142
10.3 – Flutuação	143
10.4 – Sedimentação gravítica de partículas num gás	143
10.5 – Sedimentação por ação de forças combinadas.....	144
10.6 – Separadores de ciclone	144
10.7 – Separadores de choque	147
10.8 – Classificadores.....	147
11 – Filtração.....	149
11.1 – Introdução geral.....	149
11.2 – Fluxo através do meio de filtração e do bolo.....	150
11.3 – Filtração a velocidade constante.....	151
11.4 – Filtração a pressão constante	152
11.5 – Compressibilidade do bolo	153
11.6 – Colmatação da filtração	154
11.7 – Tratamento prévio da suspensão.....	154
11.8 – Escolha do equipamento.....	154
11.9 – Meios filtrantes.....	157
11.9.1 – Coadjuvantes de filtração	157
11.9.2 – Filtros grossos.....	158
11.9.3 – Membranas	159
12 – Centrifugação.....	161
12.1 – Velocidade de separação	162
12.2 – Natureza dos produtos a separar	163
12.3 – Separação de dois líquidos imiscíveis	163
12.4 – Separação de partículas em suspensão.....	165
12.5 – Filtração numa centrífuga.....	167
12.6 – Tipos de rotores para centrífugas.....	168
12.7 – Aplicações	168
13 – Peneiração	171
14 – Redução de tamanho de partículas sólidas.....	175
14.1 – Natureza do material a triturar	175
14.2 – Equipamentos	176
14.3 – Energia necessária à redução de tamanhos	178
14.4 – Domínios de aplicação.....	179
15 – Mistura e agitação	181
15.1 – Mistura por agitação de líquidos e suspensões	181
15.2 – Operacionalidade e eficiência dos agitadores	184
15.3 – Mistura com formação de pastas	184
<i>PARTE III – TRANSFERÊNCIA DE CALOR</i>	<i>187</i>

16 – Teoria da transferência de calor.....	187
16.1 – Condução de calor	188
16.1.1 – Condutividade térmica dos materiais	188
16.1.2 – Condução através de uma camada de material.....	189
16.1.3 – Condutâncias térmicas em série	190
16.1.4 – Condutâncias térmicas em paralelo.....	191
16.2 – Transferência de calor em superfícies.....	192
16.3 – Transferência de calor em estado transiente	193
16.4 – Transferência de calor por radiação	196
16.5 – Transferência de calor por convecção.....	198
16.5.1 – Convecção natural.....	199
16.5.2 – Convecção forçada.....	201
16.6 – Coeficientes globais de transferência de calor	203
16.7 – Transferência de calor com vapores condensantes	204
16.8 – Transferência de calor para líquidos em ebulição.....	205
17 – Permutadores de calor.....	207
17.1 – Coeficiente global de transferência de calor	207
17.2 – Diferença média de temperaturas.....	209
17.3 – Influência do sentido de circulação sobre a eficiência	210
17.4 – Recuperação de calor.....	212
17.5 – Equipamentos	214
PARTE IV – PROCESSOS TÉRMICOS CONVENCIONAIS.....	217
18 – Introdução	217
18.1 – Atividade da água	218
18.2 – Efeito da atividade da água sobre os alimentos	220
18.3 – Tempo de morte térmica	224
18.4 – Potência letal equivalente a outras temperaturas	225
19 – Escalda	228
19.1 – Objetivos da escalda	229
19.2 – Métodos de escalda.....	229
19.3 – Efeito da escalda sobre os alimentos.....	231
20 – Pasteurização.....	235
20.1 – Considerações teóricas.....	237
20.2 – Métodos de pasteurização.....	238
20.3 – Efeito sobre os alimentos.....	239
21 – Esterilização por calor	241
21.1 – Desenvolvimento dos microrganismos nos alimentos	241
21.2 – Esterilização na embalagem.....	242
21.3 – Processos de esterilização a temperaturas ultraelevadas	254
21.4 – Efeito sobre os alimentos.....	255
22 – Evaporação.....	260
22.1 – Transferência de calor nos evaporadores	260
22.2 – Evaporação por vácuo.....	261
22.3 – Condensadores	261

22.4 – Evaporador de efeito simples.....	262
22.5 – Evaporação de efeito múltiplo	263
22.5.1 – Alimentação dos evaporadores de efeito múltiplo	264
22.5.2 – Vantagens dos evaporadores de efeito múltiplo	265
22.6 – Recompressão do vapor.....	266
22.7 – Elevação do ponto de ebulição	267
22.8 – Evaporação de substâncias sensíveis ao calor	268
23 – Secagem	269
23.1 – Estados da água	270
23.2 – Energia necessária à vaporização	271
23.3 – Transferência de calor na secagem	272
23.4 – Transferência de massa na secagem	273
23.5 – Secagem com ar.....	274
23.5.1 – Psicometria	274
23.5.2 – Conteúdo de humidade em equilíbrio	277
23.5.3 – Mecanismo de perda de água no alimento	278
23.5.4 – Velocidade de secagem	281
23.6 – Secagem por condução	283
23.7 – Secadores.....	284
23.7.1 – Rendimento do secador.....	286
23.8 – Efeitos sobre os alimentos	287
23.9 – Reidratação	292
24 – Congelação	293
24.1 – Considerações teóricas	293
24.2 – Instalações de congelação.....	298
24.3 – Instalações de descongelação	300
24.4 – Efeito sobre os alimentos.....	301
25 – Liofilização	306
25.1 – Aspectos teóricos.....	306
25.2 – Instalações	310
25.3 – Efeitos sobre os alimentos	310
26 – Extrusão.....	312
26.1 – Aspectos teóricos.....	313
26.2 – Métodos	314
26.3 – Aplicações	314
26.4 – Efeito sobre os alimentos.....	317
27 – Assado e cozimento em forno.....	320
27.1 – Aspectos teóricos.....	320
27.2 – Métodos	321
27.3 – Efeito sobre os alimentos.....	321
28 – Fritura	326
28.1 – Aspectos teóricos.....	326
28.2 – Métodos	327
28.3 – Efeito sobre os alimentos.....	328

PARTE V – TECNOLOGIAS EMERGENTES.....	330
29 – Formas de aquecimento por energia radiante.....	330
30 – Aquecimento por micro-ondas.....	332
30.1 – Considerações teóricas.....	332
30.2 – Instalações.....	333
30.3 – Vantagens das micro-ondas	333
30.4 – Aplicações.....	334
30.5 – Efeitos sobre os microrganismos e enzimas	337
30.6 – Efeitos sobre os alimentos	337
31 – Radiação infravermelha	340
31.1 – Aspectos teóricos.....	340
31.2 – Instalações.....	342
31.3 – Aplicações.....	342
31.4 – Efeito sobre os alimentos	343
32 – Aquecimento por radiofrequência.....	344
32.1 – Conceitos teóricos.....	344
32.2 – Instalações.....	345
32.3 – Aplicações.....	346
33 – Aquecimento óhmico	348
33.1 – Conceitos básicos.....	348
33.2 – Equipamentos	349
33.3 – Aplicações.....	350
33.4 – Efeito sobre os alimentos	353
34 – Processamento por alta pressão.....	354
34.1 – Introdução	354
34.2 – Capacidade de preservação	354
34.3 – Instalações.....	357
34.4 – Aplicações.....	358
34.5 – Efeito sobre os alimentos	359
35 – Campos elétricos pulsados	362
35.1 – Introdução	362
35.2 – Instalações.....	362
35.3 – Aplicações.....	364
36 – Luz pulsada de alta intensidade.....	368
36.1 – Princípios	368
36.2 – Instalações.....	369
36.3 – Efeitos sobre os microrganismos	369
36.4 – Aplicações.....	370
36.5 – Efeitos sobre os alimentos	370
37 – Ultrassons	372
37.1 – Introdução	372
37.2 – Instalações.....	373
37.3 – Capacidade de preservação	373

37.4 – Processamento com ultrassons	374
37.5 – Efeito sobre os alimentos.....	376
38 – Irradiação	378
38.1 – Aspectos teóricos.....	380
38.2 – Instalações	381
38.3 – Efeito das radiações sobre os microrganismos	382
38.4 – Efeito das radiações sobre as embalagens	383
38.5 – Efeito das radiações sobre os alimentos	384
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	388

Prefácio

A compreensão dos processos industriais assenta sobretudo em dois factos: (i) cada processo pode ser estudado em séries de etapas, denominadas operações; e (ii) as operações individuais têm mecanismos próprios e baseiam-se em princípios físicos. O estudo sistemático de cada operação unitária conduz a um tratamento simplificado e unificado de todos os processos. A variedade e a complexidade dos processos industriais modernos representam um desafio aliciante para os profissionais que operam na indústria de processos bem como para os profissionais ligados ao mundo académico. No entanto, a autora conseguiu de uma forma muito clara e elucidativa abordar a maioria das operações unitárias clássicas mais relevantes, enfatizando igualmente a importância e a atualidade das operações unitárias que emergem hodiernamente na indústria dos processos.

De modo a responder a estes desafios, a autora organizou o presente livro em cinco partes: processos por contacto em equilíbrio, processos mecânicos, transferência de calor, processos térmicos convencionais e tecnologias emergentes que agrupam capítulos individuais dedicados a cada uma das principais operações unitárias.

Sendo as operações unitárias uma área tão fascinante e imprescindível da engenharia é natural que já muito se tenha escrito sobre o tema. No entanto, esta obra distingue-se pela forma pormenorizada como os assuntos são tratados, simultaneamente numa perspetiva académica e prática. Cada assunto é iniciado com a apresentação dos conceitos e princípios fundamentais, seguido de uma discussão das principais aplicações, tipo de equipamentos, dos seus princípios de funcionamento, dos métodos de resolução do problema de engenharia e dos fatores que mais influenciam a operação, entre outros. Por outro lado, ao longo da obra existe a preocupação clara de ilustrar as explicações, através de um conjunto vastíssimo de exemplos aplicados ao setor das indústrias alimentares. Esta é, de facto, uma particularidade deste livro que o torna uma referência no meio académico. As aplicações das operações aos processos não se esgotam na separação, purificação, concentração de alimentos ou dos seus componentes, mas também contemplam os processos térmicos específicos dos alimentos, como a escaldar, a pasteurização, a esterilização por calor, a evaporação, a secagem, a congelação, a liofilização, a extrusão, o assado e cozimento em forno, a fritura, o aquecimento por energia radiante, micro-ondas, rádio frequência, Ohmico, a radiação infravermelha, o processamento por alta pressão, os campos elétricos pulsados, os ultrassons, a irradiação, entre outros. Para cada caso, é também abordado, de um modo sistemático, o efeito do processo térmico sobre os alimentos, nomeadamente no que se refere aos seus nutrientes, propriedades físicas e organolépticas, cor, aroma, bouquet e textura.

Esta obra, muito completa, baseada no rigor científico e numa linguagem clara e precisa, representa um instrumento valioso de aprendizagem.

Maria João Barroca

Nota introdutória

A presente publicação surgiu por causa dos meus alunos e é em primeira instância para eles. Foi escrito de uma forma simples, recorrendo frequentemente a esquemas e exemplos para ilustrar os conceitos a transmitir. Assume-se como um trabalho eminentemente pedagógico, não pretendendo ser um manual demasiadamente técnico ou científico.

Raquel Guiné