

OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE TORRES DE RESFRIAMENTO

Kellen Roberta de Souza⁽¹⁾

Engenheira Química pela UNIMEP, Especialista em Gestão Ambiental pela UFSCar, Mestre em Engenharia e Tecnologia Ambiental pela Universidad León. Atua como Supervisora de HSEQ na Eka Chemicals do Brasil S.A (grupo Akzo Nobel).

Endereço⁽¹⁾: Rua Itália Burato, n° 220, Barão Geraldo, Campinas/São Paulo, CEP 13.082-680. Fone: (xx) 9217-1013e-mail: kellensouza@yahoo.com.br.

RESUMO

Na maioria dos processos produtivos, há necessidade de remover carga térmica de um dado sistema e para isto usa-se, na maior parte dos casos, água como o fluido de resfriamento. Devido à sua crescente escassez e preocupação com o meio ambiente, além de motivos econômicos, a água "quente" que sai desses trocadores de calor deve ser reaproveitada. Para tanto, ela passa por outro equipamento que a resfria, em geral uma torre chamada torre de resfriamento evaporativo, e retorna ao circuito do processo.

O objetivo do trabalho foi elaborar um modelo matemático, apoiado nos princípios da programação linear, que permita otimizar a operação de sistemas de resfriamento, levando em consideração às variáveis e restrições impostas, buscando redução no custo da operação.

As condições de operação de uma torre de resfriamento, instalada em um indústria química localizada na cidade de Jundiaí foram avaliadas. Foram levantados os dados de volumes de *make up*, purga de desconcentração, evaporação e arraste. Para a avaliação econômica o modelo considerou valores aleatórios para o custo de captação e tratamento das águas de *make up* bem como o custo para tratamento e envio do efluente da purga de desconcentração para destinação final.

O modelo deve ser usado como uma ferramenta dinâmica, sendo necessária sua constante atualização com os dados de qualidade e disponibilidade das águas, custos envolvidos, limites máximos permissivos para os contaminantes presentes na água.

PALAVRAS-CHAVE: programação linear, torre de resfriamento, otimização, redução de custo, geração de efluentes.

INTRODUÇÃO

A água é de fundamental importância para as indústrias e atualmente é bastante evidente a indisponibilidade do recurso hídrico tanto em quantidade como em qualidade.

A água comumente chamada de "industrial" é utilizada em diversas etapas industriais e deve ser mantida normalmente à temperatura de 30°C a 35°C. Durante os processos a água absorve o calor dos processos, necessitando, portanto ser resfriada para que seu ciclo continue. A opção mais comum para a dissipação deste calor são as torres de resfriamento, nas quais a água aquecida cai por gravidade dentro de um enchimento que assegura uma alta área de contato com o ar ambiente soprado em contracorrente por um ventilador. Estes sistemas têm a vantagem da troca térmica eficiente devido ao contato direto com o ar ambiente que evapora parte da água, que resulta em baixo investimento inicial. Todavia, a água pode ficar contaminada com partículas em suspensão no ar e por algas e bactérias que proliferam na água morna aerada. Como decorrência, as torres de resfriamento exigem tratamento químico constante e a drenagem periódica da água (purga) para evitar a concentração dos sais – motivada pela evaporação da água - que formam incrustações nos trocadores de calor dos equipamentos resfriados. Desta forma as perdas de água por evaporação e a purga, adicionadas a perdas pelo arraste de gotículas pelo fluxo de ar do ventilador e pelos usuais vazamentos na bacia da torre, podem atingir 4% da vazão da água recirculada. É evidente que o alto custo da reposição de água e a necessidade de tratamento da água drenada aliado às paradas frequentes para a limpeza de incrustações nos trocadores de calor representam uma limitação econômica e ambiental importante.

Neste contexto os conceitos da Programação Linear podem auxiliar na criação de modelos matemáticos que visam a otimização da operação das torres de resfriamento. O modelo busca integrar as principais variáveis que envolvem custos (tratamento da água de make up e tratamento/disposição do efluente da drenagem periódica), qualidade da água (avaliação dos contaminantes em comparação às recomendações) e as quantidades disponíveis (observando o cumprimento das outorgas do direito de uso da água).

TEXTO

PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO

Em problemas reais de otimização busca-se maximizar ou minimizar uma quantidade específica, chamada objetivo, que depende de um número finito de variáveis de entrada.

As variáveis de entrada podem ser independentes umas das outras ou relacionadas uma com as outras por meio de uma ou mais restrições

PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

Um problema de programação matemática é um problema de otimização no qual o objetivo e as restrições são expressos como funções matemáticas e relações funcionais

$$\text{Otimizar : } z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \text{Equação (1)}$$

$$\text{Sujeito a : } \left. \begin{array}{l} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ g_n(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \leq b_1 \\ = b_2 \\ \vdots \\ \geq b_n \end{array} \quad \text{Equação (2)}$$

VARIÁVEIS DE DECISÃO

x_1, x_2, \dots, x_n , são as chamadas Variáveis de Decisão.

As variáveis de decisão são aqueles valores que representam a resposta do problema, e que podemos escolher (decidir) livremente.

PROGRAMAÇÃO LINEAR

Um problema de programação matemática é linear se a função objetivo e cada uma das funções que representam as restrições forem lineares, isto é, na forma abaixo:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \text{Equação (3)}$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad \text{Equação (4)}$$

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \quad \text{Equação (5)}$$

A SOLUÇÃO ÓTIMA

A Solução Ótima é uma solução viável especial. Dentre todas as soluções viáveis, aquela(s) que produz(em) o valor da função objetivo otimizado é chamada de ótima.

A grande questão é como determinar a solução ótima.

O objetivo da PL é determinar entre as soluções factíveis de um problema de otimização, uma que seja a “melhor”, medida pelo valor da função objetivo do modelo. Por "melhor" entende-se o maior ou menor valor, dependendo se o objetivo é maximizar ou minimizar.

A função a maximizar/minimizar denomina-se *função objetivo* (FO)

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad \text{Equação (6)}$$

As equações (inequações) denominam-se *restrições*.

As desigualdades denominam-se *condições de não negatividade*.

As variáveis denominam-se *variáveis de decisão*.

SISTEMA DE RESFRIAMENTO

Foram avaliadas as condições de operação de um sistema de resfriamento em uma indústria química, situada na região de Jundiá.

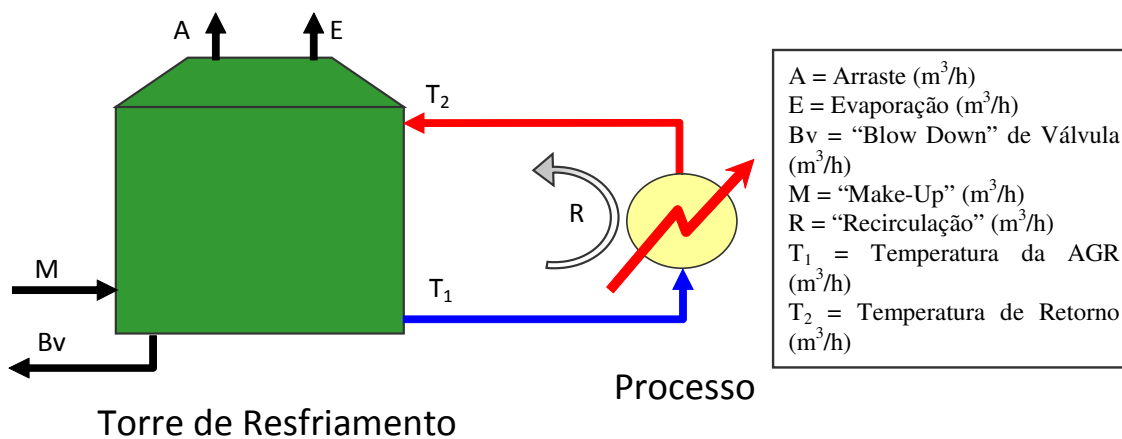


Figura 1: Esquema de uma torre de resfriamento

O QUE PRECISA SER OTIMIZADO?

Função Objetivo: MINIMIZAR O CUSTO DE OPERAÇÃO DA TORRE

O que compõe este custo (macro)?

Custo de captação + tratamento da água

a) Opções de captação x custo

a1 – afluente do Rio Jundiá (após tratamento - ETA)

a2 – Rejeito do sistema de osmose reversa (reuso)

a3 – Poço profundo

b) Custo de captação + tratamento da água*

Foram baseados nos valores de cobrança pelo uso da água e custos envolvidos no tratamento prévio (quando necessário) para que o recurso seja empregado como água de make up.

*Os valores são variáveis, podendo ser modificados para cada situação que se deseja simular.

c) Custo de envio de efluente para tratamento – descargas de desconcentração*

Para o modelo foi aplicado o valor médio mensal informado pela referida indústria.

*O valor é uma variável, podendo ser modificados para cada situação que se deseja simular.

QUAIS SÃO AS RESTRIÇÕES:

- Qualidade da água de make up (limites máximos permissíveis para tratamento)
- Limites estabelecidos pela empresa responsável pela manutenção da operação do sistema de resfriamento na referida indústria química. Estes limites buscam manter a qualidade da água no sistema de resfriamento evitando problemas de inscrustração e corrosão nos materiais do circuito.
- Disponibilidade do recurso natural em cada fonte (Outorga) - Os volumes disponíveis considerados no modelo são as vazões máximas concedidas em outorga.

MONTAGEM DO PROBLEMA

Função Objetivo: Minimizar custo de operação

$$FO = V1.C1 + V2.C2 + V3.C3 + X4.C4$$

Variáveis

X1: proporção de utilização de água ETA

X2: proporção de utilização de água Poço

X3: proporção de utilização de água Rejeito

X4: volume do dreno

Auxiliares / Restrições

$$X1 + X2 + X3 = 1$$

$X1 \leq$ Disponibilidade água ETA; $X2 \leq$ Disponibilidade água poço; $X3 \leq$ Disponibilidade água rejeito

Make up = Dreno + Evaporação + Arraste, ou seja, $M = Bv + E + A$

$X1.M + X2.M + X3.M = M$, ou seja, $V1 + V2 + V3 = M$ (onde V = volume)

Ciclo de Concentração (Cc) = S_i referencia / S_i real

Dreno (Bv) = $E / (Cc - 1)$, portanto $X4 = E / (Cc - 1)$

Evaporação (E) e Arraste são valores fixos pré-determinados

Restrições de Qualidade: $\sum X.Cc \leq$ Valor máximo permitido

C1, C2, C3, C4 → Custos de cada fonte

RESULTADOS OBTIDOS

A Figura 2 apresenta o resultado da simulação nas condições estabelecidas.

OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE TORRE DE RESFRIAMENTO									
Legenda:		FO			Cálculo				
		Variáveis			Definir valor				
Função Objetivo:		Minimizar custo (make up + dreno)							
R\$	88,47	por m3							
Variáveis:		X1: make up (ETA), X2: make up (Poço), X3: make up (Rejeito), X4: dreno							
make up (proporções)				m3/h	Volumes make up (m3)				
ETA	Poço	Rejeito	Dreno	ETA	Poço	Rejeito	soma		
0,98	0,01	0,01	2,7	40,0	0,4	0,3	40,7		
1,00				soma	40	20	5	Disponibilidade	
Custos Envolvidos:									
make up									
ETA	Poço	Rejeito	Dreno						
R\$ 2,00	R\$ 1,00	R\$ -	R\$ 3,00						
Dados de Processo:									
Ciclo de Concentração:		14,0		Si					
Evaporação:		35,0		m3/h					
Arraste:		3,0		m3/h					
Dreno:		2,7		m3/h					
Make up (total):		40,7		m3/h					
Restrições de Qualidade:									
		Opções de Aguas*			Valores de referência		Valores reais**		
Parâmetro	Unidade	ETA	Poço 2	Rejeito OR					
Turbidez	NTU	1	2	1	30		14		
pH	s/u	7,2	7,8	7,6	8,0		7,2		
Condutividade	ms/cm	200	1100	600	4500		2969		
Sílica	ppm	10	30	82	150		11		
Alc-T (CaCO3)	ppm	25	90	170	100		27		
Dureza-CaCO3	ppm	25	250	158	420		395		
Cloreto	ppm	20	130	63	300		300		
Ferro-T	ppm	0,2	0,2	0,1	4		3		
Sulfato	ppm	20	40	12	600		282		
DQO-Mn	ppm	2	3	11	20		2		
Alumínio	ppm	0,05	0,1	0,05	1,5		0,7		

* Análises químicas realizadas em laboratório de controle de qualidade (Referência: Dezembro de 2009)

** Considerando-se que todos os parâmetros, exceto pH, alcalinidade e DQO, se concentram proporcionalmente ao ciclo adotado

Figura 2: Resultado da simulação do modelo para otimização da operação do sistema de resfriamento

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com a simulação realizada, o modelo buscou reduzir as descargas de concentração (purgas do sistema), uma vez que este efluente apresenta custo elevado. Para diminuir este volume, foi necessário um aumento no ciclo de concentração (que neste modelo foi limitado pela concentração de sílica).

Embora a água do rejeito do sistema de osmose reversa apresente o menor custo, pois é água de reuso, a mesma teve sua proporção limitada em função da alta concentração dos contaminantes. O mesmo se aplicou à água do poço profundo.

Sendo assim, a maior proporção indicada foi a da água tratada na estação local, captada em um afluente (córrego CAIC) do Rio Jundiá.

A simulação pode ser feita alternando-se diversas variáveis, como: custo do tratamento e captação, volume necessário, parâmetro de qualidade das águas, limites máximos permitidos para cada sistema, além de dados do projeto e operação da torre de resfriamento, tais como volume de arraste e evaporação. Este modelo apresenta-se, portanto como uma ferramenta simples, mas eficaz para otimização da operação destes sistemas, visando a melhor gestão do recurso hídrico empregado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Souza, K. R., 2009. “Otimização da operação da torre de resfriamento da Eka Chemicals do Brasil S.A”, Seminário da disciplina IC 724 Otimização de Sistemas Hidráulicos – UNICAMP (Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo).
2. Cortinovis, G. F.; Song, T. W., 2006. “Funcionamento de uma torre de resfriamento de água”, Revista de Graduação da Engenharia Química, Sao Paulo, SP, v.6, n.14, p.5-10.
3. Hillier & Lieberman, McGraw Hill. “Introdução à Pesquisa Operacional” - 8º edição