USIZIMA — TECHNICAL INSIGHTS #001

001 / 2026 • V02

INDUSTRIAL EVAPORATION

# Venting em evaporadores de múltiplos efeitos

Impactos na capacidade e na eficiência energética

**Alexandre Usizima**

Independent Engineering Consultant

www.usizima.com

# 1. Introdução

O desempenho de um evaporador de múltiplos efeitos depende de diversos fatores relacionados ao dimensionamento térmico, à configuração do processo e às condições operacionais da instalação.

Entre esses fatores, o sistema de venting, responsável pela remoção dos gases não condensáveis, nem sempre recebe a devida atenção durante o projeto, a operação e a manutenção do equipamento.

Embora seja constituído, em muitos casos, por tubulações de pequeno diâmetro e simples discos de orifício, um sistema de venting inadequadamente dimensionado pode comprometer significativamente a capacidade de evaporação e a eficiência energética da instalação.

# 2. Origem dos gases não condensáveis

Os gases não condensáveis presentes em um evaporador industrial possuem três fontes principais:

- Gases presentes no vapor de aquecimento;
- Gases dissolvidos ou incorporados ao produto processado;
- Entrada de ar falso na instalação.

Na experiência prática do autor, a entrada de ar falso constitui frequentemente a principal fonte de gases não condensáveis, particularmente em equipamentos antigos ou com manutenção deficiente.

Portas de visita, juntas de vedação, conexões flangeadas e selos mecânicos de bombas centrífugas constituem potenciais pontos de entrada de ar nas regiões submetidas ao vácuo.

Com o envelhecimento da instalação e a deterioração dos elementos de vedação, a entrada de ar falso tende a aumentar, especialmente quando não existe uma política adequada de manutenção preventiva.

# 3. Influência dos gases não condensáveis na transferência de calor

A presença de gases não condensáveis no lado do vapor compromete a transferência de calor por diferentes mecanismos.

Além de reduzir a pressão parcial do vapor e, consequentemente, sua temperatura de saturação para uma determinada pressão total, esses gases introduzem uma resistência adicional ao transporte de vapor até as superfícies de condensação.

Em situações mais críticas, podem ocorrer acúmulos localizados de gases não condensáveis, formando bolsões que dificultam o acesso do vapor às superfícies de troca térmica.

Como consequência, parte da área de troca térmica instalada deixa de ser efetivamente aproveitada, comprometendo o desempenho do evaporador.

Pela lei de Dalton, a pressão total da mistura é a soma da pressão parcial do vapor e da pressão parcial dos gases não condensáveis (GNC) [3] [5].

$$P_{total} = P_{vapor} + P_{GNC}$$

A taxa de transferência de calor pode ser expressa por [4]:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Nessa expressão, Q é a taxa de transferência de calor, U é o coeficiente global, A é a área de troca e ΔT é a diferença de temperatura representativa. A redução da temperatura de saturação diminui ΔT, enquanto a resistência adicional ao transporte de vapor reduz o coeficiente global efetivo [1] [3].

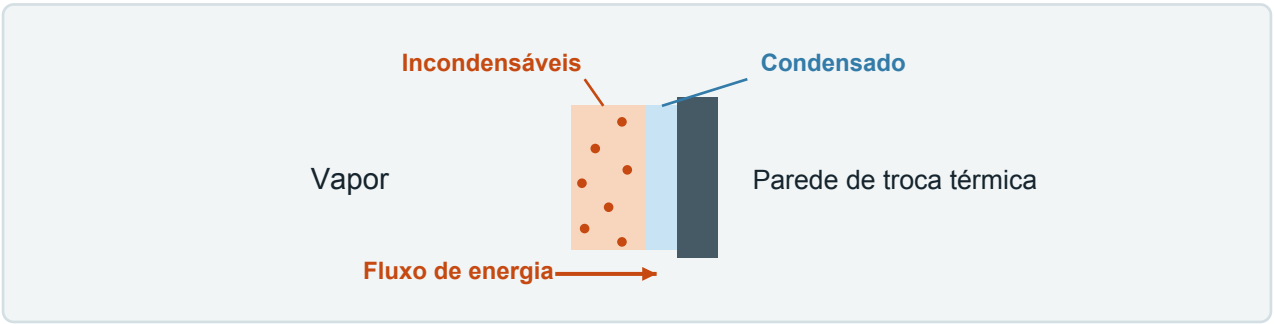



**Figura 1 — Efeito dos gases não condensáveis.** Os gases se acumulam junto à superfície de condensação e introduzem resistência adicional à transferência de calor e massa.

# 4. Venting insuficiente versus venting excessivo

Idealmente, um sistema de venting deveria remover exclusivamente os gases não condensáveis, sem qualquer perda de vapor.

Na prática, entretanto, essa condição é extremamente difícil de atingir.

Busca-se, portanto, estabelecer uma vazão de venting suficiente para assegurar a remoção dos gases não condensáveis, admitindo uma pequena e controlada perda de vapor.

### Venting insuficiente

Uma vazão insuficiente favorece o acúmulo de gases não condensáveis no interior dos equipamentos, comprometendo a transferência de calor e o aproveitamento da área instalada.

Essa condição pode resultar em redução da capacidade de evaporação e alterações no perfil térmico da instalação.

### Venting excessivo

Uma vazão excessiva, por outro lado, provoca perdas desnecessárias de vapor e penaliza energeticamente a instalação em duas extremidades:

- Na entrada, pelo desperdício de vapor que deveria contribuir para a evaporação do produto;
- Na saída, pelo aumento da carga térmica no condensador e no sistema de água de resfriamento.

Parte da energia fornecida ao evaporador acaba sendo transferida ao sistema de condensação sem contribuir efetivamente para a concentração do produto.

### O equilíbrio

O desafio consiste em estabelecer uma vazão de venting que assegure a remoção dos gases não condensáveis, minimizando simultaneamente as perdas de vapor.

Do ponto de vista prático, é preferível admitir uma pequena perda adicional de vapor a comprometer o desempenho térmico do equipamento pela permanência de gases não condensáveis.

É justamente na determinação dessa vazão que reside um dos desafios do dimensionamento do sistema de venting.

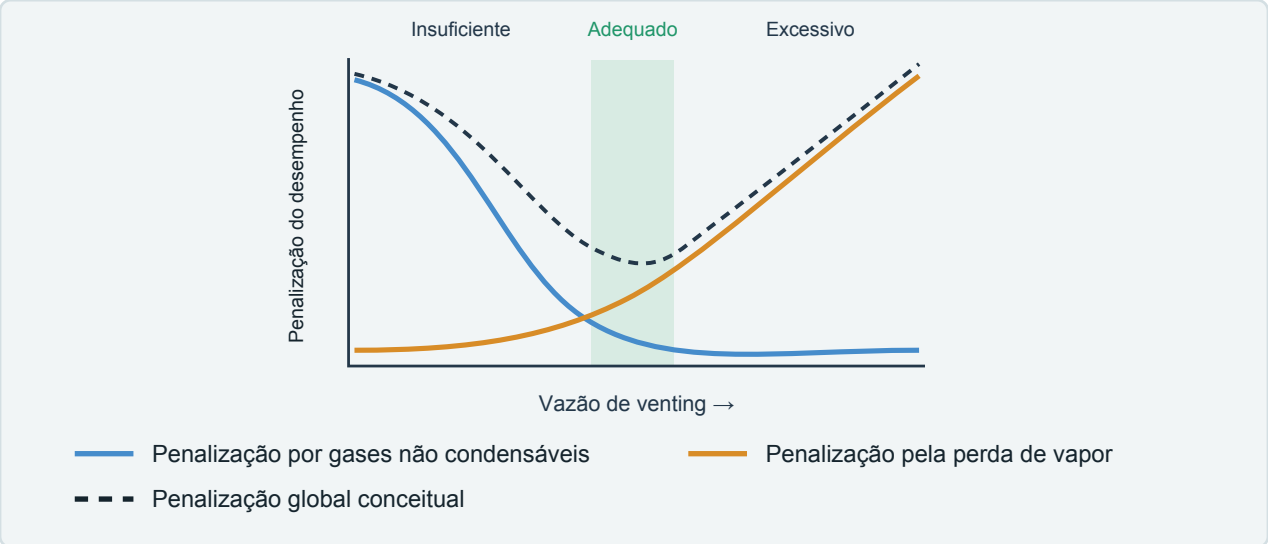



**Figura 2 — Equilíbrio da vazão de venting.** Gráfico qualitativo, sem escala numérica ou dados experimentais.

# 5. Configuração do sistema de venting

Todos os equipamentos de uma instalação de evaporação que utilizam vapor como fonte de energia por condensação devem possuir meios adequados para a remoção dos gases não condensáveis.

Isso inclui calandrias tubulares, evaporadores a placas, pasteurizadores e pré-aquecedores.

Duas configurações podem ser consideradas para o encaminhamento dos gases não condensáveis.

### Sistema em cascata

No sistema em cascata, os gases extraídos de um efeito são encaminhados ao efeito seguinte, sucessivamente, até atingirem o sistema de condensação.

Essa configuração permite o aproveitamento de parte do vapor presente no fluxo de venting, mas apresenta a desvantagem de transferir os gases não condensáveis entre os efeitos.

### Sistema com coletor comum

Uma configuração preferida pelo autor consiste na extração independente dos gases não condensáveis de cada equipamento, encaminhando-os diretamente ao sistema de condensação por meio de um coletor comum.

Essa configuração evita a transferência sucessiva dos gases não condensáveis entre os corpos de evaporação, desde que adequadamente dimensionada e operada.

Cada ponto de extração possui seu próprio elemento de restrição de vazão, dimensionado de acordo com as condições operacionais do respectivo equipamento.

A escolha entre as configurações deve considerar as características da instalação e o balanço entre desempenho térmico, recuperação energética e eficiência da remoção dos gases não condensáveis.

No *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, Standiford descreve o uso da cascata para aproveitar parte do vapor de venting no efeito seguinte e indica o envio direto ao condensador para instalações com carga elevada de incondensáveis [1]. Minton recomenda encaminhar o venting de evaporadores de múltiplos efeitos diretamente ao condensador e, como orientação geral, evitar a transferência entre efeitos [2].

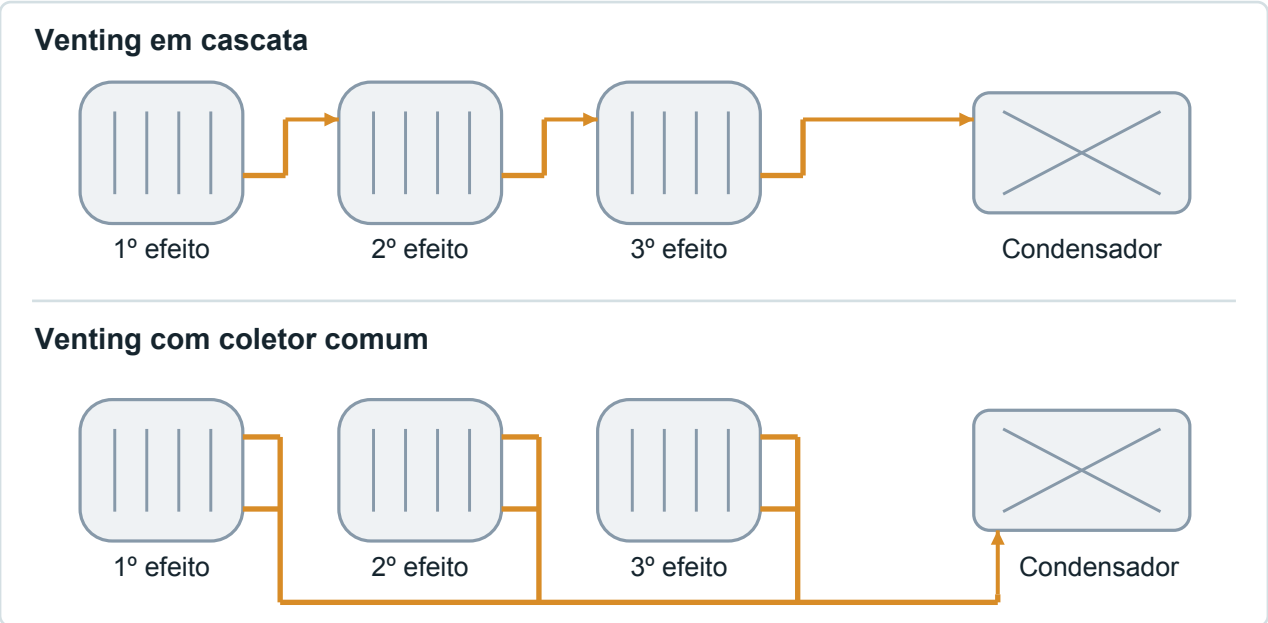



**Figura 3 — Comparação entre configurações.** A figura representa apenas as linhas de venting. As linhas principais de vapor, produto e condensado foram omitidas.

# 6. Localização dos pontos de extração

A localização dos pontos de extração é um aspecto importante do projeto.

Embora o ar apresente densidade superior à do vapor de água nas mesmas condições de pressão e temperatura, a distribuição dos gases no interior de uma calandria não é determinada exclusivamente pela diferença de densidade.

A geometria do equipamento, a direção do fluxo de vapor, os fenômenos de condensação e a existência de regiões de estagnação também influenciam essa distribuição.

Como recomendação geral, em calandrias tubulares, considera-se vantajosa a instalação de pontos de extração nas regiões superior e inferior do corpo.

Entretanto, a configuração deve respeitar as características construtivas de cada equipamento. O percurso do vapor e a posição das regiões de acúmulo devem orientar a seleção dos pontos de extração [2] [3].

# 7. Dimensionamento dos discos de orifício

Em muitas instalações industriais, a vazão de venting é determinada por discos de orifício instalados nas tubulações de extração.

O dimensionamento inicial pode ser realizado a partir da estimativa da vazão de vapor de aquecimento de cada equipamento, adotando-se uma determinada fração dessa vazão como referência para o venting.

O percentual adotado depende das características da instalação, das condições de processo e da experiência do profissional responsável pelo dimensionamento.

A partir da vazão estimada e das condições de pressão e temperatura a montante e a jusante, determina-se o diâmetro do orifício, considerando as características compressíveis do escoamento.

O dimensionamento inicial deve ser posteriormente validado mediante a avaliação do desempenho operacional do evaporador.

# 8. Diagnóstico de problemas em instalações existentes

Na prática industrial, raramente uma intervenção técnica é solicitada especificamente para avaliar o sistema de venting.

Normalmente, os problemas relatados são:

- Capacidade de evaporação inferior à nominal;
- Dificuldade em atingir a concentração desejada;
- Dificuldade em estabelecer ou manter o vácuo;
- Temperaturas de operação superiores às previstas;
- Perfil inadequado de temperaturas entre os efeitos.

A identificação de uma deficiência no sistema de venting frequentemente ocorre por exclusão, após uma avaliação sistemática das demais condições operacionais.

O primeiro passo consiste em recuperar as condições originais de dimensionamento do equipamento.

Como exemplo, considere um evaporador de leite projetado para as seguintes condições:

| Parâmetro | Condição de projeto |
|---|---|
| Vazão de alimentação | 10.000 kg/h |
| Teor de sólidos na alimentação | 12% |
| Teor de sólidos no concentrado | 50% |
| Vazão de concentrado | 2.400 kg/h |
| Capacidade de evaporação | 7.600 kg/h |
| Temperatura no casco do primeiro efeito | 76 °C |
| Temperatura no separador do último efeito | 49 °C |

Uma vez estabelecidas essas condições de referência, avalia-se o desempenho real do equipamento.

Devem ser verificadas, entre outras variáveis, as condições de fornecimento de vapor, a disponibilidade de água de resfriamento e as condições de limpeza do condensador.

Quando as demais causas potenciais são investigadas e os problemas persistem, torna-se necessário avaliar o sistema de venting.

Uma situação particularmente crítica, encontrada na indústria, é a ausência dos discos de orifício.

Durante intervenções de manutenção ou modificações na instalação, esses componentes podem ser removidos e não reinstalados.

Como sua presença normalmente não pode ser confirmada por uma inspeção visual externa, o evaporador pode permanecer operando durante anos nessa condição, com perdas significativas de eficiência energética.

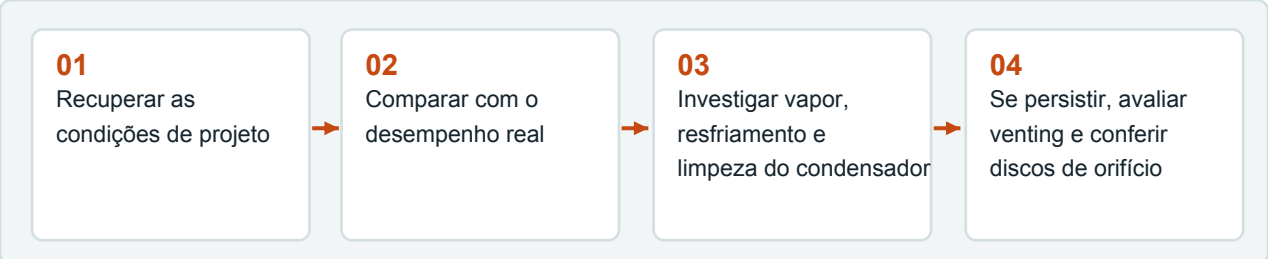



**Figura 4 — Metodologia de diagnóstico.** Sequência baseada na experiência de campo do autor. A investigação do venting sucede a avaliação das demais causas potenciais.

# 9. Validação do dimensionamento em campo

A validação do dimensionamento do sistema de venting pode ser realizada indiretamente, por meio da avaliação do desempenho global do evaporador.

Após a instalação dos discos de orifício dimensionados, o equipamento retorna à operação e suas condições de funcionamento são novamente avaliadas.

O restabelecimento das condições originais de projeto constitui um importante indicador da adequação do sistema.

Sempre que possível, essa avaliação deve ser complementada pela análise do consumo específico de vapor e da carga térmica do sistema de condensação.

$$CE_v = \dot{m}_{\text{vapor vivo}} / \dot{m}_{\text{água evaporada}}$$

O consumo específico de vapor é expresso em kg de vapor vivo por kg de água evaporada.

$$Q_{cond} = \dot{m}_{água} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$Q_{cond}$ é a taxa de calor absorvida pela água de resfriamento, $\dot{m}_{água}$ é sua vazão mássica, $C_p$ é seu calor específico médio e $\Delta T$ é a elevação de temperatura da água entre a entrada e a saída do condensador. Com vazão em kg/s e $C_p$ em kJ/(kg·K), o resultado é dado em kW.

A recuperação da capacidade nominal, isoladamente, não assegura que a instalação esteja operando com a melhor eficiência energética possível.

Entretanto, a busca de uma condição de perda mínima absoluta de vapor nem sempre é tecnicamente ou economicamente justificável.

Uma pequena perda controlada de vapor deve ser admitida como parte do funcionamento adequado do sistema de venting.

# 10. Estanqueidade, inspeção e manutenção

Diante do aumento da entrada de ar falso, a prioridade deve ser sempre a recuperação da estanqueidade da instalação.

O redimensionamento do sistema de venting não deve ser utilizado como solução para compensar deficiências de manutenção.

Uma vez corretamente dimensionado e validado, o sistema não deveria necessitar de recalibração enquanto forem preservadas as condições de processo e as características da instalação.

A inspeção periódica deve concentrar-se principalmente na verificação:

- Da presença dos discos de orifício;
- Da instalação nos pontos especificados;
- Da conformidade dos diâmetros;
- Da ausência de sujidades e obstruções;
- Da integridade das tubulações de venting.

Alterações significativas nas condições de processo ou na capacidade de produção podem, entretanto, justificar uma revisão do dimensionamento original.

Na manutenção preventiva, a inspeção periódica confirma a conformidade dos componentes. Qualquer revisão do dimensionamento motivada pelo aumento da entrada de ar falso deve ser precedida pela recuperação da estanqueidade.

# 11. Identificação e documentação técnica

Uma deficiência frequentemente encontrada nas instalações industriais é a ausência de identificação dos elementos de restrição do sistema de venting.

Recomenda-se que todos os discos de orifício sejam identificados fisicamente por meio de tags, utilizando etiquetas resistentes às condições industriais e de fácil visualização em campo.

Essa identificação deve estar associada à documentação técnica da instalação.

Fluxogramas de processo atualizados e folhas de dados técnicos devem permitir a identificação dos componentes, sua localização e suas respectivas especificações.

A qualidade da documentação técnica constitui um requisito fundamental para a preservação das características originais do equipamento ao longo de sua vida útil.

# 12. Conclusão

Apesar de sua aparente simplicidade, o sistema de venting desempenha uma função fundamental na operação dos evaporadores de múltiplos efeitos.

Uma vazão insuficiente compromete a transferência de calor e a capacidade de evaporação. Uma vazão excessiva desperdiça vapor e aumenta a demanda energética do sistema de resfriamento.

O dimensionamento adequado, associado à preservação da estanqueidade, à inspeção preventiva e à documentação técnica, contribui diretamente para a manutenção do desempenho e da eficiência energética da instalação.

O sistema de venting deve ser dimensionado para atender às condições do processo, e não para compensar deficiências de manutenção.

Sua importância não deve ser avaliada pelo tamanho de suas tubulações ou pela simplicidade de seus componentes, mas pelo impacto que exerce sobre o desempenho global do evaporador.

**USIZIMA — EVAP & DRYING ENGINEERING**
Consultoria independente em Evaporação, Spray Dryer e Fluid Bed Technology.
www.usizima.com

# Referências bibliográficas

1. STANDIFORD, F. C. Evaporators — Vent Systems. In: PERRY, R. H. et al. (ed.). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7. ed. McGraw-Hill, 1997. Seção 11, p. 11-117. Consultar fonte.

2. MINTON, P. E. *Handbook of Evaporation Technology*. Noyes Publications, 1986. Cap. 13, "Venting", p. 133–139. ISBN 0-8155-1097-7. Consultar fonte.

3. SPIRAX SARCO. *Air Venting Theory*. Consultar fonte.

4. SPIRAX SARCO. *Heat Transfer*. Consultar fonte.

5. SPIRAX SARCO. *Steam Quality*. Consultar fonte.