

Conteúdo

Sobre o autor	5	2.1.2	Efeito no açúcar recuperável	51
Prefácio	7	2.1.3	Efeito na capacidade de moagem	53
Cooperadores	9	2.1.4	Terra e impurezas	54
Lista de símbolos	25	2.1.5	Dextrana	54
Lista de subscritos	29	2.1.6	Efeito nos custos de moagem	55
Abreviações	31	2.2	Sistema de pagamento de cana	55
Terminologia	32	2.2.1	Opções para pagamento	55
		2.2.2	Fórmulas de pagamento de cana por açúcar recuperável	56
		2.2.3	Distribuição do lucro entre os fornecedores e a usina	57
		2.3	Amostragem de cana	58
		2.3.1	Sonda amostradora de cana	58
		2.3.2	Amostragem por comporta	59
		2.3.3	Amostragem com garra	60
		2.3.4	Amostragem do caldo de primeira pressão	61
1	CANA-DE-AÇÚCAR	37		
1.1	Estrutura da cana	38	2.3.5	Rastreabilidade da cana
1.1.1	Anatomia do colmo de cana	38	2.4	Métodos de análise
1.1.2	Localização da sacarose e impurezas	40	2.4.1	Método da prensa
1.1.3	Definições dos componentes	40	2.4.2	Método da desintegração úmida
1.2	Composição da cana	41	2.4.3	Caldo da primeira pressão
1.2.1	Colmo limpo	41	2.4.4	Medição precisa da sacarose por cromatografia
1.2.2	Pontas e folhas	41	2.4.5	Medições por NIR
1.2.3	Composição típica da cana entregue	42		Referências
1.2.4	Composição da fibra	44		
1.2.5	Não-sacarose na cana	45	3	FORNECIMENTO E MANEJO DA CANA-DE-AÇÚCAR
1.2.6	Matéria estranha	46		
1.2.7	Efeito dos atrasos de cana	46	3.1	Colheita, transporte e estocagem da cana
1.2.8	Efeito da variedade de cana	48	3.1.1	Métodos de colheita
1.2.9	Alterações em função das condições climáticas e época da safra	48	3.1.2	Sistemas de transporte
	Referências	49	3.1.3	Manejo das cargas em feixes
2	AVALIAÇÃO E PAGAMENTO DE CANA	51	3.1.4	Sistemas de contêiner
2.1	Avaliação da qualidade da cana	51	3.1.5	Pesagem da cana
2.1.1	Parâmetros de qualidade	51	3.1.6	Sistemas de estocagem

3.1.7	Danos e deterioração da cana	75	4.4	Operação e manutenção	111
3.2	Descarga de cana	75		Referências	114
3.2.1	Basculadores	75			
3.2.2	Tombadores	76	5	MOAGEM	117
3.2.3	Basculadores traseiros de caminhões	76	5.1	Extração por moendas	117
3.2.4	Pontes Rolantes	77	5.1.1	Extração	117
3.3	Mesas de cana e transportadores transversais	77	5.1.2	Outras medições do desempenho da moenda	118
3.3.1	Mesas alimentadoras planas	77	5.2	Teoria da moagem	119
3.3.2	Mesas alimentadoras inclinadas	77	5.2.1	Modelo volumétrico básico	119
3.4	Limpeza da cana	79	5.2.2	Considerações para o modelo simples	119
3.4.1	Limpeza a seco	79	5.2.3	Fórmulas de vazão de cana	120
3.4.2	Lavagem da cana	81	5.2.4	Razão de alimentação para máxima capacidade	120
3.4.3	Manejo da água de lavagem e disposição de resíduos	82	5.2.5	Taxa de compactação, taxa de compressão e carga de fibra	121
3.5	Transportadores de cana	82	5.2.6	Fibra no caldo extraído (“cush cush”)	121
3.5.1	Esteiras de taliscas	82	5.2.7	Rolos não lisos	122
3.5.2	Transportadores de correia	84	5.2.8	Oscilação dos rolos	122
3.5.3	Transportadores de corrente e taliscas de arraste	85	5.2.9	Atrito e abertura de alimentação	122
3.5.4	Eletroímã	86	5.2.10	Influência do diâmetro do rolo na alimentação da moenda	123
3.5.5	Acionamento dos transportadores e controle automático	86	5.2.11	Reabsorção, cisalhamento na cana e escorregamento	123
	Referências	89	5.2.12	Carga hidráulica e torque da moenda	125
4	PREPARO DE CANA	91	5.3	Moendas e seus componentes	126
4.1	Objetivos e medição do preparo de cana	91	5.3.1	Moendas convencionais	126
4.1.1	Objetivos	91	5.3.2	Castelos	127
4.1.2	Efeito do preparo de cana na extração	92	5.3.3	Rolos de moenda	129
4.1.3	Medição do preparo de cana	93	5.3.4	Frisos do rolo	131
4.2	Picadores de cana	95	5.3.5	Ranhuras <i>Messchaert</i>	133
4.2.1	Picador nivelador	95	5.3.6	Rolos Lótus	134
4.2.2	Arranjos de picadores de cana	96	5.3.7	Sistema hidráulico e carregamento	134
4.2.3	Velocidade dos picadores e potência requerida	97	5.3.8	Mancais	136
4.2.4	Detalhes de facas e rotores	98	5.3.9	Rodetes	136
4.3	Desfibradores	99	5.3.10	Bagaceiras e pentes	137
4.3.1	Tipos de desfibradores	99	5.4	Moendas de dois rolos	138
4.3.2	Alimentação dos desfibradores	102	5.4.1	Stork-Werkspoor	138
4.3.3	Fatores que afetam o preparo obtido	103	5.4.2	STG-FCB	138
4.3.4	Dimensão e capacidade do desfibrador	104	5.4.3	Moenda Bundaberg de alta extração	138
4.3.5	Desfibradores híbridos	104	5.4.4	Unidade de extração Fives Cail	139
4.3.6	Detalhes técnicos do projeto de desfibradores pesados	106	5.5	Acionamentos de moenda	140
4.3.7	Requisitos de potência para preparo de cana	109	5.5.1	Potência necessária no acionamento	140
4.3.8	Requisitos do motor principal	110	5.5.2	Motores para acionamento de moendas	140
			5.5.3	Redutores de rotação	143
			5.5.4	Acoplamentos de moenda	144
			5.6	Preparo da cana	147

5.7	Regulagens da moenda	147	6	EXTRAÇÃO POR DIFUSÃO EM CANA	175
5.7.1	Regulagens de rolos	143	6.1	Teoria	175
5.7.2	Ajuste para oscilação do rolo superior	149	6.1.1	Mecanismos de extração	175
5.7.3	Regulagens do alimentador forçado	150	6.1.2	Variáveis que afetam a extração	176
5.7.4	Regulagens do rolo de pressão	150	6.1.3	Densidade aparente da fibra	177
5.7.5	Aberturas do chute <i>Donnelly</i>	150	6.1.4	Retenção do caldo	177
5.7.6	Regulagens da bagaceira	151	6.1.5	Taxas de percolação do caldo	177
5.7.7	Otimização prática das regulagens da moenda	152	6.1.6	Balanco de massa e energia	179
5.8	Embebição e assuntos relacionados	152	6.1.7	Dimensionamento de difusores	181
5.8.1	Embebição	152	6.2	Planta e equipamento	181
5.8.2	Implicações do <i>cush</i> no caldo extraído	156	6.2.1	Tipos de difusor	181
5.8.3	Maceração e condutores de maceração	157	6.2.2	Difusores de leito móvel	182
5.8.4	Recirculação de caldo	157	6.2.3	Arranjos de alimentação de cana	183
5.8.5	Extração por baixa pressão	157	6.2.4	Requisitos de acionamento do difusor	184
5.8.6	Drenagem da moenda	158	6.2.5	Detalhes mecânicos	185
5.9	Alimentação da moenda	158	6.2.6	Aquecimento do caldo	187
5.9.1	Preparo da superfície do rolo	158	6.2.7	Aplicação de caldo entre estágios	187
5.9.2	Chevrons	159	6.2.8	Instrumentação e controle	187
5.9.3	Empurradores mecânicos de alimentação	159	6.3	Recirculação do lodo do clarificador	188
5.9.4	Chute <i>Donnelly</i>	159	6.4	Fatores que afetam o trabalho do difusor	189
5.9.5	Alimentadores de pressão	161	6.4.1	Preparo de cana	189
5.9.6	Alimentadores de pressão dentados	162	6.4.2	Tempo de residência da cana	190
5.10	Capacidade da moenda	163	6.4.3	Taxa de embebição	190
5.10.1	Dimensão e capacidade de um terno de moenda	163	6.4.4	Número de estágios	191
5.10.2	Capacidade de um tandem de moagem	164	6.4.5	Taxa de percolação e inundação	191
5.10.3	Número de ternos de moenda	164	6.4.6	Temperatura	191
5.10.4	Velocidade da moenda	165	6.5	Desaguamento do bagaço	192
5.11	Controle da moenda	166	6.6	Operação e controle de difusores	194
5.11.1	Taxa de moagem e outros controles da moenda	166	6.6.1	Monitoramento da eficiência de extração	194
5.11.2	Ensaio de rotina da moenda	168	6.6.2	Controle da alimentação de cana e velocidade do leito	195
5.11.3	Pressões hidráulicas e oscilação da moenda	169	6.6.3	Controle da percolação em difusores	195
5.11.4	Operação da moenda	169	6.6.4	Controle do pH	196
5.12	Perdas de sacarose nos ternos de moagem	170	6.6.5	Controle da corrosão em difusores	196
5.12.1	Perdas físicas	170	6.6.6	Manutenção de difusores	197
5.12.2	Perdas por destruição da sacarose	170	6.6.7	Microbiologia da extração	197
5.12.3	Medição e controle da destruição da sacarose	170	6.7	Comparação com a moagem	198
5.12.4	Implicações no pagamento de cana	171	6.7.1	Custos de investimento	198
	Referências	171	6.7.2	Custos de manutenção de operação	198
			6.7.3	Efeito no balanço de vapor e requisitos de potência	198
			6.7.4	Efeito na qualidade do caldo bruto	199
			6.7.5	Peneiramento e filtração do caldo	201
			6.7.6	Efeito na recuperação global de sacarose	201
			6.7.7	Efeito nas operações	202

6.7.8	Expansão de capacidade da moenda e do difusor	202	9	AQUECIMENTO DO CALDO	235
6.7.9	Capacidade máxima de uma única linha de extração	202	9.1	Considerações teóricas	235
	Referências	203	9.1.1	Balanço térmico	235
			9.1.2	Taxa de transferência de calor	236
7	ESTEIRAS INTERMEDIÁRIAS DA MOENDA E DE BAGAÇO	205	9.1.3	Coefficiente de transferência de calor em aquecedores tubulares de caldo	237
7.1	Esteiras intermediárias entre ternos de moenda	205	9.1.4	Uso de vapores do evaporador	238
7.1.1	Esteiras entre ternos de leito de taliscas metálicas	205	9.2	Projeto do aquecedor tubular	238
7.1.2	Transportadores de correia, baixa inclinação	206	9.2.1	Coefficientes de transferência de calor	238
7.1.3	Esteiras de arraste de taliscas	206	9.2.2	Velocidades do líquido	241
7.1.4	Esteiras de borracha	212	9.2.3	Cálculo da área de transferência	241
7.1.5	Transportadores chute <i>Meinecke</i>	213	9.2.4	Detalhes do aquecedor tubular	242
7.2	Transportadores de bagaço	214	9.2.5	Cálculo da perda de carga	244
7.2.1	Transportadores de bagaço de correia	214	9.3	Aquecedores a placas	245
7.2.2	Transportadores de bagaço de corrente	217	9.4	Aquecedores de contato direto	247
7.2.3	Alimentação de bagaço para as caldeiras	218	9.4.1	Dimensionamento de aquecedores de contato direto	247
7.2.4	Amostragem do bagaço	219	9.4.2	Detalhes do aquecedor	248
7.3	Separadores magnéticos	219	9.4.3	Efeito na economia térmica	248
	Referências	220	9.5	Incrustação e limpeza	248
8	PROCESSAMENTO DO CALDO BRUTO	221	9.5.1	Caracterização dos depósitos	248
8.1	Peneiramento do caldo	221	9.5.2	Formação de depósitos	249
8.1.1	Tipos de peneira	221	9.5.3	Limpeza dos tubos	249
8.1.2	Retorno do bagacilho	224	9.5.4	Incrustação do lado vapor	249
8.1.3	Limpeza da peneira	224	9.6	Tanque Flash de caldo	249
8.1.4	Peneiramento de caldo clarificado	225	9.6.1	Requisitos do flasheamento	249
8.2	Medição da vazão mássica do caldo	225	9.6.2	Tipos de tanques de Flash	250
8.2.1	Balanças de batelada	225	9.6.3	Dimensionamento de tanques e bocais	250
8.2.2	Outros sistemas de medição	226	9.6.4	Divisão do fluxo aos clarificadores	251
8.3	Amostragem e análise do caldo	227	9.6.5	Controle da temperatura	252
8.3.1	Sistemas de amostragem	227	9.7	Aquecedores líquido-líquido	252
8.3.2	Amostragem de sólidos suspensos	227	9.8	Aquecedores de caldo clarificado	253
8.3.3	Análise de pol x sacarose	228	9.8.1	Objetivos	253
8.4	Bombeamento do caldo	228	9.8.2	Dimensionamento dos aquecedores	253
8.4.1	Pontos de operação da bomba	228		Referências	255
8.4.2	Materiais de construção	232	10	CLARIFICAÇÃO	257
8.4.3	Dimensionamento do tanque de caldo bruto	232	10.1	Processos físicos e químicos	257
8.4.4	Controle da vazão de caldo	232	10.1.1	Objetivos da clarificação do caldo	258
	Referências	234	10.1.2	Análises do caldo bruto	258
			10.1.3	Efeitos do aquecimento e adição de cal ao caldo	258
			10.1.4	Reações químicas que ocorrem na clarificação simples do caldo	258
			10.1.5	Variantes dos procedimentos de clarificação por defecação	260

10.1.6	Procedimentos práticos para a clarificação por defecação	262	11.2.1	Tecnologias de filtros prensa de placas e chassi	294
10.1.7	pH ótimo do caldo clarificador	263	11.2.2	Filtros de tambor rotativo a vácuo	295
10.1.8	Papel do ácido fosfórico no caldo e dosagem de fosfato	263	11.2.3	Detalhes dos equipamentos	297
10.2	Fornecimento e manejo da cal	264	11.2.4	Condicionamento da alimentação do filtro	298
10.2.1	A qualidade da cal	264	11.2.5	Telas e raspadores	299
10.2.2	Extinção da cal e manejo	264	11.2.6	Capacidade e dimensionamento	300
10.2.3	Leite de cal e sacarato de cálcio	265	11.2.7	Controle do nível e agitação do cocho do filtro	301
10.3	Controle do pH	266	11.2.8	Lavagem da torta de filtro	302
10.4	Tipos de clarificador	267	11.2.9	Controle operacional	304
10.4.1	Descrição dos clarificadores	267	11.2.10	Análises da torta de filtro e retenção dos sólidos do lodo	305
10.4.2	Tempo de residência	272	11.2.11	Manejo da torta	306
10.4.3	Tanques de flash	273	11.3	Manejo do filtrado	307
10.4.4	Testes de decantação em batelada	273	11.3.1	Quantidades de filtrado	307
10.4.5	Capacidade dos clarificadores	275	11.3.2	Coleta e bombeamento do caldo filtrado	308
10.5	Operação da estação de clarificação	276	11.3.3	Separação de arraste	309
10.5.1	Operação dos clarificadores	276	11.3.4	Condensadores do filtro	309
10.5.2	Controle de nível do lodo, consistência do lodo	277	11.3.5	Clarificação do filtrado	310
10.5.3	Ácido fosfórico e outros aditivos	277	11.4	Perdas microbiológicas	310
10.5.4	Liquidação	278	11.4.1	Efeito da temperatura	310
10.6	Floculantes e sistemas de dosagem	278	11.4.2	Alterações da pureza e monitoramento do ácido láctico	311
10.6.1	Tipos de floculantes	278		Referências	311
10.6.2	Reações físicas de floculação	278	12	EVAPORAÇÃO	313
10.6.3	Preparo e dosagem do floculante	279	12.1	Transferência de calor por ebulição	313
10.6.4	Teste do floculante	280	12.1.1	Faixa de temperatura e pressão	313
10.6.5	Floculantes catiônicos	280	12.1.2	Elevação do ponto de ebulição	315
10.7	Sulfitação	280	12.1.3	Pressão hidrostática	315
10.7.1	Preparo do dióxido de enxofre	281	12.1.4	Equações para vaso simples	315
10.7.2	Fornos de enxofre	281	12.1.5	Definição do coeficiente de transferência de calor	316
10.7.3	Utilização de dióxido de enxofre líquido	282	12.2	Princípios da evaporação de múltiplo efeito	318
10.7.4	Consumo de enxofre e cal	282	12.2.1	Princípio de <i>Rillieux</i>	318
10.7.5	Sistemas de sulfitação	283	12.2.2	Sangria de vapor	318
10.7.6	Procedimentos de sulfitação	284	12.2.3	Sistemas de fluxo co-corrente × contracorrente × misto	318
10.7.7	Vantagens e desvantagens da sulfitação	284	12.2.4	Taxas de transferência de calor	320
10.7.8	Sulfitação do xarope	285	12.2.5	Perdas de calor	323
	Referências	285	12.2.6	Quantidade de gases incondensáveis	323
11	FILTRAÇÃO	287	12.3	Cálculo de múltiplo efeito – método abreviado	324
11.1	Manejo do lodo e adição do bagacilho	287	12.4	Cálculo de múltiplo efeito – método rigoroso	325
11.1.1	Quantidades de lodos	287	12.4.1	Derivação de equações	325
11.1.2	Manejo de lodos	290			
11.1.3	Misturadores de lodo	292			
11.1.4	Quantidades de bagacilho	294			
11.2	Detalhes dos equipamentos de filtração	294			

12.4.2	Cálculo pelo método rigoroso	327	12.10.3	Potes de flash	360
12.4.3	Comparação dos métodos de cálculo abreviado e rigoroso	329	12.11	Incrustação e limpeza de evaporadores	360
12.5	Fatores que afetam a economia de vapor e a capacidade	330	12.11.1	Ocorrência de incrustação	360
12.5.1	Influência do número de efeitos	331	12.11.2	Caracterização da incrustação	361
12.5.2	Efeito das sangrias de vapor	331	12.11.3	Anti-incrustantes	363
12.5.3	Efeito das pressões de vapor de escape e absoluta do último vaso	332	12.11.4	Limpeza química	364
12.5.4	Efeito da temperatura do caldo clarificado	333	12.11.5	Limpeza mecânica	365
12.5.5	Emprego de flash de condensado	334	12.11.6	Limpeza do lado vapor	365
12.5.6	Distribuição da superfície de aquecimento	335	12.12	Remoção de amido e dextrana	366
12.6	Evaporadores	335	12.12.1	Propriedades das enzimas	356
12.6.1	Tipos de evaporador	335	12.12.2	Utilização ideal das enzimas	366
12.6.2	Comparação de tipos de evaporador	338		Referências	367
12.6.3	Pré-evaporadores	341	13	CONDENSADORES E EQUIPAMENTOS DE VÁCUO	369
12.6.4	Dimensionamento da linha de vapor	342	13.1	Fundamentos	369
12.7	Projeto de vasos evaporadores tubulares	342	13.1.1	Pressões absolutas requeridas	369
12.7.1	Projeto da calandria	342	13.1.2	Quantidades de água e vapor	370
12.7.2	Dimensões e especificações de tubo e espelhos	344	13.1.3	Efeito da temperatura da água no condensador	371
12.7.3	Tubos de descida	345	13.1.4	Quantidade de gás incondensável	372
12.7.4	Remoção de condensado e gases incondensáveis	345	13.1.5	Quantidade total de água de resfriamento usada numa fábrica	373
12.7.5	Sistemas de alimentação e retirada de líquido	346	13.1.6	Recuperação de calor	374
12.7.6	Detalhes de evaporadores a placas	348	13.2	Condensadores	374
12.8	Operação de evaporadores	348	13.2.1	Arranjos e requisitos de condensadores	374
12.8.1	Condições operacionais ótimas	348	13.2.2	Tipos de condensador	375
12.8.2	Controle automático dos evaporadores	348	13.2.3	Projeto de condensadores em contracorrente	376
12.8.3	Efeito do superaquecimento do vapor	350	13.2.4	Materiais de construção	381
12.8.4	Teste de vazamentos	350	13.2.5	Selo barométrico	381
12.8.5	Arranjos dos vasos em série e em paralelo	351	13.2.6	Controle da pressão absoluta	381
12.8.6	Bombeamento de xarope	351	13.2.7	Identificação de vazamentos de ar	382
12.8.7	Causas de baixo desempenho	352	13.3	Bombas de água de injeção	382
12.8.8	Perdas de sacarose na evaporação	352	13.4	Piscinas de spray e torres de resfriamento	383
12.8.9	Alteração de pH	353	13.4.1	Projeto e especificação de sistemas de resfriamento	383
12.9	Separação de arraste	353	13.4.2	Torres de resfriamento	384
12.9.1	Tipos de separador	354	13.4.3	Piscinas de spray	386
12.9.2	Dimensionamento e projeto	357	13.4.4	Arraste e perdas por arraste	386
12.10	Remoção e flasheamento de condensado	359	13.4.5	Qualidade e tratamento da água	387
12.10.1	Sistemas de tubulação	359	13.5	Bombas de vácuo	387
12.10.2	Purgadores e pernas em U	359	13.5.1	Bombas de anel líquido	387
			13.5.2	Dimensionamento de bombas	388
			13.5.3	Sistema de água de serviço	389
			13.5.4	Eficiência da bomba e teste	389
			13.6	Sistemas ejetores	390

13.6.1	Ejetores a jato de vapor	390	15.2.4	Efeito da relação entre pol e sacarose e entre Brix e sólidos dissolvidos	425
13.6.2	Ejetores a jato de água	391	15.2.5	Efeito na cor de açúcar	425
13.7	Resfriadores posteriores	392	15.2.6	Efeito do esgotamento da massa cozida e rendimento de cristal	425
	Referências	391	15.2.7	Fatores que afetam a quantidade de massa cozida C	426
14	CLARIFICAÇÃO DE XAROPE	393	15.2.8	Capacidade e requisitos de vapor	426
14.1	Introdução	393	15.3	Cozedores a vácuo de batelada	427
14.2	Princípios envolvidos	394	15.3.1	Tipos de cozedores	427
14.2.1	Efeito dos parâmetros operacionais	394	15.3.2	Circulação no cozedor	428
14.2.2	Efeito dos produtos químicos adicionados	395	15.3.3	Projeto de cozedor de batelada	429
14.2.3	Aeração do xarope	396	15.3.4	Capacidade do cozedor	433
14.2.4	Clarificação de mel B e C	397	15.3.5	Taxas de evaporação	434
14.2.5	Aplicação da clarificação de xarope na usina de açúcar bruto	399	15.3.6	Agitadores e vapor de circulação	435
14.3	Benefícios da clarificação do xarope	400	15.3.7	Separação de arraste	437
14.3.1	Qualidade de açúcar	400	15.4	Cozedores contínuos a vácuo	438
14.3.2	Viscosidade da massa cozida	401	15.4.1	Tipos de cozedores contínuos	438
14.4	Equipamento	401	15.4.2	Projeto de cozedores contínuos	443
14.4.1	Vasos clarificadores	401	15.4.3	Comparação de sistemas de cozedores de bateladas e contínuos	447
14.4.2	Sistemas de aeração	403	15.5	Controle e operação do cozedor	449
14.4.3	Manejo da espuma	403	15.5.1	Condução de um cozimento de batelada	449
14.4.4	Misturador em linha	404	15.5.2	Semeadura	450
14.5	Operação	404	15.5.3	Obtenção de tamanho do cristal	450
14.5.1	Controle da adição de produtos químicos	404	15.5.4	Teste de vácuo	450
14.5.2	Testes laboratoriais e avaliação	405	15.5.5	Avaliando a qualidade do cozimento	451
14.5.3	Controle da camada de espuma	405	15.5.6	Temperaturas e pressões de cozimento	453
14.6	Aumento da remoção de cor	406	15.5.7	Efeito das condições e operação do cozedor na qualidade do açúcar	453
	Referências	407	15.5.8	Operação do cozedor contínuo	453
15	CRISTALIZAÇÃO	409	15.6	Instrumentação e controle do cozedor	455
15.1	Fundamentos da cristalização	409	15.6.1	Transdutores de medição	455
15.1.1	Solubilidade e supersaturação	409	15.6.2	Dimensionamento da válvula de controle	456
15.1.2	Crescimento do cristal e nucleação	410	15.6.3	Controle do cozedor de batelada	457
15.1.3	Efeito de não sacarose	412	15.6.4	Controle automático de cozedores contínuos	458
15.1.4	Taxas de cristalização	412	15.7	Equipamentos periféricos do setor de cozimento	460
15.1.5	Elevação do ponto de ebulição	413	15.7.1	Condicionamento de mel	460
15.1.6	Tamanho e forma do cristal	415	15.7.2	Tanques de alimentação	460
15.1.7	Conteúdo de cristais da massa cozida	417	15.7.3	Tanques de estocagem	461
15.1.8	O processo de cristalização	417	15.7.4	Receptores a vácuo de semente	461
15.1.9	Objetivos do setor de cozimento	418	15.7.5	Sistemas de corte	461
15.2	Esquemas de cozimento de açúcar	418	15.7.6	Receptores de cozimento	461
15.2.1	Descrição dos esquemas de cozimento utilizados	419		Referências	462
15.2.2	Comparação de esquemas de cozimento	422			
15.2.3	Cálculos e balanços de massa do setor de cozimento	422			

16	CRISTALIZADORES DE RESFRIAMENTO	465	17.2.8	Misturadores de alimentação	499
16	Considerações teóricas	465	17.3	Centrífugas contínuas	500
16.1.1	Objetivos e requisitos da cristalização por resfriamento	465	17.3.1	Descrição geral	500
16.1.2	Tempos de residência e temperaturas	466	17.3.2	Comparação de projetos diferentes	501
16.1.3	Mistura / agitação	466	17.3.3	Capacidades das centrífugas	503
16.1.4	Propriedades reológicas das massas cozidas	467	17.3.4	Telas	504
16.1.5	Bombeamento e manuseio de massas cozidas	470	17.3.5	Operação de centrífugas contínuas	506
16.2	Equipamentos	472	17.3.6	Centrífugas contínuas para massas de alta pureza	508
16.2.1	Cristalizadores de batelada e contínuos	472	17.3.7	Comparação de centrífugas de batelada e contínuas para massas de alta pureza	510
16.2.2	Cristalizadores horizontais × verticais	472	17.3.8	Centrífugas refundidoras e misturadoras	510
16.2.3	Cristalizadores horizontais	472	17.4	Reaquecimento da massa cozida	511
16.2.4	Cristalizadores verticais	474	17.4.1	Supersaturação do licor mãe	511
16.2.5	Coeficientes de transferência de calor	477	17.4.2	Requisitos de área do reaquecedor	512
16.2.6	Projeto do sistema de resfriamento	477	17.4.3	Tipos de reaquecedor	513
16.2.7	Acionamentos do cristalizador	477	17.4.4	Perda de carga em reaquecedores tubulares	515
16.2.8	Cristalizadores a vácuo	479	17.5	Refundidores e misturadores	516
16.2.9	Bombas de massa cozida	479	17.5.1	Projeto de refundidores	516
16.3	Operação e controle	480	17.5.2	Detalhes de misturadores de magma	517
16.3.1	Operação de cristalizadores contínuos	480		Referências	520
16.3.2	Características de fluxo da massa cozida	481	18	ESGOTAMENTO DO MELAÇO	523
16.3.3	Reação de <i>Maillard</i>	483	18.1	Esgotabilidade do melaço	523
16.3.4	Circuitos de água de resfriamento	484	18.1.1	Solubilidade do açúcar no melaço	523
	Referências	484	18.1.2	Ensaio de esgotamento em laboratório	525
17	SEPARAÇÃO CENTRÍFUGA	487	18.1.3	Equações de meta de pureza para esgotamento do melaço	525
17.1	Teoria	487	18.1.4	Métodos simplificados para estimativa de Substância Seca e cinza	528
17.1.1	Centrífugas de batelada e contínuas	487	18.1.5	Efeito de teores altos de dextrana e amido	528
17.1.2	Forças centrífugas	488	18.1.6	Reação de <i>Maillard</i>	529
17.1.3	Teoria de separação sólido-líquido	490	18.2	Quantidade de massa cozida C e mel final	529
17.1.4	Eficiência de lavagem	490	18.3	Operação otimizada de estações C	530
17.1.5	Quebra do cristal	491	18.3.1	Efeito das condições operacionais da fábrica no esgotamento do melaço	530
17.2	Centrífugas de batelada	492	18.3.2	Práticas recomendadas para obtenção de bons esgotamentos de melaço	530
17.2.1	Descrição geral	492	18.4	Dessacarificação de melaço	533
17.2.2	Ciclo de batelada	492	18.4.1	Separações cromatográficas	533
17.2.3	Comparação de projetos diferentes	493	18.4.2	Precipitação por etanol	533
17.2.4	Capacidades das centrífugas	495	18.4.3	Outros métodos químicos	533
17.2.5	Acionamentos de centrífugas	495		Referências	534
17.2.6	Operação de centrífugas das bateladas	496			
17.2.7	Inspeção do cesto	499			

19	SECAGEM E ESTOCAGEM DO AÇÚCAR BRUTO	535	21	MOVIMENTAÇÃO E ESTOCAGEM DO MELAÇO	571
19.1	Teoria da secagem	535	21.1	Quantidade, qualidade e composição do melaço	571
19.1.1	Contexto e objetivo	535	21.1.1	Cálculo das quantidades de melaço	571
19.1.2	Mecanismos de secagem	536	21.1.2	Análises típicas	572
19.1.3	Modelagem	537	21.1.3	Propriedades físicas	575
19.1.4	Interpretação prática	538	21.2	Resfriamento do mel	576
19.2	Secadores de açúcar	540	21.2.1	Requisitos	576
19.2.1	Tipos de equipamento	540	21.2.2	Tipos de sistema de resfriamento	577
19.2.2	Projeto e dimensionamento	546	21.2.3	Coefficientes de transferência de calor	578
19.2.3	Instrumentação e automação	549	21.2.4	Controle da temperatura	578
19.3	Movimentação e estocagem	550	21.3	Sistemas de bombeamento e tubulações	579
19.3.1	Transportadores e moegas	550	21.3.1	Projeto de tubulação para condução do melaço	579
19.3.2	Armazenagem do açúcar bruto	550	21.3.2	Seleção da bomba de melaço	580
	Referências	552	21.3.3	Medição da vazão mássica	580
20	QUALIDADE DE AÇÚCAR BRUTO	553	21.4	Estocagem do mel	582
20.1	Introdução	553	21.4.1	Degradação na estocagem	582
20.2	Tipos de açúcar bruto	553	21.4.2	Prevenção da reação de <i>Maillard</i>	582
20.3	Efeito das operações da fábrica de açúcar bruto na qualidade do açúcar	554		Referências	584
20.3.1	Colheita e transporte da cana	555	22	REFINAÇÃO DO AÇÚCAR	587
20.3.2	Extração da sacarose	555	22.1	Rendimento de açúcar branco	588
20.3.3	Aquecimento do caldo	555	22.2	Afinação e dissolução	589
20.3.4	Clarificação do caldo	556	22.2.1	Manejo do açúcar bruto	589
20.3.5	Evaporação do caldo	556	22.2.2	Misturador	589
20.3.6	Cozimento do açúcar	556	22.2.3	Afinação do açúcar	590
20.3.7	Operação das centrífugas	556	22.2.4	Projeto de dissolvedores	590
20.4	Especificações e padrões	557	22.3	Processos de clarificação	592
20.4.1	Açúcares não centrifugados	557	22.3.1	Carbonatação	592
20.4.2	Açúcares centrifugados	557	22.3.2	Fosfatação	595
20.4.3	Padrões para consumo direto	557	22.3.3	Comparação entre carbonatação e fosfatação	598
20.4.3	açúcares centrifugados de consumo direto	557	22.4	Sulfitação	598
20.5	Sistemas de pagamento	558	22.5	Filtração	598
20.5.1	Pagamento baseado em pol	558	22.5.1	Equações para a filtração	599
20.5.2	Sistemas de pagamento baseados na qualidade	560	22.5.2	Medições da filtração em laboratório	599
20.6	Qualidades para o refino	560	22.5.3	Tipos de filtros	600
20.6.1	Polarização	561	22.5.4	Área de filtração necessária	601
20.6.2	Cor	562	22.5.5	Operação do filtro	601
20.6.3	Filtrabilidade	562	22.5.6	Manejo da torta e desadoçamento	602
20.6.4	Dextranas	562	22.5.7	Filtração em leito profundo	604
20.6.5	Amido	564	22.6	Evaporação e cristalização	604
20.6.6	Umidade	564	22.6.1	Sistemas de evaporação	604
20.6.7	Cinza	565	22.6.2	Esquemas de cristalização e rendimentos para açúcar branco	604
20.6.8	Açúcares redutores	566			
20.6.9	Outros parâmetros	567			
	Referências	568			

22.6.3	Operação da seção de cozimento de açúcar branco	606	23.4.4	Manuseio da água doce	627
22.6.4	Operação da seção de recuperação	608	23.5	Carvões ativados	627
22.7	Padrões de açúcar branco	608	23.5.1	Sistemas de carvão ativado	627
22.8	Vapor na refinaria	610	23.5.2	Remoção de cor	628
22.8.1	Relações vapor/calda	610	23.5.3	Regeneração	628
22.8.2	Redução do consumo de vapor por modificações na planta e operacionais	611	23.5.4	Consumo de energia	628
22.8.3	Estudos de tecnologia Pinch	611	23.6	Uso de aditivos	628
22.9	Refinarias anexas	612	23.6.1	Oxidantes	628
22.9.1	Vantagens das refinarias anexas	612	23.6.2	Precipitadores de cor	629
22.9.2	Operação na safra	612	23.7	Descoloração do caldo de cana	629
22.9.3	Refinação na entressafra	613	23.7.1	Tratamentos químicos	629
22.10	Produção direta de açúcar branco	613	23.7.2	Membranas	629
22.10.1	Acúcar Cristal	613	23.7.3	Troca iônica	630
22.10.2	Opções para produção de açúcar branco numa usina de açúcar bruto	614		Referências	630
	Referências	614	24	CONDICIONAMENTO E MANEJO DO AÇÚCAR BRANCO	633
23	COR E SISTEMAS DE DESCOLORAÇÃO	617	24.1	Secagem, resfriamento e condicionamento	633
23.1	Corantes e formação de cor no processo	617	24.1.1	Condicionamento	633
23.1.1	Natureza e origem dos corantes	617	24.1.2	Secagem e resfriamento do açúcar refinado	638
23.1.2	Medição da cor	619	24.2	Armazenagem de açúcar refinado	640
23.1.3	Identificação de corantes	619	24.2.1	Tipos de silo a granel	640
23.1.4	Formação de cor na usina de açúcar bruto	619	24.2.2	Projeto e operação da estocagem a granel	644
23.1.5	Formação de cor na refinaria	620	24.2.3	Ventilação	645
23.1.6	Inclusão de cor nos cristais de açúcar	620	24.2.4	Estocagem de açúcar empacotado	645
23.2	Seleção do esquema ótimo de descoloração ótimo em refinaria	621	24.2.5	Formação de cor	646
23.2.1	Comparação de sistemas de descoloração	621	24.3	Movimentação do açúcar	646
23.2.2	Combinações de clarificação e descoloração	621	24.3.1	Transporte	646
23.3	Descoloração por troca iônica	623	24.3.2	Moegas, chutes e pontos de transferência	649
23.3.1	Tipo de resina usada	623	24.3.3	Peneiramento ou classificação	650
23.3.2	Consumo de resina	623	24.3.4	Explosões de pó de açúcar	653
23.3.3	Sistemas de troca iônica	623	24.3.5	Equipamento de desempoeiramento	655
23.3.4	Remoção da cor	624	24.4	Ensaque e empacotamento	656
23.3.5	Regeneração da resina	624	24.4.1	Balanças e alimentadores	656
23.3.6	Tratamento do efluente	626	24.4.2	Materiais de embalagem	657
23.4	Carvão animal	626	24.4.3	Formação, enchimento e selagem	658
23.4.1	Vantagens e desvantagens	626	24.4.4	Enfardamento e paletização	659
23.4.2	Sistemas de carvão animal utilizados	626	24.4.5	Produtos especiais	659
23.4.3	Regeneração	627		Referências	659
			25	CONTROLE QUÍMICO DE USINAS	661
			25.1	Medições e análises	661
			25.1.1	Visão geral das análises comumente utilizadas	661
			25.1.2	Limitações e precisões	664

25.1.3	Determinação de vazões mássicas	665	26.3.3	Questões operacionais	699
25.1.4	Análise da cana	666	26.3.4	Outras alternativas de secagem de bagaço	
25.2	Balanços de sacarose na fabricação	666	700		
25.2.1	Cálculos de recuperação	666	26.4	Coleta de bagacilho	700
25.2.2	Aplicação dos dados analíticos de sacarose real	668	26.4.1	Peneiras de bagacilho	700
25.2.3	Cálculo do estoque de açúcar em processo	669	26.4.2	Separação pneumática com veneziana	701
25.2.4	Perdas indeterminadas	669	26.4.3	Extração pneumática	701
25.2.5	Mecanismos e causas de perdas indeterminadas	670	26.4.4	Transporte pneumático	702
25.3	Avaliação do desempenho da fábrica	671	26.4.5	Roscas transportadoras	703
25.3.1	Recuperação global da usina	671	26.4.6	Ciclones de bagacilho	704
25.3.2	Planta de extração	672	26.5	Desmedulação de bagaço	705
25.3.3	Seção de fabricação do açúcar	672	26.5.1	Separação fibra / medula	705
25.3.4	Outras medições do desempenho da fábrica	674	26.5.2	Separação pneumática	705
25.3.5	Contabilização do tempo	675	26.5.3	Separadores de medula	706
25.4	Perdas por inversão	675	26.5.4	Avaliação da qualidade da fibra	707
25.4.1	Medição das perdas por inversão	675	Referências	707	
25.4.2	Cálculo das perdas por inversão a partir das equações de <i>Vukov</i>	675	27	GERAÇÃO DE VAPOR	709
25.4.3	Correção do efeito da temperatura e diluição no pH	676	27.1	Introdução	709
25.4.4	Dados de Stadler	676	27.2	Cálculos de combustível	709
25.4.5	Tabelas para estimativa de inversão	677	27.2.1	Características de combustível	709
25.5	Relatório de fábrica	679	27.2.2	Ar de combustão necessário	712
25.5.1	Objetivo	679	27.3	Eficiência da caldeira	716
25.5.2	Benchmarking e auditoria técnica dos números de fabricação	679	27.3.1	Medição da eficiência	716
25.5.3	Formato dos relatórios de fábrica	681	27.3.2	Quantificação das perdas	716
Apêndice: Lista de verificação para perdas indeterminadas	683	27.4	Projeto da fornalha	720	
Referências	688	27.4.1	Tipos de fornalhas	720	
26	MANEJO, ARMAZENAGEM E SECAGEM DO BAGAÇO	689	27.4.2	Alimentação e medição de bagaço	720
26.1	Características do bagaço	689	27.4.3	Taxas de liberação de calor da grelha	721
26.2	Armazenagem e retorno do bagaço	690	27.4.4	Projeto da grelha para alta eficiência e baixas emissões	722
26.2.1	Transporte do bagaço	690	27.4.5	Projeto de distribuidores de bagaço e ar secundário	724
26.2.2	Pesagem do bagaço	691	27.4.6	Tamanho da fornalha	725
26.2.3	Depósitos de bagaço e sistemas de retorno	691	27.5	Projeto da caldeira	725
26.2.4	Pilha de armazenagem de bagaço a granel	694	27.5.1	Visão geral do projeto	725
26.2.5	Enfardamento	695	27.5.2	Transferência de calor	726
26.3	Secagem do bagaço	696	27.5.3	Estrutura de suportação da caldeira	730
26.3.1	Efeito na eficiência e capacidade da caldeira	696	27.5.4	Banco de convecção	732
26.3.2	Tipos de secador	697	27.5.5	Superaquecedor	732
			27.5.6	Circulação	733
			27.5.7	Recuperação de calor	733
			27.5.8	Erosão e corrosão	734
			27.5.8.1	Erosão	734
			27.5.8.2	Corrosão na parta traseira ou por temperatura baixa (corrosão por ponto de orvalho de ácido)	734

27.5.8.3	Corrosão par temperatura alta (corrosão por cinza)	735	28.3.1	Configuração do evaporador	770
27.5.9	Ventiladores	736	28.3.2	Consumo no cozimento	770
27.6	Instrumentação e controle	738	28.3.3	Consumo no aquecimento de caldo	771
27.6.1	Perfil da demanda de vapor	738	28.3.4	Opções para redução do consumo de vapor de processo	771
27.6.2	Malhas de controle	739	28.4	Balanco geral de vapor	771
27.6.3	Instrumentação	741	28.4.1	Vapor de alta pressão	773
27.6.4	Tecnologias de controle	742	28.4.2	Consumo de vapor de escape	775
27.7	Emissões gasosas e disposição dos resíduos sólidos	743	28.4.3	Outros fatores que afetam o balanço de vapor	775
27.7.1	Legislação e unidades de medidas	743	28.4.4	Energia disponível para exportação	776
27.7.2	Emissões de particulado	743	28.5	Recompressão de vapor	778
27.7.3	Coletores de material particulado	745	28.5.1	Situações favoráveis à recompressão	778
27.7.4	Escolha do coletor e localização do coletor	748	28.5.2	Termocompressão	778
27.7.5	Emissões gasosas	748	28.5.3	Recompressão mecânica do vapor	778
27.7.6	Disposição de resíduos sólidos	751		Referências	779
27.8	Operação e manutenção da caldeira	752	29	SISTEMAS DE ÁGUA E DE CONDENSADO	781
27.8.1	Manuais do fabricante	752	29.1	Balanco de água da fábrica	781
27.8.2	Partida e parada	752	29.1.1	Entradas, saídas e perdas de água	781
27.8.3	Sistemas de controle	752	29.1.2	Perdas por evaporação	782
27.8.4	Outros cuidados operacionais	753	29.1.3	Balancos de água	782
27.8.5	Modernização de caldeiras	754	29.2	Água de alimentação de caldeiras	784
27.9	Sistemas de água de alimentação da caldeira	754	29.2.1	Recuperação de condensado	784
27.9.1	Fonte de água de alimentação da caldeira	754	29.2.2	Qualidade do condensado	784
27.9.2	Qualidade da água	756	29.2.3	Monitoramento da contaminação de açúcar no condensado	785
27.9.3	Dimensionamento da bomba e da válvula de controle de alimentação	756	29.2.4	Abrandamento	786
27.9.4	Desaeração	759	29.2.5	Parâmetros de qualidade dependentes da pressão	786
27.9.5	Tratamento da água de alimentação	760	29.2.6	Estocagem da água de alimentação	787
27.9.6	Descarga da caldeira	760	29.3	Água necessária para os processos da fábrica	787
27.10	Água de alimentação e rede de vapor	761	29.3.1	Embebição	787
27.10.1	Projeto da tubulação	761	29.3.2	Consumo de água no processo	787
27.10.2	Sistemas rebaixadores de pressão	763	29.4	Consumo de água de serviço	788
	Referências	764	29.4.1	Água bruta	788
28	BALANÇO DE VAPOR DA FÁBRICA	767	29.4.2	Água tratada	788
28.1	Vapor disponível do bagaço	767	29.4.3	Sistema de resfriamento para as águas de serviço	788
28.1.1	Quantidade de bagaço	767	29.4.4	Água do lavador de gases e de remoção de cinzas da caldeira	789
28.1.2	Vapor gerado com o bagaço	767	29.4.5	Suprimento de água de combate a incêndio	789
28.2	Consumo de vapor na usina de açúcar	768	29.5	Tratamento de efluentes	789
28.2.1	Consumo de energia dos acionamentos primários	768	29.5.1	Sistemas de manejo da água excedente	789
28.2.2	Balanco entre os consumos de vapor por alta pressão e de escape	769	29.5.2	Quantidade de água excedente a ser tratada	789
28.2.3	Perdas de vapor	769			
28.3	Consumo de vapor de processo	770			

29.5.3	Qualidade da corrente de água excedente	791	31	UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS	821
29.5.4	Padrões para o tratamento de efluentes	792	31.1	Torta de filtro	822
29.5.5	Tratamento biológico	792	31.1.1	Quantidade e qualidade da torta de filtro	822
	Referências	796	31.1.2	Uso nas áreas de cultivo	823
30	ELETRICIDADE	797	31.1.3	Compostagem	823
30.1	Geração de eletricidade	797	31.1.4	Extração de produtos de valor agregado	824
30.1.1	Necessidades de energia elétrica da fábrica	797	31.1.5	Ração animal	824
30.1.2	Seleção da tensão	798	31.2	Bagaço	824
30.1.3	Turbinas a vapor	798	31.2.1	Uso na produção de polpa e papel	825
30.1.4	Consumo de vapor	803	31.2.2	Placa de compensado de bagaço	827
30.2	Geradores	803	31.2.3	Ração animal	828
30.2.1	Tamanho	803	31.2.4	Fabricação de furfural	828
30.2.2	Tipo	803	31.2.5	Processamento integrado de biomassa	829
30.2.3	Eficiência	803	31.2.6	Carvão vegetal e carvão ativado	831
30.2.4	Equipamento de controle	804	31.2.7	Cinza de caldeira, carvão e fuligem	832
30.2.5	Lubrificação e resfriamento	804	31.3	Pontas e folhas de cana	832
30.2.6	Controle elétrico	804	31.3.1	Coleta como combustível complementar	832
30.2.7	Proteção	805	31.3.2	Recuperação de produtos de valor agregado	833
30.3	Operação da casa de força	805	31.4	Produtos baseados em açúcar	833
30.3.1	Monitoramento do gerador e da turbina	805	31.5	Melaço	834
30.3.2	Controle da carga	806	31.5.1	Produtos de fermentação	834
30.3.3	Monitoramento de vibração	806	31.5.2	Ração animal	836
30.3.4	Venda e aquisição de energia	806	31.5.3	Uso como um fertilizante	836
30.4	Motores elétricos	807	31.5.4	Recuperação de produtos de valor	836
30.4.1	Classes	807	31.6	Produção de etanol	837
30.4.2	Classe de isolamento	808	31.6.1	Rendimento em etanol	837
30.4.3	Tensão de fornecimento de tensão	808	31.6.2	Sistemas de fermentação	838
30.4.4	Velocidade e escorregamento	808	31.6.3	Destilação	840
30.4.5	Motores de corrente contínua (CC)	811	31.6.4	Estocagem e movimentação	843
30.4.6	Acionamentos de frequência variável	811	31.6.5	Produção e disposição da vinhaça	843
30.5	Distribuição e consumo de energia	812	31.6.6	Recuperação do dióxido de carbono	844
30.5.1	Transformadores	812	31.6.7	Aspectos econômicos da produção de etanol	845
30.5.2	Dimensionamento de cabos	813		Referências	845
30.5.3	Correção do fator de potência	815	32	PROPRIEDADES FÍSICAS	847
30.6	Cogeração e exportação de energia elétrica	817	32.1	Vapor e água	847
30.6.1	Turbinas de contrapressão de condensação	817	32.1.1	Equações que representam as propriedades de vapor e água	847
30.6.2	Sistemas de segurança	818	32.1.2	Tabelas para vapor saturado	847
30.6.3	Controle	818	32.1.3	Propriedades do vapor superaquecido	847
30.6.4	Uso compensado de energia	818	32.2	Caldo e xarope	852
30.6.5	Gaseificação	819	32.3	Cana-de-açúcar	852
	Referências	819			

32.4	Açúcar	852
32.4.1	Densidade do cristal	852
32.4.2	Densidades aparentes	852
32.4.3	Calor específico e entalpia	854
32.4.4	Solubilidade da sacarose	854
32.5	Bagaço	854
32.5.1	Densidade da fibra	854
32.5.2	Densidade aparente	854
32.5.3	Densidade aparente de fibra seca	855
32.5.4	Coefficiente de atrito	855
32.6	Cal	855
32.6.1	Leite de cal	855
32.6.2	Cal	855
	Referências	855
	Tabelas, Unidades do SI	857
	Tabelas de fatores de conversão	860
	Índice Remissivo	861