

SÍMBOLOS

Q = vazão, como massa ou volume por tempo de unidade

C = concentração, massa/volume

Q_V = vazão, tempo de unidade/volume

Q_M = fluxo de massa, tempo de massa/unidade

v = velocidade

A = área

R_{xn} = recuperação do componente x na corrente de produtos n

E_{WS} = eficiência de Worrell-Stessel

E_R = eficiência de Rietema

P_{xn} = pureza do componente x na corrente de produto n

PROBLEMAS

- 3.1 Uma fábrica de embalagem de produtos em conserva produz e descarrega uma solução de salmoura residual com uma salinidade de 13.000 mg/L NaCl, a uma vazão de 100 gal/min, lançada num córrego com vazão a montante da descarga de 1,2 milhão de gal/dia e uma salinidade de 20 mg/L. Abaixo do ponto de descarga, há um local de pesca esportiva, e os peixes são intolerantes às concentrações de sal superiores a 200 mg/L.
- Qual deve ser o nível de sal no efluente para reduzir o nível no córrego para 200 mg/L?
 - Se a fábrica de embalagem de conservas precisar gastar \$ 8 milhões para reduzir sua concentração de sal até esse nível, não poderá dar continuidade a seus negócios. Mais de 200 pessoas perderão seus empregos. Tudo isso, por causa de algumas pessoas que gostam de pescar no córrego? Escreva uma carta ao editor expressando sua opinião favorável ou contrária à ação do Estado que está exigindo que a fábrica de conservas limpe seus efluentes. Use sua imaginação.
 - Suponha agora que a fábrica esteja a 2 milhas a montante de um estuário de águas um pouco salgadas e peça permissão para canalizar suas águas residuárias salgadas para o estuário, onde a salinidade é tamanha que os resíduos realmente *diluiriam* o estuário (o resíduo tem uma concentração de sal menor que a água do estuário). Como gerente da fábrica, escreva uma carta para o diretor da Divisão de Gestão Ambiental do Estado solicitando um relaxamento do padrão de salinidade do efluente para a fábrica de conservas. Pense em como irá estruturar seus argumentos.
- 3.2 Lodos crus primários em uma concentração de sólidos de 4% são misturados com os lodos ativados residuais em uma concentração de sólidos de 0,5%. As vazões são, respectivamente, 20 e 24 gal/min. Qual é a concentração resultante de sólidos? Essa mistura é, em seguida, espessada para uma concentração de sólidos de 8%. Quais são as quantidades produzidas (em galões por minuto) de lodos espessados e de sobrenadante do adensador (água)? Suponha uma captura de sólidos perfeita no adensador.
- 3.3 As concentrações de efluentes e afluentes de vários metais de uma estação de tratamento de águas residuais, com capacidade de 10 mgd, são as seguintes:

Metal	Concentração do metal no	
	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)
Cd	0,012	0,003
Cr	0,32	0,27
Hg	0,070	0,065
Pb	2,42	1,26

A fábrica produz uma torta de lodos desidratados com uma concentração de sólidos de 22% (por peso). Os registros da fábrica mostram que 45.000 kg de lodo (úmido) são eliminados em um pasto todos os dias. O Estado restringiu a eliminação de lodos em terrenos apenas para concentrações de lodo metálico que apresentam menos que os seguintes valores:

Metal	Concentração metálica máxima permitida (mg de metal/kg de sólidos de lodo seco)
Cd	15
Cr	1.000
Hg	10
Pb	1.000

O lodo atende aos padrões do Estado?

Dica: Há duas formas de solucionar esse problema:

- Suponha que a vazão (mgd de lodos) seja insignificante em comparação com a vazão do afluente, ou seja, $Q_{\text{afluente}} = Q_{\text{efluente}}$, onde Q = vazão em mgd. Se você utilizar essa hipótese para resolver o problema, verifique se é válida.
 - Não faça tal hipótese, mas suponha que a densidade dos sólidos no lodo seja aproximadamente aquela da água, de forma que 1 kg de lodo represente um volume de 1 litro.
- Dois frascos contêm 40% e 70% em volume de formaldeído, respectivamente. Se 200 g do primeiro frasco e 150 g do segundo forem misturados, qual será a concentração (expressa como a porcentagem de formaldeído por volume) do formaldeído na mistura final?
 - Uma fábrica têxtil descarrega um resíduo dos tonéis que contém 20% de corante. A intensidade da cor é muito forte, e o Estado ordenou ao gerente da fábrica que diminua a cor na descarga. O químico da fábrica diz ao gerente que a cor não representaria um problema se eles pudessem atingir não mais que 8% de corante na água residuária. O gerente decide que a maneira menos custosa de fazer isso é diluir 20% da corrente de resíduos com água potável, a fim de produzir um resíduo com 8% de corante. A vazão de 20% da água residuária com corante é de 900 galões por minuto.
 - Qual é a quantidade de água potável necessária para a diluição?
 - Qual é a sua opinião sobre esse método de controle da poluição?
 - Suponha que o gerente da fábrica dilua seus resíduos e a equipe de regulamentação do Estado presuma que a fábrica está realmente removendo o corante antes da descarga. O gerente da fábrica, por ter executado uma operação rentável, é promovido para a sede da empresa. Um dia ele é convidado a preparar uma apresentação para o comitê executivo (os mandachuvas) sobre a forma como foi capaz de poupar muito dinheiro no tratamento de águas residuárias. Crie uma encenação curta para essa reunião, começando com a apresentação feita pelo ex-diretor da fábrica. Ele irá, naturalmente, tentar convencer o comitê de que fez a coisa certa. Qual será a reação do comitê? Inclua em seu *script* o presidente da empresa, o tesoureiro, o consultor jurídico e quaisquer outros personagens que desejar.
 - Um sistema de secagem de lodos funciona com uma taxa de alimentação de 200 kg/h e aceita um lodo com teor de sólidos de 45% (55% de água). O lodo seco é composto de 95% de sólidos (5% de água), e o efluente líquido contém 8% de sólidos. Qual é a quantidade de lodos secos e a vazão de líquidos e sólidos no efluente líquido?
 - Uma estação de processamento de resíduos sólidos tem dois classificadores que produzem um combustível derivado de refugos de uma mistura de refugos orgânicos (A) e inorgânicos (B). Uma parcela do esquema da estação e as vazões conhecidas são apresentadas na Figura 3.22. Qual é a vazão de A e B de Classificador I para o Classificador II ($Q_{A(I-II)}$ e $Q_{B(I-II)}$) e qual é a composição da corrente de saída do Classificador II (Q_{AII} e Q_{BII})?
 - Um separador aceita óleos residuais com 70% de óleo e 30% de água por peso. O sobrenadante é puro óleo, enquanto o efluente do fundo do separador contém 10% de óleo. Se uma vazão de 20 gal/min é alimentada para o tanque, quanto de óleo é recuperado?
 - A Mother Goose Jam Factory produz geleias combinando groselhas e açúcar com razão de peso de 45:55. Essa mistura é aquecida até evaporar a água, de forma que a última geleia contenha 1/3 de água. Se as groselhas contiverem inicialmente 80% de água, quantos quilos da fruta serão necessários para fazer um quilo de doce?

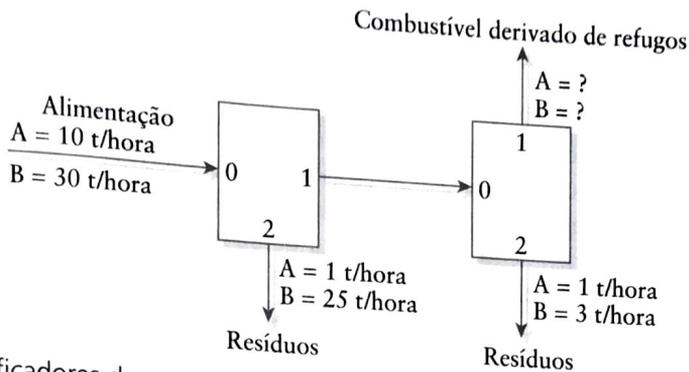


Figura 3.22 Classificadores de ar produzindo um combustível derivado de refugos. Ver Problema 3.7.

- 3.10 O diagrama da Figura 3.23 mostra o fluxo de massa de materiais em um incinerador de recuperação de calor.
- Quantas cinzas em suspensão serão jogadas para fora da chaminé por tonelada de resíduos queimados?
 - Qual é a concentração de particulados (cinzas em suspensão) na chaminé, expressa em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μg de cinzas em suspensão por m^3 de gases emitidos pela chaminé)? Suponha uma densidade de 1 tonelada/500 m^3 .

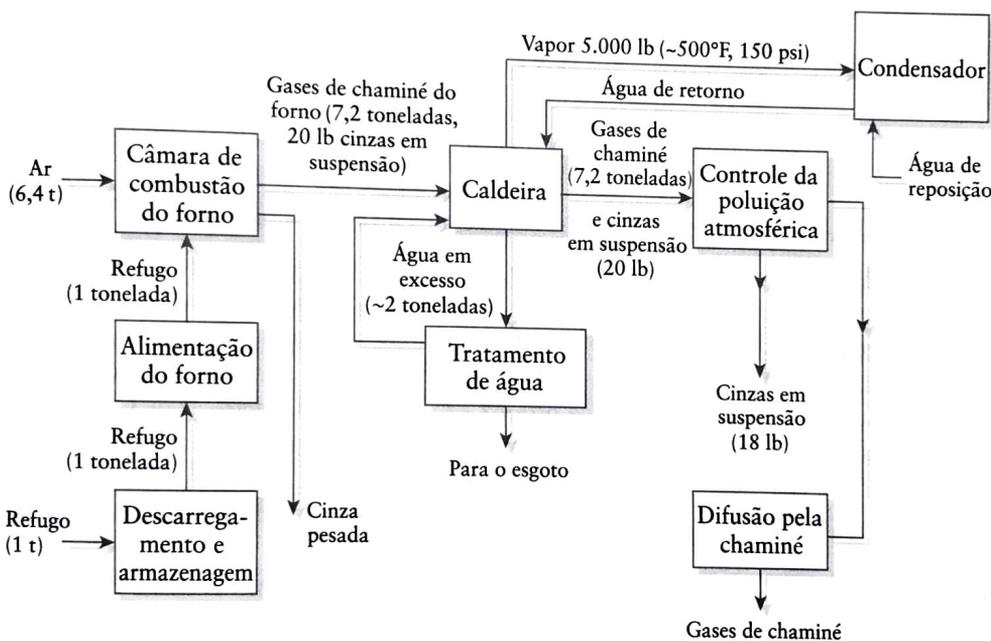


Figura 3.23 Vazão de materiais em um incinerador de resíduos sólidos. Ver Problema 3.10.

- 3.11 Um precipitador eletrostático para uma usina elétrica alimentada a carvão tem uma recuperação geral de particulados de 95% (remove 95% de todos os particulados de gases de chaminé que chegam até ele). O engenheiro da empresa decide que isso é muito bom, não sendo necessário ser tão eficiente, e propõe que parte dos gases de chaminé seja ignorada ao redor do precipitador eletrostático para que a recuperação das cinzas em suspensão (particulados) dos gases de chaminé seja de apenas 85%.
- Que fração da corrente de gases de chaminé precisaria ser ignorada?
 - Em sua opinião, o que o engenheiro quer dizer com “muito bom”? Explique seus processos conceituais. É possível que qualquer dispositivo de controle da poluição seja em algum momento “bom demais”? Em caso afirmativo, em que circunstâncias? Escreva um texto de uma página intitulado “É possível que o controle da poluição seja algum dia eficiente demais?”. Use exemplos para defender o seu caso.

3.12 Dois fabricantes de classificadores de ar relatam o seguinte desempenho para as suas unidades:

- Fabricante A: Recuperação de orgânicos = 80%
 Recuperação de inorgânicos = 80%
 Fabricante B: Recuperação de matérias orgânicas = 60%
 Pureza do extrato = 95%

Suponha que a alimentação seja composta de 80% de orgânicos. Qual é o melhor classificador? *Observação:* o classificador de ar deve separar as matérias orgânicas das inorgânicas.

3.13 Uma estação de tratamento de água compacta é composta de filtração e sedimentação, ambos os processos são designados para a remoção de sólidos, mas sólidos de diferentes dimensões. Suponha que a remoção de sólidos de dois processos seja a seguinte:

	Pequenos sólidos	Grandes sólidos
Filtro	90%	98%
Tanque de sedimentação	15%	75%

Se os dois tipos de sólidos forem cada um de 50%, em peso, será melhor colocar o filtro antes do tanque de sedimentação na linha de tratamento? Por quê?

3.14 Um ciclone utilizado para remover cinzas em suspensão de uma chaminé numa usina elétrica movida a carvão tem as seguintes recuperações de particulados de várias dimensões:

Tamanho (μm)	Fração do total, por peso	Recuperação
0-5	0,60	5
5-10	0,18	45
10-50	0,12	82
50-100	0,10	97

Qual é a recuperação geral dos particulados de cinzas em suspensão?

3.15 No controle da chuva ácida, as emissões de enxofre da usina termoeletrica podem ser controladas por captura e pulverização dos gases de chaminé com uma pasta de cal, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. O cálcio reage com o dióxido de enxofre para formar sulfato de cálcio, CaSO_4 , um pó branco suspenso na água. O volume dessa pasta é bastante grande, por isso tem de ser espessado. Suponha que uma usina termoeletrica produz 27 mil toneladas métricas de CaSO_4 por dia, e que este esteja em suspensão em 108 toneladas métricas de água. A intenção é espessar esse volume para uma concentração de sólidos de 40%.

- Qual é a concentração de sólidos da pasta de CaSO_4 quando é produzida na etapa de captura?
- Que quantidade de água (toneladas/dia) será produzida como efluente na operação de espessamento?
- Problemas de chuva ácida podem ser reduzidos por meio da redução das emissões de SO_2 na atmosfera. Isso pode ocorrer por meio do controle da poluição, como a captura da pasta de cal, ou pela redução da quantidade de eletricidade produzida e utilizada. Que responsabilidade têm os indivíduos, caso tenham alguma, de não desperdiçar eletricidade? Apresente argumentos para os dois lados da questão, em uma redação de duas páginas.

3.16 Um rio, (Figura 3.24) com vazão de 3 mgd e concentração de sólidos suspensos de 20 mg/L recebe águas residuárias de três fontes distintas:

Fonte	Quantidade (mgd)	Concentração de sólidos (mg/L)
A	2	200
B	6	50
C	1	200

Qual é a vazão e concentração de sólidos suspensos a jusante no ponto de amostragem?

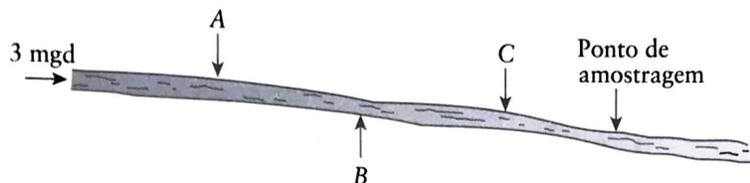


Figura 3.24 Vazão recebendo três descargas. Ver Problema 3.16.

- 3.17 Uma vazão industrial de 12 L/min tem uma concentração de sólidos 80 mg/L. Um processo de remoção de sólidos extrai 960 mg/min de sólidos, sem afetar a vazão de líquido. Qual é a recuperação (em porcentagem)?
- 3.18 Um fabricante de espetos de carne produz uma vazão de águas residuárias de 2.000 m³/dia contendo 120.000 mg/L de sal. Ele está descarregando em um rio com uma vazão de 34.000 m³/dia e concentração de 50 mg/L de sal. A agência reguladora informou à empresa que esta deve manter um nível de sal que não seja superior a 250 mg/L a jusante da descarga.
- Que recuperação de sal deve ser realizada na fábrica antes que o resíduo seja descarregado?
 - Como utilizar o sal recuperado? Apresente sugestões.
- 3.19 Uma comunidade tem um problema de poluição atmosférica persistente, denominado inversão (que será abordado no Capítulo 11), que cria uma altura de mistura de apenas cerca de 500 m acima da comunidade. A área da cidade é de cerca de 9 km por 12 km. Uma emissão constante de particulados de 70 kg/m² entra na atmosfera diariamente.
- Se não houver vento durante um dia (24 horas) e se os poluentes não forem removidos de forma alguma, qual será o nível de concentração *mais baixo* de partículas no ar acima da cidade, no final desse período?
 - Se uma das principais fontes de particulados for fogões a lenha e lareiras, o governo poderá proibir a utilização destes? Justifique.
 - Até que ponto o governo deve restringir nosso estilo de vida por causa dos controles de poluição? Por que o governo parece estar fazendo isso agora mais do que alguns anos atrás? Aonde você acha que isso tudo nos levou e por que está acontecendo? Existe alguma coisa que possamos fazer a respeito? Responda a essas perguntas na forma de uma redação com no máximo uma página.
- 3.20 A Figura 3.25 mostra um diagrama de matéria orgânica num ecossistema florestal, no estado americano do Tennessee.
- Nessa figura, os números indicados nos quadrados representam gramas por metro quadrado de solo da floresta, e todas as transferências referem-se a gramas por metro quadrado por ano. Esse sistema não está em equilíbrio. Calcule a mudança (g/m²/ano) em folhas, ramos, caule, raízes grandes e raízes finas; R é a perda por apodrecimento.
- 3.21 A estação de tratamento de água de Wrightsville Beach, na Carolina do Norte, produz uma água destilada de salinidade zero. Para reduzir o custo do tratamento da água e do abastecimento, a cidade mistura essa água dessalinizada com águas subterrâneas não tratadas, que têm uma salinidade de 500 mg/L. Se a salinidade da água potável pretendida não pode ser superior a 200 mg/L, qual é a quantidade necessária de cada água – destilada e não tratada – para produzir uma vazão de água final de 100 milhões de galões por dia?
- 3.22 Há a expectativa de que um ciclone utilizado para controlar as emissões de um fabricante de móveis seja 80% eficiente (80% de recuperação). O funil de alimentação abaixo do ciclone detém 1 tonelada de pó de madeira. Se a vazão de ar para o ciclone detém 1,2 tonelada por dia de pó de madeira, quantas vezes esse funil deve ser esvaziado?
- 3.23 Uma indústria levou uma multa pesada da Agência de Proteção Ambiental (EPA) americana porque poluiu um córrego com uma substância denominada “pegajosa”. Atualmente, está descarregando 200 litros por minuto (L/min) de efluente em uma concentração pegajosa de 100 mg/L. A vazão que flui pela indústria, na qual o efluente está sendo descarregado, tem uma taxa de vazão de montante de 3.800 L/min e não contém a substância pegajosa. A EPA comunicou à indústria que deve reduzir sua concentração pegajosa no efluente para

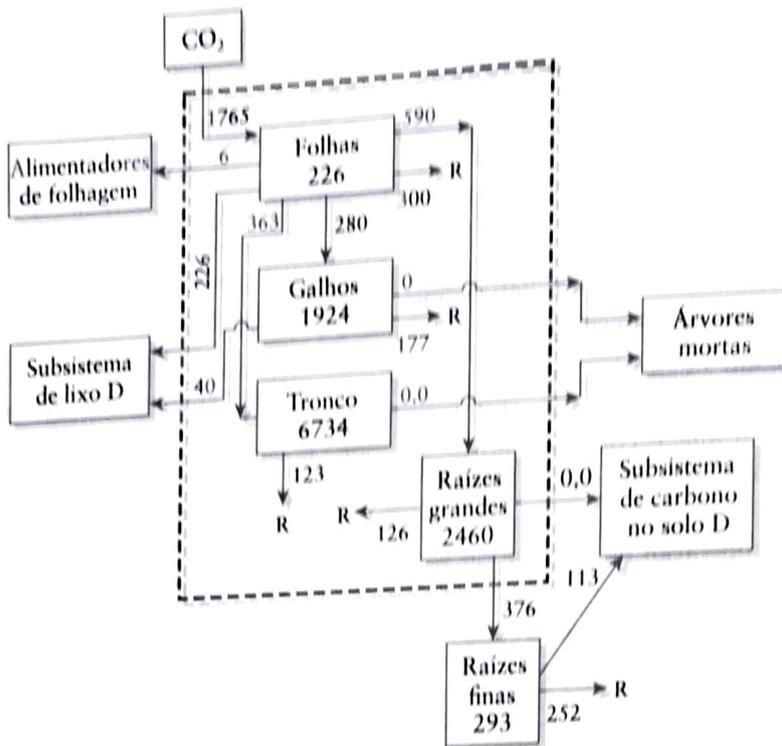


Figura 3.25 Ecossistema florestal. Ver Problema 3.20.

menos de 20 mg/L. O engenheiro da indústria decide que a forma mais barata de cumprir a exigência da EPA é desviar parte da corrente para a indústria e diluir o efluente, de forma a diminuir a concentração pegajosa ao nível exigido.

- Qual é a atual concentração pegajosa a jusante da descarga feita pela indústria?
- Qual é a quantidade de água na corrente de que o engenheiro da indústria precisaria para alcançar a concentração pegajosa exigida no efluente da indústria?
- Qual será a concentração pegajosa na corrente a jusante da indústria se o esquema do engenheiro da indústria for colocado em operação?

3.24 Uma indústria de processamento de minérios com capacidade de 1.000 toneladas/dia processa um minério que contém 20% de mineral. A fábrica recupera 100 toneladas/dia do mineral. Esta não é uma operação muito eficaz, e parte do mineral ainda se encontra nos resíduos do minério (os rejeitos). Esses rejeitos são enviados para uma fábrica de processamento secundária, que é capaz de recuperar 50% do mineral nos rejeitos. Os minerais recuperados da fábrica de recuperação secundária são enviados para a fábrica principal, onde são combinados com os outros minerais recuperados, e, então, todos são remetidos aos usuários.

- Qual é a quantidade de minerais enviada para o usuário?
- Qual é o total de rejeitos a ser descartado?
- Qual é a quantidade de minerais eliminada nos rejeitos?

3.25 Uma fundição de alumínio emite particulados que devem ser controlados, a princípio, por um ciclone e, em seguida, por um filtro de mangas. Trata-se de dois dispositivos de remoção de particulados, descritos na íntegra no Capítulo 12. Por enquanto, você pode considerá-los como caixas-pretas que removem particulados (partículas sólidas suspensas no ar). Esses particulados podem ser descritos por seu tamanho, medido de acordo com seu diâmetro em micrômetros (μm). A eficácia do ciclone e do filtro de mangas é demonstrada a seguir:

Tamanho do particulado (micrômetros)	0-10	10-20	20-40	>40
Porcentagem por peso de cada tamanho	15	30	40	15
Porcentagem da recuperação do ciclone para cada tamanho de particulados	20	50	85	95
Porcentagem da recuperação do filtro de mangas para cada tamanho de particulados	90	92	95	100