

Apoio:



Realização:



Federação das Indústrias
do Estado de São Paulo



Confederação Nacional da Indústria

CNI. A FORÇA DO BRASIL INDÚSTRIA



O uso racional da água no setor industrial

Brasília, 2017

O USO RACIONAL DA ÁGUA NO SETOR INDUSTRIAL

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Robson Braga de Andrade

Presidente

Diretoria de Desenvolvimento Industrial

Carlos Eduardo Abijaodi

Diretor

Diretoria de Comunicação

Carlos Alberto Barreiros

Diretor

Diretoria de Educação e Tecnologia

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti

Diretor

Diretoria de Políticas e Estratégia

José Augusto Coelho Fernandes

Diretor

Diretoria de Relações Institucionais

Mônica Messenberg Guimarães

Diretora

Diretoria de Serviços Corporativos

Fernando Augusto Trivellato

Diretor

Diretoria Jurídica

Hélio José Ferreira Rocha

Diretor

Diretoria CNI/SP

Carlos Alberto Pires

Diretor

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – FIESP

Paulo Skaf

Presidente

Departamento de Meio Ambiente

Nelson Pereira dos Reis

Diretor Titular

Divisão de Gestão Empresarial Ambiental

Marlúcio de Souza Borges

Diretor Titular da Divisão

Divisão de Licenciamento Ambiental

João Carlos Basílio da Silva

Diretor Titular da Divisão

Divisão de Mudanças Climáticas

Marco Antonio Barbieri

Diretor Titular da Divisão

Divisão de Tecnologia Ambiental

Paulo Roberto Dallari Soares

Diretor Titular da Divisão

Divisão de Recursos Hídricos

Nelson Vieira Barreira

Diretor Titular da Divisão

Divisão de Resíduos Industriais

Raul Ardito Lerário

Diretor Titular da Divisão

Apoio:



Realização:



O USO RACIONAL DA ÁGUA NO SETOR INDUSTRIAL

BRASÍLIA
2017

© 2017. CNI – Confederação Nacional da Indústria.

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

CNI

Gerência Executiva de Meio Ambiente e Sustentabilidade – GEMAS

FICHA CATALOGRÁFICA

C748u

Confederação Nacional da Indústria.

O uso racional da água no setor industrial. / Confederação Nacional da Indústria, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. – 2. ed. -- Brasília : CNI, 2017.

236 p. : il.

ISBN: 978-85-7957-168-8

1. Governança da Água na Indústria. 2. Reuso da Água. I. Título.

CDU: 628.17

CNI

Confederação Nacional da Indústria

Sede

Setor Bancário Norte

Quadra 1 – Bloco C

Edifício Roberto Simonsen

70040-903 – Brasília – DF

Tel.: (61) 3317-9000

Fax: (61) 3317-9994

<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/>

Serviço de Atendimento ao Cliente – SAC

Tels.: (61) 3317-9989 / 3317-9992

sac@cni.org.br

Fiesp

Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

Av Paulista 1313

01311-923 São Paulo – SP

Tel: (11) 35494675

Fax: (11) 35494237

<http://fiesp.com.br>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática do processo de governança corporativo.	27
Figura 2. Evolução da gestão.	28
Figura 3. Modelo interativo de governança da água.	29
Figura 4. Esquema ilustrativo da entrada de água nos processos.	36
Figura 5. Indústria química nacional: resultado das medidas de gestão da demanda de água e a correspondente redução dos custos de tratamento.	55
Figura 6. Indústria química nacional: redução da emissão de efluentes entre 2001 e 2007 e a correspondente redução dos custos de tratamento.	56
Figura 7. Indústria química nacional: acréscimo da porcentagem de reúso de água entre 2001 e 2007.	56
Figura 8. Indústria química nacional: variação de água captada e consumida entre 2006 e 2013.	57
Figura 9. Principais usos da água numa fábrica.	60
Figura 10. Diagrama de decisão para estudo da viabilidade de um sistema de aproveitamento de águas pluviais.	96
Figura 11. Esquema de um Sistema de Coleta de Águas Pluviais.	99
Figura 12. Diagrama esquemático para a obtenção da carga de SDT incorporada em um sistema produtivo.	112
Figura 13. Diagrama esquemático para a obtenção da variação da concentração de SDT no efluente e na água de reúso, com o reúso de efluentes.	113
Figura 14 – Sistemas básicos de tratamento de esgotos, eficiências de remoção e respectivos custos de capital e de operação e manutenção.	118
Figura 15. Balanço da água.	128

Figura 16. Trocador de calor de dois passes com água pelos tubos.	131
Figura 17. Inter-relacionamento entre a corrosão, a deposição e o lodo microbiano.	142
Figura 18. Exemplo de padrões de qualidade da água para caldeiras.	144
Figura 19. Os depósitos nas lâminas da turbina reduzem a eficiência.	146
Figura 20. Efeito da pressão da caldeira e pH sobre a volatilidade da sílica.	147
Figura 21. Bacia de decantação horizontal.	152
Figura 22. Clarificador ascendente de manto de lodo.	154
Figura 23. Clarificador de contato de sólidos.	155
Figura 24. Conforme a resina se aproxima da exaustão, o nível de dureza aumenta rapidamente.	158
Figura 25. As duas fases da desmineralização por troca iônica.	160
Figura 26. Dimensões dos principais componentes microscópicos e moleculares presentes em águas e efluentes e tipos de membranas utilizados para a sua separação.	164
Figura 27. Obtém-se economia de energia ou de combustível através de retorno do máximo possível de condensado.	158
Figura 28. Níveis de calor do vapor.	171
Figura 29. Economia pela recuperação de condensado.	172
Figura 30. Gráfico de dimensionamento da linha de condensado para utilização quando a pressão nos purgadores está acima de 4 bar b.	176
Figura 31. Condensado a partir de diferentes pressões, com pressão comum na linha de retorno.	177
Figura 32. Linhas extensas de fornecimento de bomba.	181
Figura 33. Linhas de retorno inundadas.	182
Figura 34. Drenagens de linha na partida da tubulação e retorno de condensado elevado.	184
Figura 35. Elevando condensado de aquecedores com temperaturas controladas.	185

Figura 36. Aproveitamento do condensado contaminado.	187
Figura 37. Recuperação do calor de condensado contaminado.	188
Figura 38. Instalação típica.	189
Figura 39. Unidade de recuperação de condensado com bomba elétrica.	191
Figura 40. Tanque de reevaporação.	193
Figura 41. Bateria de aquecimento de ar multiestágios.	197
Figura 42. Diversos aquecedores alimentados com vapor de alta pressão.	199
Figura 43. Serpentina secundária de vapor reevaporado.	200
Figura 44. Conjunto trocador de calor e condensador de vapor flash.	201
Figura 45. Típico sistema de recuperação de calor para descarga contínua em caldeiras.	202
Figura 46. Condensação de vapor flash utilizado chuveiro (spray).	205
Figura 47 - Organograma da Política Nacional de Recursos Hídricos.	219

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Questões-chave e ferramentas para gestão do uso da água.	42
Quadro 2. Potenciais contaminantes presentes na água em função de sua origem.	71
Quadro 3. Principais processos, operações e sistemas para tratamento de efluentes visando ao reúso.	116
Quadro 4. Instrumentos/Colegiados do SINGREH.	220

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Consumo de água, em porcentagem de empresas por alternativa. Resposta estimulada e múltipla.	53
Tabela 2. Tratamento de efluentes, em porcentagem de empresas por alternativa. Resposta estimulada e múltipla.	54
Tabela 3. Distribuição do consumo de água na indústria por atividades.	63
Tabela 4. Padrões de Qualidade recomendados para resfriamento e geração de vapor.	66
Tabela 5. Dados de Qualidade da Água para uso na Indústria Farmacêutica.	67
Tabela 6. Requisitos de qualidade de água para uso industrial.	68
Tabela 7. Principais categorias de contaminantes presentes na água e tecnologias para sua remoção.	72
Tabela 8. Tecnologias para tratamento de efluentes.	76
Tabela 9. Características da água pluvial na Cidade Universitária da USP.	95
Tabela 10. Parâmetros de qualidade e frequências de análises sugeridos.	101
Tabela 11. Frequência de manutenção de componentes hidráulicos de edifícios.	101
Tabela 12. Taxa de reúso nos principais setores industriais americanos (% total de água consumida).	115
Tabela 13. Tipos de perda e seu controle.	129
Tabela 14. Orientação para concentrações máximas para qualidade da água da caldeira.	149
Tabela 15. Arranjos de Sistema de Desmineralização.	162

Tabela 16. Escoamento de água em tubos de aço (kg/h). 174

Tabela 17. Dimensões de tanques de vapor reevaporado. 194

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1. GESTÃO E CONSERVAÇÃO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA	23
1.1 Introdução	25
1.2 Governança do uso da água nas atividades produtivas	26
1.3 Avaliação e divulgação do desempenho	32
1.4 Principais iniciativas e ferramentas	40
REFERÊNCIAS	46
2. USO E TRATAMENTO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA	49
2.1 Introdução	51
2.2 A indústria brasileira e a gestão ambiental	52
2.3 Oportunidades e condicionantes para a sustentabilidade industrial	57
2.4 Usos da água na indústria	58
REFERÊNCIAS	79
3. GESTÃO DA DEMANDA E DA OFERTA DE ÁGUA	81
3.1 Introdução	83
3.2 Gestão da demanda	83
3.3 Gestão da oferta	87
3.4 Reúso de efluentes	102
3.5 Seleção de sistemas de reúso e custos associados	115
REFERÊNCIAS	120

4. ÁGUA DE UTILIDADES	123
4.1 Sistemas de resfriamento	126
4.2 Sistemas de geração de vapor	142
4.3 Reúso de águas condensadas	170
REFERÊNCIAS	209
5. ASPECTOS INSTITUCIONAIS DO GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS	211
5.1 Introdução	213
5.2 Gênese da Política Nacional de Recursos Hídricos	215
5.3 Gestão descentralizada e participativa	218
5.4 Representação do setor industrial nos sistemas de gerenciamento de recursos hídricos	224
6. ANEXO	229



INTRODUÇÃO

Passados 20 anos da aprovação da Lei nº 9.433 de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), muitos dos desafios associados com a gestão dos recursos hídricos do país foram superados, no entanto outros ainda persistem na agenda da sociedade. A instituição do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), um mandato constitucional, permitiu desvincular a gestão das águas das políticas setoriais até então vigente no país e pavimentar o caminho para a adoção do princípio dos múltiplos usos da água.

O Poder Público – União, estados e Distrito Federal – organizou-se para atender aos princípios da política, em especial com a criação dos conselhos estaduais e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Os comitês de bacia hidrográfica, que iniciaram nos rios de domínio dos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo e Ceará já, na década de 1990, materializaram os princípios da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e da gestão participativa e descentralizada, envolvendo usuários, sociedade e governos.

No âmbito federal, a criação da Agência Nacional de Águas (ANA), pela Lei nº 9.984, de 2000, foi um marco relevante que viabilizou o fortalecimento e a criação de capacidade técnica para implantação dos principais instrumentos, com destaque para a cobrança pelo uso da água. O início da arrecadação dos recursos da cobrança pelo setor de geração hidrelétrica, instituído pela mesma lei, viabilizou receita firme e regular para as ações da ANA.

Com competências específicas sobre os recursos hídricos de seu domínio, em especial as águas subterrâneas, os governos estaduais têm papel fundamental na gestão das águas do país, mas a organização, em alguns estados, ainda é um desafio persistente, que merece uma atenção política emergencial, tanto quanto a necessidade de alocação de profissionais especializados e condições operacionais para os órgãos gestores dos recursos hídricos.

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos avançou bastante nestes anos e conta com aproximadamente 250 comitês de bacia hidrográfica, atuando no território nacional, com mais de 10.000 pessoas diretamente envolvidas.

A receita anual diretamente vinculada ao Sistema, para o ano de 2015, monta aproximadamente R\$ 479 milhões anuais, considerando o pagamento pelo uso da água nos rios de domínio da União, dos estados e os valores recolhidos em função da geração hidroelétrica (ANA, acesso em: 4 abr. 2017). Esses valores estão disponíveis para os órgãos gestores de recursos hídricos e entidades delegatárias das funções de agência de bacia.

A indústria, consciente da importância do tema, disponibiliza um pequeno exército de 500 profissionais que fazem a representação do setor nos colegiados de recursos hídricos, contribuindo para a implementação e qualificação do processo de implementação da Política. Acreditamos, dessa forma, demonstrar nosso engajamento, contribuição e apoio aos princípios da Lei das Águas do Brasil.

Não obstante, o setor vem investindo solidamente na redução de seu consumo e no aproveitamento de fontes alternativas, com intuito de reduzir sua dependência dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, sendo que a reutilização e o reúso interno e externo de água e efluentes nas unidades industriais já é uma realidade.

O presente *Manual de Reúso de Água* continua um trabalho iniciado pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) há cerca de 15 anos, e é uma contribuição da Confederação Nacional da Indústria (CNI) e da FIESP com o setor produtivo e a própria sociedade. A sistematização de um conjunto de informações sobre o uso eficiente da água busca propiciar o fomento necessário para que o setor industrial possa ampliar a adoção das boas práticas da reutilização e do reúso de água.

Finalmente, é importante agradecer aos autores pela disponibilização das informações, em especial, ao professor doutor Ivanildo Hespanhol, pelo apoio e parceria com o Centro Internacional de Referência em Reúso de Água da Universidade de São Paulo (USP), dirigido por ele, que se estende para outros temas e estudos, cujas orientações vêm contribuindo de forma decisiva para a qualificação dos segmentos usuários nessa agenda.



1

GESTÃO E CONSERVAÇÃO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA

Zeila Piotto

Doutora em Engenharia pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP).

1.1 INTRODUÇÃO

Para a maioria das empresas, a água é um dos insumos básicos para suas operações, e, ao mesmo tempo, os efluentes gerados são potencialmente danosos ao meio ambiente. Dessa forma, cresce o número de empresas que adotam posturas proativas para gestão e uso racional da água. A gestão ineficiente desse insumo aumenta os riscos de danos à imagem das empresas, pode comprometer o atendimento legal, aumenta os gastos de produção e o risco de escassez de água (GERBENS-LEENES; HOEKSTRA, 2008).

Adicionalmente, ao considerar os usos múltiplos da água, sua dependência das condições locais e sua inter-relação com a produção de alimentos, geração de energia e serviços ecossistêmicos, o setor empresarial também precisa enfrentar o desafio da segurança hídrica.

No Brasil, grande parte das bacias hidrográficas enfrenta desequilíbrio entre a oferta e a demanda de água ou os problemas de qualidade, segundo avaliação da Agência Nacional de Águas (ANA). Eventos hidrológicos extremos associados à falta de infraestrutura agravaram essa situação, como pode ser observado, nos anos de 2014 e 2015, em bacias altamente industrializadas da região sudeste (ANA, 2015).

Esses cenários trazem consigo a maior pressão dos órgãos gestores e da sociedade para que o setor empresarial adote práticas responsáveis e transparentes em relação ao uso da água.

A influência do mercado em uma economia globalizada também pode ser decisiva para estimular as empresas a adotar padrões mais rigorosos de desempenho ambiental e social.

Os investidores, por exemplo, inseriram no seu radar de monitoramento os riscos inerentes à questão hídrica, pressionando empresas e organizações a adotar práticas responsáveis e eficientes de uso da água.

Desse modo, tanto para grandes corporações, quanto para pequenas e médias, o desafio está posto: Como reduzir o consumo de água? Tenho ou terei problemas com o suprimento deste recurso? Preciso envolver fornecedores? Como medir e reportar esses dados? Quais são as métricas envolvidas? É possível comparar produtos em relação ao consumo de água? Como reduzir os custos? Como implementar e aprimorar programas de uso racional da água? Quais as ferramentas mais indicadas?

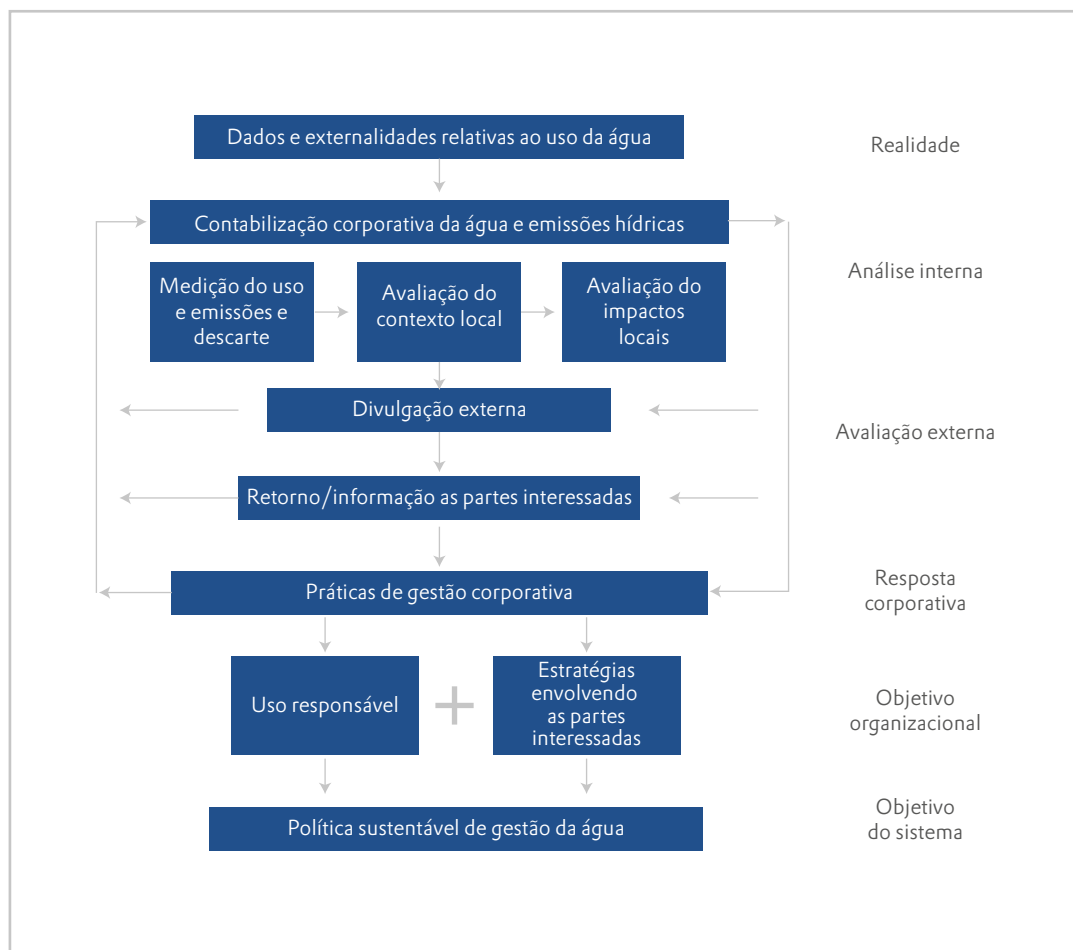
Ciente desses desafios, este capítulo tem o objetivo de contribuir com a implementação de programas e ferramentas voltadas ao uso racional da água no setor produtivo.

1.2 GOVERNANÇA DO USO DA ÁGUA NAS ATIVIDADES PRODUTIVAS

Conceitualmente, de forma mais ampla, a governança corporativa está ligada aos mecanismos ou princípios que governam o processo decisório dentro de uma empresa, os quais se desdobram em práticas que envolvem o relacionamento da alta administração com os acionistas e com as demais partes interessadas (funcionários, clientes, fornecedores, comunidade, governo, entre outros).

O desafio da governança da água, portanto, consiste em estabelecer mecanismos que alinhem, efetivamente, os interesses dos diversos atores envolvidos, tendo em vista a sua conservação, a garantia de suprimento, o uso racional e a licença para operar, conforme pode ser observado na figura a seguir.

Figura 1 - Representação esquemática do processo de governança corporativa.



Fonte: Unep (2010).

Todo este processo permite, portanto, qualificar o processo decisório, promovendo a redução de custos, o aumento de receita, o gerenciamento dos riscos e a melhoria da imagem da empresa.

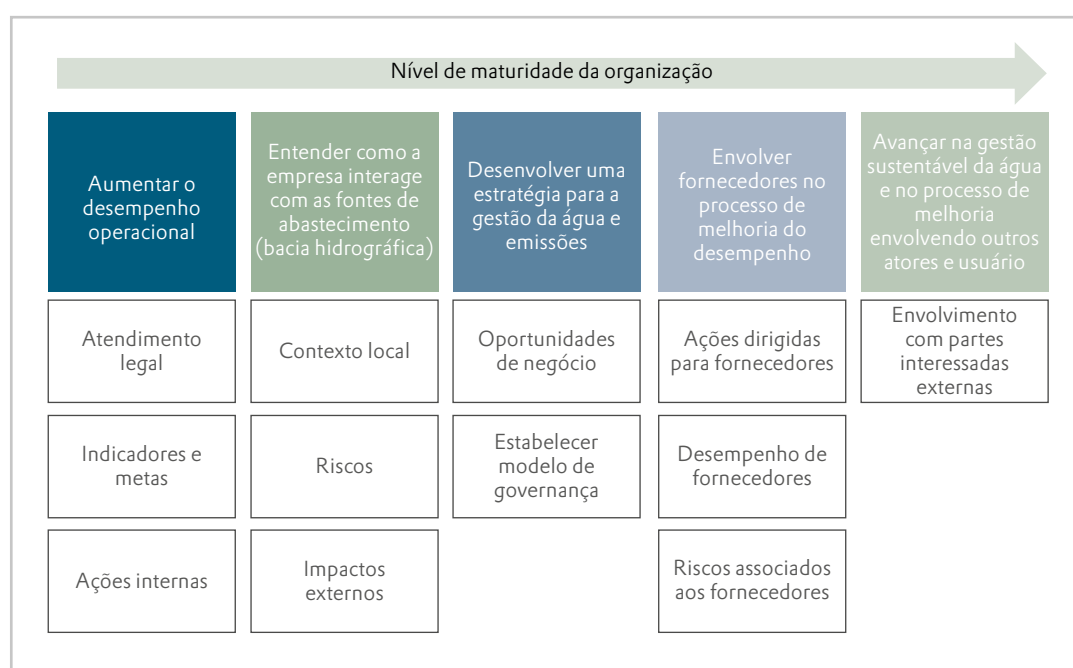
1.2.1 COMO IMPLEMENTAR POLÍTICAS E BOAS PRÁTICAS VOLTADAS À GOVERNANÇA DA ÁGUA NAS ORGANIZAÇÕES

Não existe um padrão específico para definir e colocar em prática as estratégias e os processos com foco na boa governança da água. No entanto, independentemente do tipo e do tamanho da organização e/ou das ferramentas adotadas para

implementação do processo, essa abordagem deve ser permanente, contínua e integrada à gestão do negócio.

De acordo com estudo realizado pela iniciativa CEO Water Mandate, vinculada ao Pacto Global das Nações Unidas (CEO, 2012), é possível identificar um padrão de comportamento/abordagem adotado pelas empresas a partir do grau de maturidade da organização, conforme diagrama apresentado na figura a seguir.

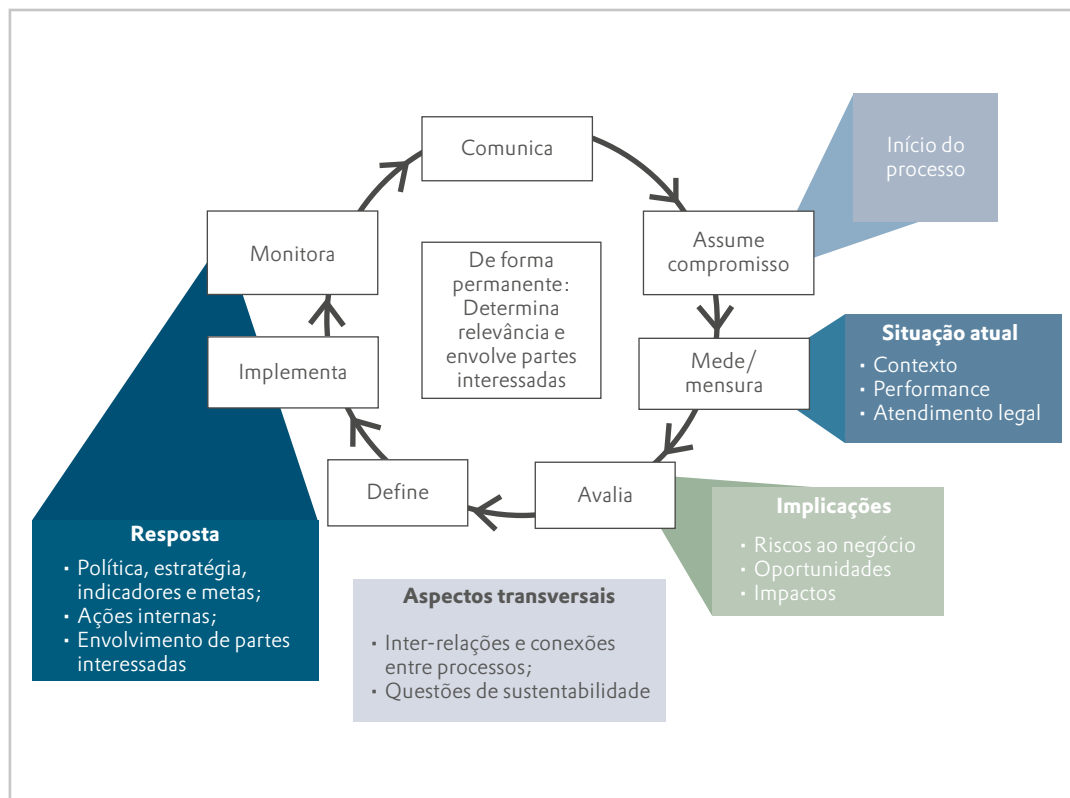
Figura 2 - Evolução da gestão.



Fonte: CEO (2012).

O modelo iterativo de gestão proposto pelas Nações Unidas no Pacto Global pode ser boa referência para a implementação de um processo estruturado de governança conforme mostrado na figura a seguir (UNGC, 2010; CEO, 2012).

Figura 3 - Modelo interativo de governança da água.



Fonte: CEO (2014).

A partir da decisão da empresa em implementar práticas de boa governança da água, o passo a passo, os prazos e as ferramentas para esse processo dependem principalmente:

- do grau de maturidade da organização;
- da complexidade, do tamanho da organização e da estrutura existente;
- dos recursos disponíveis; e
- das demandas existentes (mercado, riscos operacionais, riscos de imagem/reputação, litígios etc.).

Cabe mencionar que a **abordagem tecnológica** é parte integrante da governança e pode contemplar:

- o uso das melhores tecnologias disponíveis (BATs), que são baseadas na redução de poluição na fonte geradora;
- a otimização do processo industrial;
- as mudanças de insumos, matérias-primas e de processos; e
- o reuso e a reciclagem, entre outros.

O **sistema de gestão**, por sua vez, deve buscar, entre outros aspectos, a otimização do uso da água, minimizando e prevenindo os impactos ambientais, enquanto mantém a viabilidade econômica do negócio.

As principais premissas para o sucesso desse tipo de programa são:

- Comprometimento da alta gerência: o gerente-geral da indústria deve dar início ao processo, para obter colaboração e comprometimento de todos.
- Envolvimento dos funcionários: embora o gerente possa dar o “pontapé inicial” no programa, a identificação das oportunidades de melhoria depende basicamente dos funcionários, principalmente daqueles envolvidos com as atividades de processo e de manutenção no chão de fábrica. Esses funcionários, normalmente, detêm o conhecimento de como e onde acontecem as demandas de uso da água, bem como a geração de efluentes e o que pode ser feito para minimizá-los.
- Controle adequado dos custos: para mostrar à alta gerência e aos funcionários que prevenir a poluição reduz custos de tratamento e disposição de resíduos.
- Abordagem organizada, coordenada por equipe multidisciplinar: que detenha conhecimentos do processo produtivo, para avaliar as sugestões propostas e que tenha capacidade e autonomia para implementá-las; que identifique as barreiras que possam existir para implementação do programa e que possa estabelecer os objetivos para a companhia;
- Integração com os demais programas e projetos da empresa;

- Abordagem que considere os aspectos locais e usos múltiplos;
- Definição e implantação de monitoramento e controle do desempenho dos sistemas e processos.

Para orientar as organizações e permitir o reconhecimento de seus compromissos, práticas de gestão ambiental, atendimento legal e melhoria contínua, foi desenvolvida, no âmbito do sistema *Internacional Organisation for Standardization* (ISO), a norma certificável ISO 14001. Embora não seja específica para a governança da água, o sistema de gestão deve contemplar os aspectos e impactos potenciais associados ao uso da água no processo produtivo.

Tendo em vista a importância da questão hídrica e a percepção de que são necessárias ferramentas específicas ao gerenciamento do uso da água pelas corporações, está sendo desenvolvida pela instituição Alliance for Water Stewardship (AWS) uma norma certificável com foco no uso responsável da água, denominado Water Stewardship. Essa norma está em fase de consolidação. Mais informações sobre essa iniciativa podem ser obtidas em: <<http://www.allianceforwaterstewardship.org/aws-standard-system.html>>.

Apesar do aspecto atrativo dos programas de conservação da água e de prevenção à poluição, sua utilização ainda é limitada. Segundo um levantamento da *United Nations Environment Programme* – Unep (adaptado de PIOTTO, 2003), as principais barreiras são:

a) Financeiras e econômicas

- Custos altos, falta de mecanismos e incentivos apropriados ao financiamento de projetos do setor industrial.
- Percepção que investimentos em inovação são de alto risco.
- Apropriação inadequada dos custos associados à captação, ao tratamento e aos descartes.

b) Organizacionais

- Falta de visão estratégica e de foco em tecnologia e mercados.
- Pouca maturidade da estrutura organizacional e sistema de gestão ambiental da empresa.
- Percepção de risco de exposição para gerentes e ausência de incentivos para adotar projetos inovadores.
- Pouca experiência na implantação de projetos que envolvam a participação dos funcionários ou que envolvam outras partes interessadas.

c) Técnicas e conceituais

- Ausência de dados de uso da água, balanço hídrico e informações relativas às condições locais.
- Ausência de práticas operacionais estruturadas e bem estabelecidas e de planos de manutenção.
- Complexidade na implementação.
- Pouco acesso às tecnologias mais limpas e às inovações tecnológicas.
- Desconhecimento do papel e da influência da empresa em relação às condições locais.

1.3 AVALIAÇÃO E DIVULGAÇÃO DO DESEMPENHO

A avaliação de desempenho ambiental envolve uma questão básica – não se pode gerir o que não é medido.

Cabe mencionar que a norma ISO 14001 não contempla a avaliação do desempenho ambiental de produtos e serviços. Seu foco é a gestão ambiental da organização.

De acordo com a ISO, a avaliação de desempenho ambiental (*Environmental Performance Evaluation* -EPE) é um processo que facilita a gestão das decisões relativas ao desempenho ambiental das organizações, por meio da:

- seleção de indicadores;
- análise de dados e comparação com os critérios de desempenho;
- divulgação; e
- revisão periódica e melhoria contínua.

1.3.1 INDICADORES DE DESEMPENHO AMBIENTAL RELACIONADOS AO USO DA ÁGUA

A seleção de indicadores relacionados ao uso da água é mais complexa do que acontece com os gases que contribuem com o efeito estufa, por exemplo, uma vez que a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos são aspectos que precisam ser avaliados e geridos localmente.

Adicionalmente, os conceitos como uso, retirada, consumo, reúso, reciclo, reutilização e reaproveitamento não são uniformes.

Desse modo, métricas e conceitos utilizados em relatórios de desempenho, ferramentas de gestão, ou em normativas legais podem ter divergências importantes entre si, dificultando a sua utilização para fins de divulgação e comparação de desempenho.

Importante destacar que, para fins de atendimento de normativos legais como outorga, cadastro de uso da água, relatórios e demais informes atrelados a processos dessa natureza, é necessário seguir as normativas vigentes nos respectivos âmbitos (federal ou estadual), independentemente dos conceitos empregados para fins de divulgação do desempenho.

1.3.1.1 MÉTRICAS ASSOCIADAS AO USO DA ÁGUA PARA MENSURAÇÃO DE DESEMPENHO

a) Indicadores expressos por unidade de produção (específicos)

Pode-se expressar o desempenho ambiental em relação ao uso da água, relacionando-se os volumes captados, os volumes consumidos, os valores reusados expressos por unidade de produção.

Além dos destaques apresentados no item de rotulagem ambiental, esses indicadores apresentam limitações importantes para fins de comparação ou *benchmarking*, dentre elas, destacam-se:

- falta de definição ou entendimento claro dos conceitos de consumo, retirada ou reúso e reciclagem;
- dificuldade de se alocar ou quantificar volumes de água captados, usados, consumidos ou descartados por unidade de produção. Como fazer o cômputo quando as unidades industriais produzem vários produtos, como refinarias, fábricas de alimentos, indústrias farmacêuticas, indústrias químicas, mineração? Muitas vezes, esses dados são contabilizados por unidade de matéria-prima processada, pela produção total ou pela produção do produto principal. Não existe um padrão para isso, e cada organização adota uma forma de contabilizar e reportar estes dados;
- dificuldade de estabelecer padrões ou referências de uso da água em categorias agrupadas de produtos ou processos e de relacioná-los com a classificação de atividades econômicas, como a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (Cnae), por exemplo.

De forma similar aos indicadores de uso da água, os indicadores específicos das emissões também apresentam as limitações relacionadas à alocação por produto ou processo.

A alocação prevista em inventários de Avaliação de Ciclo de Vida prevê que é possível relacionar o uso da água ou emissões ao valor econômico dos produtos, ou

ao uso de energia nos processos. Entretanto ainda não existe padronização para esse tipo de indicador.

b) Indicadores expressos em porcentagem

Os indicadores também podem ser expressos em termos percentuais, a exemplo da porcentagem de reúso, porcentagem de reutilização ou reaproveitamento, porcentagem de reciclagem e porcentagem de consumo.

Nesse caso, pode haver divergências em relação a:

- falta de definição ou entendimento claro dos conceitos de consumo, reúso, reciclagem e reutilização ou reaproveitamento;
- como calcular a demanda total de água para os processos;
- como considerar o uso de água da chuva ou água de reúso externo.

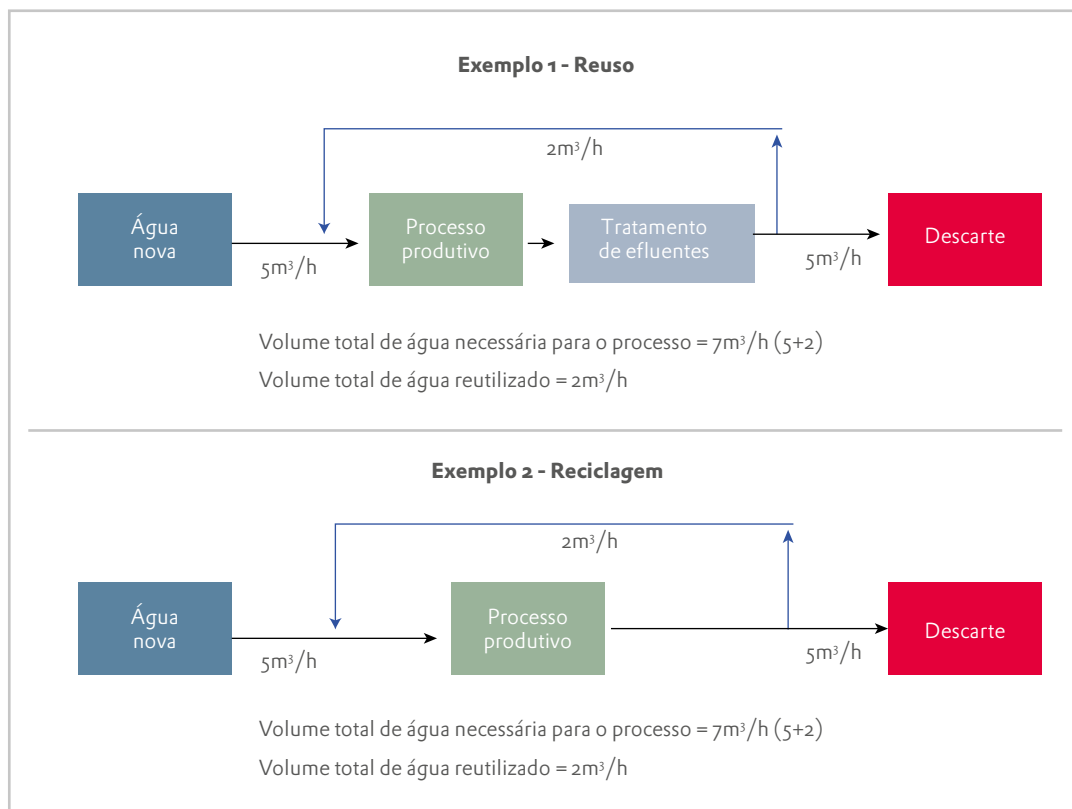
No que se refere ao reúso e à reciclagem em processos produtivos, pode-se considerar que esses conceitos estão mais consolidados:

Reúso corresponde aos volumes de água reutilizados no processo após serem submetidos a algum tipo de tratamento. **Reciclagem** está associada aos volumes de água reutilizados diretamente em processos sem tratamento prévio.

Desse modo, pode-se inferir que a **reutilização (ou reaproveitamento) contempla tanto o reúso quanto a reciclagem.**

Para estimar a demanda de água para o processo, bem como para a conceituação de reúso e reciclagem, uma das referências que pode ser utilizada é a metodologia desenvolvida pelo Conselho Australiano de Mineração. Segundo o modelo proposto, devem ser contabilizados todos os fluxos de água que “entram nos processos” independentemente de ser água nova ou água reutilizada, conforme esquema ilustrativo mostrado a seguir:

Figura 4 - Esquema ilustrativo da entrada de água nos processos.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nos exemplos acima, pode-se observar a diferença entre os volumes de água captados (água nova) e a demanda total de água para o processo. Se não houvesse a reutilização (reúso ou reciclo), a demanda de água nova deveria ser 7 m³/h.

O cálculo da porcentagem obviamente é influenciado pela totalização da demanda de água. Nos exemplos acima, a porcentagem de reúso ou de reciclo será igual a 28.6% $[(2/7)*100]$.

Em ambos os casos, pode-se observar que a porcentagem máxima de reciclo, reúso ou reutilização (ou reaproveitamento) é 100%.

Já para o uso de água de chuva ou uso de água de reúso externo no processo produtivo, essa metodologia recomenda considerar como água nova.

Segundo o padrão adotado pela iniciativa Global Reporting Initiative (GRI, 2015), a porcentagem de reutilização (ou reaproveitamento) é feita tendo como base o volume de retirada (água nova) e não o volume total de água necessário ao processo. Além dessa diferença, ainda segundo o GRI, as águas coletadas da chuva são consideradas “águas cinzas” e são incluídas no cálculo do índice de reutilização (ou reaproveitamento).

Dessa forma, é fundamental que as organizações explicitem nos seus relatórios de desempenho quais os conceitos e referências que foram adotados em relação às métricas associadas ao uso da água.

1.3.1.2 ROTULAGEM AMBIENTAL E AFIRMAÇÕES COMPARATIVAS DE DESEMPENHO DE PRODUTOS E SERVIÇOS

A **rotulagem ambiental** é uma das principais aplicações da avaliação e gestão do ciclo de vida. Utiliza o conceito “do berço ao túmulo” - que contempla a avaliação dos impactos potenciais associados às diferentes fases de produção, incluindo aquisição de matérias-primas, uso e descarte de um produto.

Ela é mais um mecanismo de comunicação com o mercado sobre os aspectos ambientais do produto ou serviço, com o objetivo de diferenciá-lo de outros produtos. Ela pode se materializar por meio de símbolos, marcas, textos ou gráficos.

Em virtude da proliferação de rótulos e selos ambientais no mercado e da necessidade de se estabelecerem padrões e regras para o seu uso adequado, a Organização Internacional de Normalização (ISO) desenvolveu normas da série ISO 14020 para a rotulagem ambiental.

A norma ISO 14020, que contém princípios básicos aplicáveis a todos os tipos de rotulagem ambiental, recomenda que, sempre que apropriado, seja levada em consideração a Análise do Ciclo de Vida (ACV).

A norma ISO 14021 - **Rotulagem Ambiental** Tipo II trata das autodeclarações das organizações que podem descrever apenas um aspecto **ambiental** do seu produto, não obrigando à realização de uma ACV e reduzindo, assim, os custos para atender, de forma rápida, às demandas do **marketing**.

A norma ISO 14024 - Rótulo Ambiental Tipo I trata de princípios e procedimentos e recomenda que esses programas sejam desenvolvidos, levando-se em consideração a ACV para a definição dos “critérios” de avaliação do produto e seus valores-limite. Isso quer dizer que deve haver múltiplos critérios identificados e padronizados, pelo menos os mais relevantes, nas fases do ciclo de vida, facilitando a avaliação e reduzindo os custos de certificação.

Na norma ISO 14025 - **Rotulagem Ambiental Tipo III**, os princípios e procedimentos orientam os programas de **rotulagem** que pretendem padronizar o ciclo de vida e certificar o padrão do ciclo de vida, ou seja, garantindo que os valores dos impactos informados sejam corretos, sem definir valores-limite.

No **tocante à água**, pode-se inferir que as iniciativas de determinação da **pegada hídrica** têm uma abordagem de rotulagem ambiental.

No âmbito da ISO, foi aprovada, em 2014, a Norma ISO 14046, que estabelece os princípios, os requisitos e as diretrizes para a avaliação da pegada hídrica de produtos, processos e organizações, a partir da análise do seu ciclo de vida. Embora também estabeleça requisitos para divulgação da pegada hídrica, essa norma explicita que seus resultados não podem ser usados para comparar produtos ou serviços.

Além desse aspecto, cabe mencionar que não se trata de uma norma sujeita à certificação, a exemplo da norma da série ISO 14001.

A determinação dos impactos potenciais associados a um produto é reconhecidamente um dos principais desafios da avaliação do ciclo de vida. Este desafio é ampliado quando se trata da determinação da pegada hídrica, na qual esses impactos

devem considerar as condições locais em relação à disponibilidade e qualidade da água, por exemplo.

A metodologia desenvolvida pela Instituição Water Footprint Network (WFN, 2015), que associa o uso da água à produção e ao uso de produtos e serviços, é outra iniciativa para determinação da pegada hídrica. Ela contempla em dois componentes: a) o consumo e a vazão de diluição dos poluentes diretamente associados ao processo produtivo e atividades suporte; e b) o consumo e a vazão de diluição dos poluentes associados às atividades ao longo da cadeia produtiva.

A metodologia contempla também a determinação da pegada da água também para indivíduos, comunidades e países. Diferentemente da ISO 14046, trata-se de uma metodologia e não de um padrão ou referência normativa.

Afirmações comparativas consistem em quantificar atributos ambientais de forma a permitir a comparação de produtos e serviços. Para tanto, é preciso que essa comparação seja feita com base nos impactos potenciais, considerando funções equivalentes e mesmas fronteiras, entre outros requisitos, ou seja, não é possível afirmar que um produto é superior a outro somente com dados do inventário das emissões hídricas ou da demanda de água.

Nesse sentido, cabe mencionar que **nem a metodologia para determinação da pegada hídrica, nem a ISO 14046 permitem afirmações comparativas**, ou seja, comparar produtos e serviços.

1.4 PRINCIPAIS INICIATIVAS E FERRAMENTAS

O desenvolvimento de um grande número de iniciativas voltadas à governança do uso da água nas organizações reflete a complexidade do gerenciamento e padronização das métricas de uso de água nos diferentes setores produtivos, bem como

os desafios da avaliação e mitigação dos impactos e riscos associados ao seu uso. Outro fator crítico nesse processo decorre da estreita dependência de dados e informações das condições locais, nem sempre disponíveis.

Para obter informações relativas à disponibilidade dos recursos hídricos no Brasil, situação do abastecimento público, bacias críticas, entre outras, recomenda-se acessar os *websites* dos órgãos gestores estaduais e os *websites* da ANA, entre eles:

- ***Cadernos de Recursos Hídricos - Agência Nacional de Águas (ANA).***
Os cadernos (interativos) permitem a visualização de informações relativas à quantidade e à qualidade de água dos principais rios, nas diferentes regiões hidrográficas. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/estudos/cadernoderecursos.aspx>>
- ***Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos (SNIRH) – Agência Nacional de Águas (ANA).***
 - Contempla informações relativas ao balanço hídrico, planos de recursos hídricos de rios de domínio da União; unidades de gerenciamento (bacias hidrográficas e comitês); situação do abastecimento público nos municípios; bacias críticas em relação à qualidade e/ou quantidade; dentre outras. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh>>.
- ***Portal Hidro WEB - Sistema nacional de informações sobre os recursos hídricos – Agência Nacional de Águas (ANA).***

Este sistema apresenta informações numa escala menor (por estação de monitoramento) em relação aos dados de vazão e qualidade. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>.

Para **avaliações e gerenciamento dos riscos hídricos**, sugere-se acessar o documento “Gerenciamento de riscos hídricos no Brasil e o setor empresarial: desafios e oportunidades”, publicado, em 2015, pelo Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS). Disponível em: <http://cebds.org/publicacoes/gerenciamento-de-riscos-hidricos/#.Vw6zzDArKM8>

A publicação da Associação Brasileira das Indústrias Químicas (Abiquim)/2015, que trata **dos planos de contingência para situações de escassez hídrica**, também é importante subsídio ao setor empresarial. Disponível em: <http://www.abiquim.org.br/pdf/guia_para_plano_de_contingencia_crise_hidrica.pdf>.

Com objetivo de orientar o setor produtivo para conservação e uso racional de água, o Departamento de Meio Ambiente e Agricultura do Reino Unido (*Department of Food, Environment and Rural Affairs* – Defra) mapeou e compilou 34 ferramentas e iniciativas (DEFRA, 2012). Esta publicação é uma boa referência para consulta das principais funcionalidades e *links* de acesso a cada uma delas. Disponível em: <http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=10351_EV0468Annex2.xls>.

O quadro a seguir relaciona as principais iniciativas e ferramentas que podem ser úteis nas diferentes etapas de implementação de um processo estruturado de gestão e governança do uso da água.

Quadro 1 - Questões-chave e ferramentas para gestão do uso da água.

	QUESTÕES-CHAVE	FERRAMENTAS
Avaliação inicial – desempenho operacional	<p>Quanta água é captada, usada e consumida nas operações?</p> <p>Onde, quando e como são feitos a captação e o consumo? Como e quanto de água é usada nos processos e nas atividades?</p> <p>Qual a qualidade dos dados associados à retirada, ao uso, aos consumos e às emissões?</p> <p>Quais são as demandas legais?</p> <p>Quanto é reutilizado?</p> <p>Quanto retorna (lançamentos/descartes)?</p> <p>Quais são as emissões hídricas?</p> <p>Quanto custa o tratamento da água e o de efluentes?</p> <p>Quanto de água é usada pelos fornecedores?</p>	<p>WAF in the Minerals Industry</p> <p>Ceres Water Gauge</p> <p>GEMI – Collecting the Drops</p> <p>GRI – Global Reporting Initiative</p> <p>Rippleffect</p> <p>BMA and Waterwise – Water Efficient Buildings Calculator</p>
Avaliação de condições locais e entendimento dos impactos	<p>Há disponibilidade de água?</p> <p>Qual é a demanda de água para os demais usos?</p> <p>Qual a perspectiva de variação no futuro?</p> <p>Existem condições de estresse local?</p> <p>Os serviços ecossistêmicos podem ser impactados pela disponibilidade de água ou pela degradação da sua qualidade?</p> <p>As pessoas têm acesso à melhoria das condições sanitárias?</p> <p>Quais são as perspectivas dos negócios em termos de expansão da demanda?</p> <p>Quais são os impactos dos usos da água para a comunidade?</p>	<p>WAF in the Minerals Industry</p> <p>BIER Practical Perspective on Water Accounting</p> <p>GEMI™ Local Water Tool</p> <p>ISO Water Footprint: Requirements and Guidelines</p> <p>WBCSD Global Water Tool</p> <p>WRI Aqueduct</p> <p>Water Risk Filter</p> <p>WFN Assessment Tool and Manual</p> <p>Water Impact Index</p> <p>Water Use Assessment within Life Cycle Assessment</p>

	QUESTÕES-CHAVE	FERRAMENTAS
Identificação de riscos e oportunidades	<p>Há problemas de atendimento legal associados às retiradas de água ou emissões? Há perspectivas de leis mais restritivas que podem inviabilizar o negócio?</p> <p>Quantas unidades, fornecedores e clientes estão localizados em áreas/países/locais de estresse hídrico?</p> <p>Quanto da produção é oriunda desses locais?</p> <p>Há fornecimento de água adequado para suprir as demandas de água?</p> <p>Há conflitos pelo uso da água onde é feita a captação ou o lançamento de efluentes?</p> <p>Como é o desempenho operacional da empresa em relação aos seus concorrentes?</p> <p>A disponibilidade de água pode afetar a comunidade, os empregados ou os consumidores?</p> <p>O consumo de água para fins de processo em detrimento de outros usos pode ser justificado?</p> <p>Existem demandas de mercado para adoção e divulgação de boas práticas?</p> <p>Existem oportunidades para promover soluções para reduzir o uso da água, ampliar a sua reutilização e/ou mitigar o estresse hídrico?</p>	<p>GEMI Local Water Tool™</p> <p>UNEP Finance Initiative: Chief Liquidity Series</p> <p>Water Impact Index</p> <p>Water Risk Filter</p> <p>WBCSD Global Water Tool</p> <p>WRI Aqueduct</p>

	QUESTÕES-CHAVE	FERRAMENTAS
Identificação de riscos e oportunidades	<p>Há problemas de atendimento legal associados às retiradas de água ou emissões? Há perspectivas de leis mais restritivas que podem inviabilizar o negócio?</p> <p>Quantas unidades, fornecedores e clientes estão localizados em áreas/países/locais de estresse hídrico?</p> <p>Quanto da produção é oriunda desses locais?</p> <p>Há fornecimento de água adequado para suprir as demandas de água?</p> <p>Há conflitos pelo uso da água onde é feita a captação ou o lançamento de efluentes?</p> <p>Como é o desempenho operacional da empresa em relação aos seus concorrentes?</p> <p>A disponibilidade de água pode afetar a comunidade, os empregados ou os consumidores?</p> <p>O consumo de água para fins de processo em detrimento de outros usos pode ser justificado?</p> <p>Existem demandas de mercado para adoção e divulgação de boas práticas?</p> <p>Existem oportunidades para promover soluções para reduzir o uso da água, ampliar a sua reutilização e/ou mitigar o estresse hídrico?</p>	<p>GEMI Local Water Tool™</p> <p>UNEP Finance Initiative: Chief Liquidity Series</p> <p>Water Impact Index</p> <p>Water Risk Filter</p> <p>WBCSD Global Water Tool</p> <p>WRI Aqueduct</p>
Definição de plano de ação e metas	<p>Qual o nível de desempenho compatível com as melhores práticas?</p> <p>Quais as ações permitem a prevenção e o controle dos riscos?</p> <p>É possível vincular metas de desempenho com programas e remuneração variável?</p> <p>Quais demandas existem do mercado e das demais partes interessadas que devem ter prioridade no plano de trabalho?</p> <p>Quais os custos envolvidos e quais são os recursos disponíveis?</p> <p>Quais metas são adequadas e exequíveis?</p> <p>Como integrar os planos de ação às demais ferramentas corporativas?</p>	<p>Alliance for Water Stewardship</p> <p>Ceres Aqua Gauge</p> <p>European Water Stewardship Standard</p> <p>GEMI Local Water Tool™</p> <p>UN CEO Water Mandate</p> <p>Water Accounting: An Australian Framework for the Minerals Industry</p> <p>Water Impact Index</p> <p>Water Stewardship</p>

	QUESTÕES-CHAVE	FERRAMENTAS
Monitoramento e comunicação do desempenho	<p>Quais ferramentas e sistemas serão usados para implementar e monitorar o desempenho?</p> <p>Quais indicadores são necessários para avaliar, monitorar e divulgar a performance para as partes interessadas?</p> <p>Como dar credibilidade e robustez às ações voltadas à boa governança da água?</p>	<p>Alliance for Water Stewardship</p> <p>CDP Water Disclosure</p> <p>Ceres Aqua Gauge</p> <p>European Water Stewardship Standard</p> <p>GRI Water Performance Indicators</p> <p>ISO Water Footprint: Requirement and Guidelines</p> <p>UN CEO Water Mandate</p> <p>Water Stewardship</p>

Fonte: Adaptado de WBCSD (2012).

REFERÊNCIAS

GERBENS-LEENES, P. W.; HOEKSTRA, A. Y. Business water footprint accounting: a tool to assess how production of goods and services impacts on freshwater resources worldwide. 2008. Disponível em: <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report27-BusinessWaterFootprint_1.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2017.

ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2015. 2015. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/conjuntura-dos-recursos-hidricos/ano-de-2015>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

GRI. Global reporting initiative guidelines. 2015. Disponível em: <<https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/GRIG4-Part1-Reporting-Principles-and-Standard-Disclosures.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

CEO. Corporate water disclosure guidelines: toward a common approach to reporting water. Ago. 2012. Disponível em: <<https://www.pwc.com/us/en/corporate-sustainability-climate-change/assets/pwc-corporate-water-disclosure-guidelines.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

CEO. Corporate water disclosure guidelines: toward a common approach to reporting water. set. 2014. Disponível em: <<http://ceowatermandate.org/files/Disclosure2014.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

PIOTTO, Zeila Chittolina. Eco-eficiência na indústria de celulose e papel: estudo de caso. Tese de doutorado. Escola Politécnica – USP.

http://www.restaurabr.org/siterestaurabr/CICRAD2011/M3%20Aulas/tese_zeila_c_piotto.pdf

WFN - WATER FOOTPRINT NETWORK. Business water footprint. 2015. Disponível em: <<http://waterfootprint.org/en/water-footprint/business-water-footprint/>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

DEFRA - DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD & RURAL AFFAIRS. Tools available to business to quantify and reduce the impacts of their water use. 2012. Disponível em: <<http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=17962>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

CEBDS - CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA P DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Gerenciamento de riscos hídricos no Brasil e o setor empresarial: desafios e oportunidades. 2015. Disponível em: <<http://cebds.org/publicacoes/gerenciamento-de-riscos-hidricos/#.Vz8XI5ErKM8>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

ABIQUIM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. Guia para plano de contingência da crise hídrica. 2015. Disponível em: <http://www.abiquim.org.br/pdf/guia_para_plano_de_contingencia_crise_hidrica.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2017.

WBCSD - WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Water for Business Initiatives guiding sustainable water management in the private sector. 2012.

Disponível em: <http://wbcserver.org/wbcserverpublications/cd_files/datas/business-solutions/water_leadership/pdf/WaterForBusiness_Third%20Update.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2017.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM. CORPORATE WATER ACCOUNTING. An analysis of methods and tools for measuring water use and its impacts. 2010. Disponível em: <http://pacinst.org/wp-content/uploads/sites/21/2013/02/corporate_water_accounting_analysis3.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2017.



2

USO E TRATAMENTO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA

Ivanildo Hespanhol

Professor titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e diretor do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água (Cirra/IRCWR) da USP.

2.1 INTRODUÇÃO

A escassez e o aumento dos conflitos pelo uso da água geraram a emergência da conservação e do reúso como componentes formais da gestão de recursos hídricos. Os benefícios inerentes à utilização de água recuperada para usos benéficos, ao contrário de disposição ou descarga, incluem a preservação de fontes de qualidade elevada, proteção ambiental e benefícios econômicos e sociais (ASANO, 2008).

No setor industrial, a realização do almejado empreendedorismo sustentável depende do nível em que for efetuada a conservação dos recursos naturais, particularmente do recurso água, por meio, principalmente, da implementação dos conceitos de gestão ambiental, eco eficiência do processo produtivo e aplicação de práticas de produção limpa.

As indústrias assumiram o desafio, e o comprometimento pode se desenvolver em níveis diversos, dependendo do grau de conscientização ambiental dentro das empresas. Numa primeira etapa, pode ocorrer apenas o controle ambiental nas saídas, numa fase sequencial, a integração do controle ambiental nas práticas e processos industriais e, finalmente, a integração do controle ambiental em toda a empresa (DONAIRE, 2007).

A resposta do mercado financeiro às empresas que promovem tais práticas conservacionistas vem, continuamente, agregando valor e segurança a seus ativos e proporcionando maior retorno aos investidores.

Além dessas características internas, diversos outros condicionantes exógenos limitam sustentabilidade do setor industrial, tanto no que tange aos aspectos econômicos quanto aos associados à disponibilidade de infraestrutura para uma produção adequada. Esses fatores surgidos, principalmente, a partir do final do século passado, são, conforme mostrado em seguida, condicionantes impostos por mercados internacionais e restrições legais e econômicas de âmbito nacional.

Entretanto, face aos novos fatores e conceitos que promovem o papel das indústrias por meio da aplicação de práticas de gestão limpas, o setor industrial vem demonstrando, nas últimas décadas, que o desafio de produzir e, ao mesmo tempo, de utilizar com parcimônia os recursos naturais, está sendo atingido de maneira satisfatória por meio do uso de novas tecnologias e da aplicação adequada dos conceitos modernos de gestão ambiental.

2.2 A INDÚSTRIA BRASILEIRA E A GESTÃO AMBIENTAL

Um inventário efetuado recentemente sobre o meio ambiente brasileiro (Análise-Gestão Ambiental, Anuário, 2007) mostrou que o mundo corporativo, particularmente o setor industrial, considera a gestão ambiental como um instrumento fundamental para promover a sustentabilidade empresarial. O objetivo básico do inventário foi o de identificar o conjunto de práticas adotadas pelo setor produtivo para reduzir o insumo de produtos naturais e gerar menor quantidade de efluentes. Os resultados foram surpreendentemente animadores. O resumo dos 412 registros que integram o anuário é extremamente positivo, pois 44% das empresas só contratam fornecedores que empregam procedimentos de gestão ambiental, 47% utilizam fontes renováveis de energia, 49% pesquisam tecnologias para reduzir as emissões atmosféricas, 53% possuem ISO 14.001, 59% desenvolvem programas de plantio de árvores, 61% têm metas de redução do consumo de água e energia elétrica, 81% declaram, no organograma, a quem cabe a responsabilidade sobre gestão ambiental e 81% praticam a coleta seletiva de lixo.

Os exemplos mostrados em seguida expressam alguns dados do inventário, indicando os esforços relativos à redução de recursos naturais e de proteção ambiental pelos setores industrial e agrícola, de serviços e comercial. Eles relacionam, além de diversas práticas ambientais, ações de monitoramento, garantias de conformidade legal, investimento em tecnologias de tratamento, campanhas de conscientização e metas de reúso (uso de esgotos, efluentes industriais ou de água de qualidade inferior tratados, para fins benéficos); e de reciclagem (forma particular

de reúso, na qual efluentes industriais, tratados ou não, são usados diretamente no mesmo processo, esquema ou sistema industrial). A tabela 1 mostra que 66% das empresas industriais e agrícolas consultadas desenvolvem metas de redução de consumo de água, 55% de reciclagem e que apenas 3% delas não praticam qualquer ação relativa à redução da demanda. A tabela 2 mostra que 48% das empresas desses setores têm metas de reúso e 43% de reciclagem de efluentes industriais. Indica, ainda, que uma grande maioria das empresas (80%) possuem sistemas de tratamento de efluentes e que 59% estão engajadas em reduzir a geração de efluentes por meio de investimento em tecnologia de tratamento.

Verifica-se, portanto, que, embora o “custo meio ambiente” seja bastante expressivo em relação ao custo global de produção, as empresas do setor industrial e agrícola (particularmente as vinculadas ao agro negócio) consideram que a inclusão das políticas de gestão ambiental se converte em benefícios de ganho de qualidade e de competitividade industrial (PIO, 2008).

Tabela 1 - Consumo de água, em porcentagem de empresas por alternativa. Resposta estimulada e múltipla.

AÇÕES QUE RECONHECEM COMO PRÁTICA	INDÚSTRIA E AGRICULTURA (%)	SERVIÇOS (%)	COMÉRCIO (%)
Monitoramento com indicadores específicos	3	51	67
Reciclagem	55	17	27
Meta de redução	66	45	73
Programa estruturado	38	13	33
Campanha de conscientização de funcionários	63	52	47
Não desenvolvem ações específicas	3	18	13

Fonte: Análise de Gestão Ambiental, Anuário (2007).

Tabela 2 - Tratamento de efluentes, em porcentagem de empresas por alternativa. Resposta estimulada e múltipla.

AÇÕES QUE RECONHECEM COMO PRÁTICA	INDÚSTRIA E AGRICULTURA (%)	SERVIÇOS (%)	COMÉRCIO (%)
Monitoramento com indicadores	79	37	53
Metas de reúso	48	15	20
Metas de reciclagem	34	8	7
Processo para diminuir geração	59	23	27
Investimento em tecnologia para reduzir a geração	49	15	27
Possuem unidade de tratamento	80	40	53
Garantia de conformidade legal no manuseio, no transporte e na destinação	77	50	53
Não desenvolvem ações específicas	2	24	33
Outras	4	10	0

Fonte: *Análise de Gestão Ambiental, Anuário (2007)*.

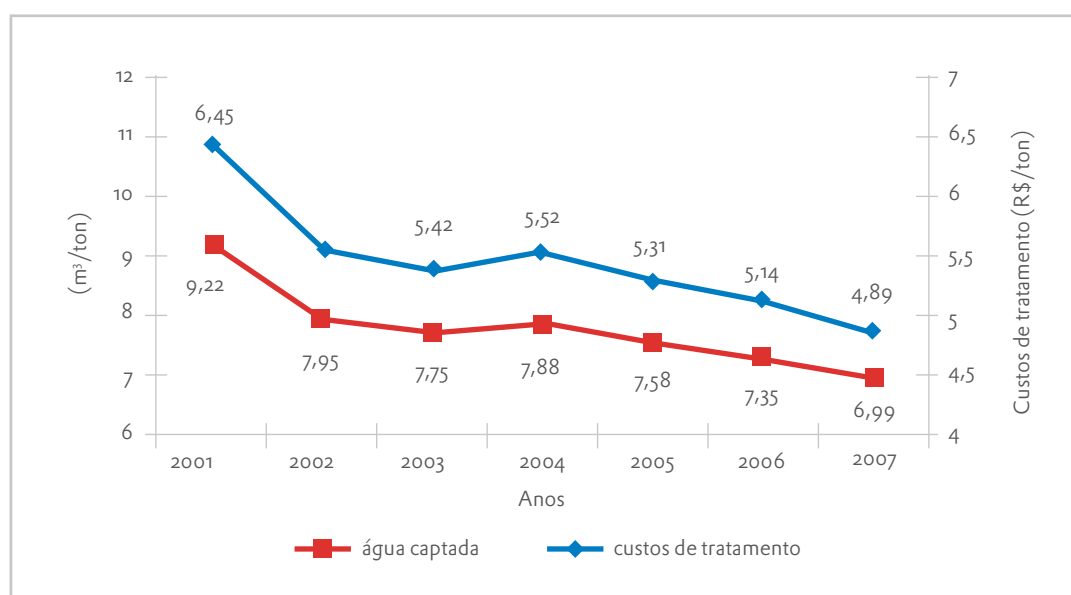
A indústria química, por exemplo, transformou-se, a partir de meados do século XX, em um dos maiores e mais globalizados setores da economia mundial. Porém a importância e a diversidade dos produtos químicos e sua influência na melhoria da qualidade de vida da população mundial devem ser analisadas em função do elevado consumo de água e de energia e dos impactos potenciais negativos que causam sobre o meio ambiente e a saúde pública. Para contornar essa polaridade, a *International Conference on Chemical Management* (ICCM), ocorrida em 6 de fevereiro de 2006, em Dubai, Emirados Árabes Unidos, promulgou o *Strategic Approach to International Chemicals Management* (SAICM), que estabelece as políticas para ações internacionais sobre perigos químicos, especificando que, até o ano 2020, os produtos químicos deverão ser produzidos e utilizados de maneira a minimizar impactos negativos significantes sobre o meio ambiente e a saúde pública.

Em termos de proteção ambiental, particularmente no que concerne à conservação e ao reúso de água, a indústria química brasileira vem respondendo adequadamente aos preceitos estabelecidos no SAICM (ABIQUIM, 2008). Conforme mostrado na figura 5, as indústrias químicas associadas à Associação Brasileira de

Indústrias Químicas (Abiquim), apresentaram uma redução do indicador de consumo de água de 9,22 metros cúbicos por tonelada de produtos fabricados para 6,99, o que equivale a uma redução de aproximadamente 24%. Em termos de redução da emissão de efluentes, como mostrado na figura 6, o indicador variou de 4,19 metros cúbicos por tonelada de produto para 1,89, o que equivale a uma redução de aproximadamente 55%.

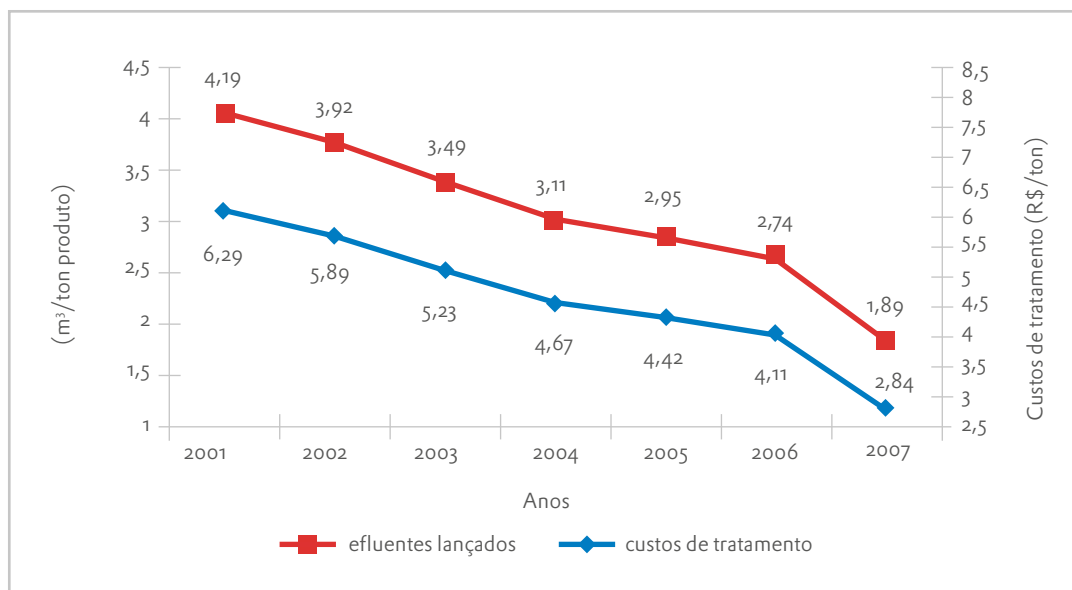
Essas variações extremamente positivas dos indicadores de consumo e de emissão de efluentes ocorreram, certamente, em função do crescimento da prática do reúso efetuado pelas empresas do setor. O aumento dessa prática, ocorrido durante um período de 6 anos, foi superior a 88%, variando de 3,7% de reúso sobre o total para 31,5%, conforme mostrado na figura 7.

Figura 5 - Indústria química nacional: resultado das medidas de gestão da demanda de água e a correspondente redução dos custos de tratamento.



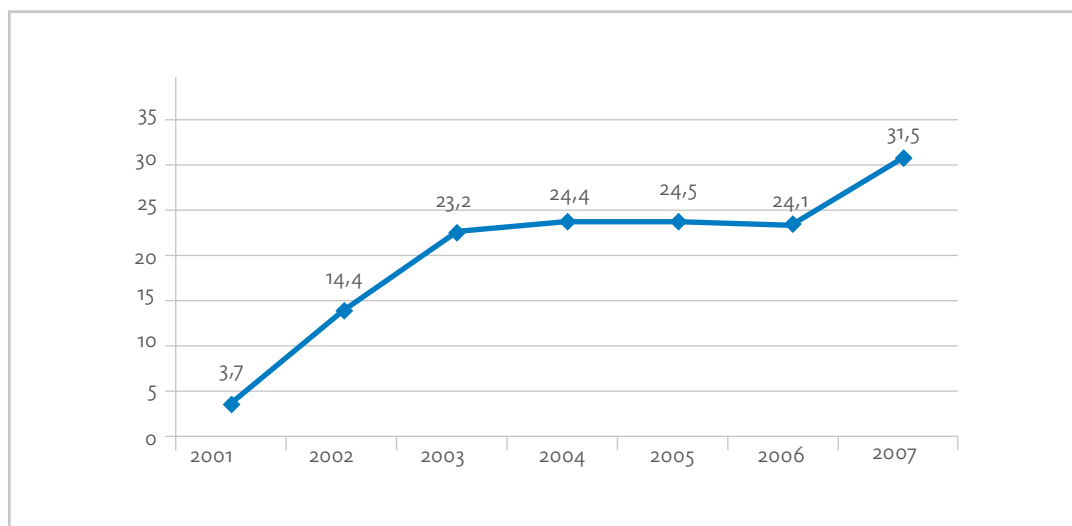
Fonte: Abiquim (2008).

Figura 6 - Indústria química nacional: redução da emissão de efluentes entre 2001 e 2007 e a correspondente redução dos custos de tratamento.



Fonte: Abiquim (2008).

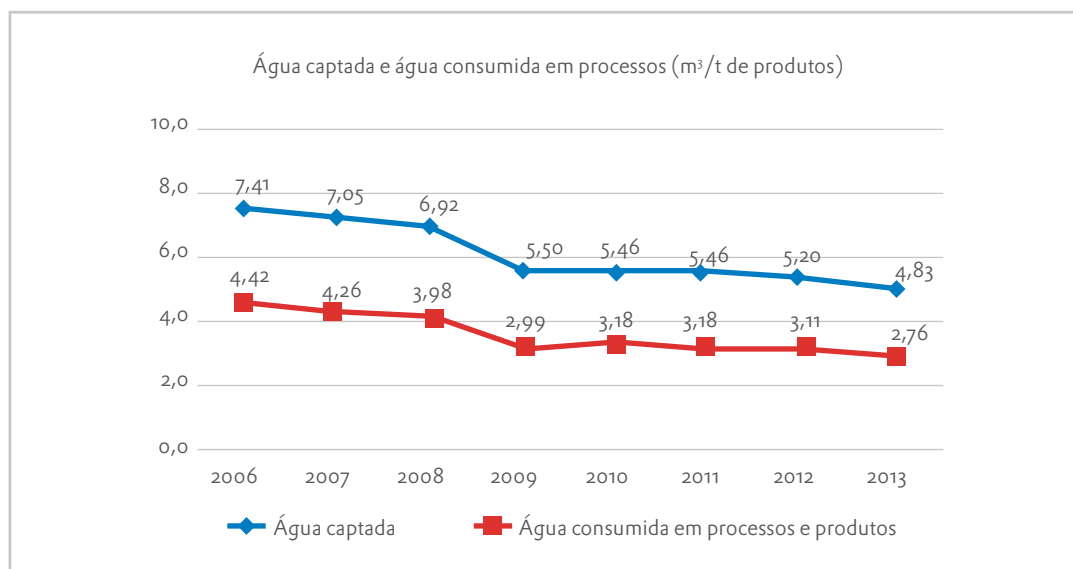
Figura 7 - Indústria química nacional: acréscimo da porcentagem de reúso de água entre 2001 e 2007.



Fonte: Abiquim (2008).

Dados mais recentes obtidos pela indústria química nacional no período 2006 a 2013 mostram que a gestão continuada da demanda leva a resultados ainda mais expressivos, como mostrado na figura 8 (ABIQUIM, 2013).

Figura 8 - Indústria química nacional: variação de água captada e consumida entre 2006 e 2013.



Fonte: Abiquim (2008).

2.3 OPORTUNIDADES E CONDICIONANTES PARA A SUSTENTABILIDADE INDUSTRIAL

O texto *"How Smart Companies Use Environmental Strategy to Innovate, Create Value and Build Competitive Advantage"*, subtítulo do livro *Green to Gold* (ESTY; WINSTON 2006), define, ao contrário do que alguns empresários ainda consideram como empecilho, a mais notória oportunidade para promover a sustentabilidade industrial. Os autores cunharam o termo *ecoadvantage*, que estabelece temas e oportunidades para o desenvolvimento de negócios em uma sociedade ambientalmente sensível. Além de salientar que empresas competentes criam vantagens competitivas por meio de gestão estratégica de desafios ambientais, adverte que decisões ambientais inadequadas podem gerar problemas de relações públicas, destruir mercados e carreiras e provocar a perda de bilhões. Companhias que

não incluem ideias ambientais aos seus arsenais estratégicos se arriscam a perder oportunidades em mercados que são continuamente moldados por fatores ambientais.

Outro resultado benéfico gerado pela aplicação de estratégias corretas de gestão ambiental é a obtenção de uma imagem empresarial positiva, ou ecoimagem, que pode trazer retornos superiores àqueles proporcionados por programas extensivos de propaganda e *marketing*.

Embora haja, atualmente, uma visão estratégica de se adaptar às demandas ambientais e às de saúde pública exigidas pelo mercado, a indústria está submetida a dois grandes instrumentos de pressão. De um lado, as imposições resultantes das relações do comércio internacional, ou seja, as normas e certificações ambientais e de saúde pública que, embora possam ter caráter exclusivo de protecionismo de mercados e produtos, exigem, cada vez mais, um comprometimento ambiental e higiênico da produção, particularmente daquela que é exportada; e, do outro lado, os recentes condicionantes legais e econômicos associados à gestão de recursos hídricos, particularmente os relativos à cobrança pelo uso da água (PIO, 2005).

Para adaptar-se a esse novo cenário, a indústria optou por aprimorar os processos industriais e desenvolver sistemas de gestão ambiental para atender às especificações do mercado interno e externo e implementar sistemas e procedimentos direcionados à gestão da demanda de água e à minimização da geração de efluentes.

2.4 USOS DA ÁGUA NA INDÚSTRIA

A água é um dos fatores condicionantes do desenvolvimento industrial e exerceu papel preponderante para dar impulso a um dos principais acontecimentos que alteraram, de forma significativa, a civilização ocidental – a Revolução Industrial.

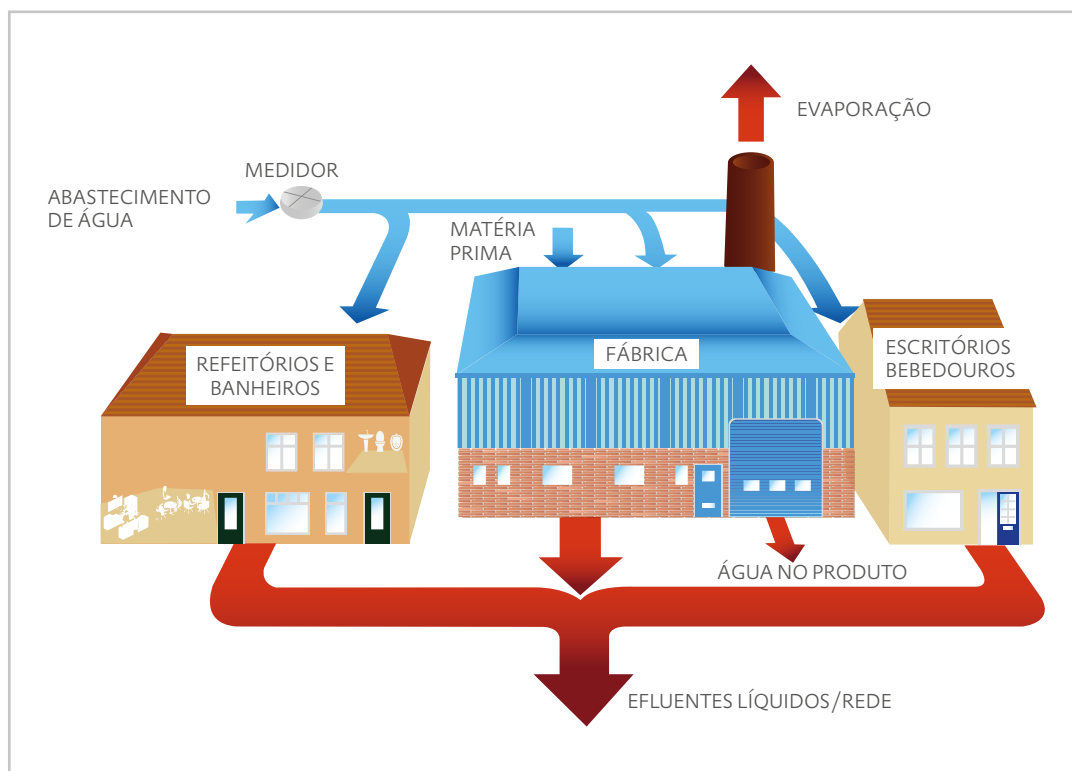
A grande Revolução Industrial teve início em meados do século XVIII, na Inglaterra, no setor da indústria têxtil, em especial a partir de 1764, ano em que James Hargreaves inventou a sua famosa máquina *Spinning Jenny*, que consistia numa máquina de fiar que multiplicou a produção 24 vezes em relação ao rendimento das antigas rocas tanto de lã quanto de algodão (BURNS, 1995).

As primeiras máquinas produzidas permitiam que os fiandeiros continuassem a trabalhar em suas casas, mas, na medida em que aumentavam de tamanho, passaram a ser instaladas nas oficinas ou fábricas, localizadas obrigatoriamente próximas dos cursos d'água, que até então representavam a principal fonte de força motriz disponível – a energia hidráulica.

A segunda maior utilização da água na indústria veio a seguir em 1769, quando James Watts, um engenheiro escocês, patenteou seu motor a vapor, que gradualmente substituiu a água como força motriz (BURNS, 1995).

Atualmente, de maneira genérica, pode-se dizer que a água encontra inúmeras aplicações na indústria, conforme mostra a figura 9.

Figura 9 - Principais usos da água numa fábrica.



Fonte: adaptado de Environwise, UK (2002).

- **Sanitário:** água utilizada em ambientes sanitários, vestiários, cozinhas e refeitórios, bebedouros, equipamentos de segurança (lava-olhos, por exemplo) ou em qualquer atividade doméstica com contato humano direto.
- **Matéria-prima:** como matéria-prima, a água será incorporada ao produto final, a exemplo do que ocorre nas indústrias de cervejas e refrigerantes, de produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica, de cosméticos, de alimentos e conservas e de fármacos, ou então, a água é utilizada para a obtenção de outros produtos, por exemplo, o hidrogênio por meio da eletrólise da água.
- **Fluido auxiliar:** a água como fluido auxiliar pode ser utilizada em diversas atividades, destacando-se a preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículo ou, ainda, para as operações de lavagem.
- **Geração de energia:** para este tipo de aplicação, a água pode ser utilizada por meio da transformação da energia cinética, potencial ou térmica,

acumulada na água, em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica.

- **Fluido de aquecimento e/ou resfriamento:** nesses casos, a água é utilizada como fluido de transporte de calor para remoção do calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitem de resfriamento devido à geração de calor ou, então, devido às condições de operação estabelecidas, pois a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do sistema, bem como danificar algum equipamento.
- **Outros usos:** utilização de água para combate a incêndio, rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, seja na fase sólida, líquida ou gasosa.

A utilização de água para cada uma dessas aplicações varia em termos da quantidade e, principalmente, dos requisitos de qualidade necessárias ao adequado desenvolvimento das diversas atividades consumidoras em uma indústria.

Esses requisitos variam também em função do ramo de atividade da indústria, que determina as características de qualidade da água a ser utilizada, ressaltando-se que, em uma mesma indústria, podem ser utilizadas águas com diferentes níveis de qualidade. Por outro lado, o porte da indústria irá definir qual a quantidade de água necessária para cada aplicação, em função da sua respectiva capacidade de produção.

2.4.1 INDICADORES DE CONSUMO DE ÁGUA DAS INDÚSTRIAS

A quantidade de água necessária ao atendimento das diversas atividades industriais, além de variar em função do ramo de atividade e da capacidade de produção, é influenciada ainda por vários fatores, tais como condições climáticas da região, disponibilidade de água, método de produção, idade das instalações, prática operacional, cultura local, inovação tecnológica, investimentos em pesquisa etc.

Por essas razões, se considerarmos indústrias que são do mesmo ramo de atividade e tenham a mesma capacidade de produção, porém instaladas em diferentes regiões, ou que tenham “idades” diferentes, a probabilidade do volume de água consumido em cada instalação não ser equivalente é muito grande.

De qualquer maneira, considerando a necessidade de se otimizar a utilização da água por todos os segmentos industriais, apresenta-se, neste capítulo, alguns indicadores encontrados na bibliografia internacional. É importante destacar que, embora os valores apresentados possam estar desatualizados, tendo em vista que novas tecnologias são constantemente lançadas no mercado, o objetivo é de que os mesmos possam ser úteis como valores de referência.

Um dos grandes benefícios dos indicadores de consumo de água para a indústria é a possibilidade de se avaliar sua eficiência quanto ao uso da água, objetivando a melhoria dos processos que utilizam água, minimizando os impactos gerados, seja pelo aspecto qualitativo, bem como, pelo quantitativo. Além disso, por meio dos indicadores, há possibilidade de *benchmarking* entre indústrias de mesmo segmento, bem como das indústrias nacionais com as internacionais.

Na tabela 3, são apresentados dados internacionais de distribuição do consumo de água na indústria por tipo de atividade.

Tabela 3 - Distribuição do consumo de água na indústria por atividades.

INDÚSTRIA	DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA (%)		
	RESFRIAMENTO SEM CONTATO	PROCESSOS E ATIVIDADES AFINS	USO SANITÁRIO E OUTROS
Alimentos e bebidas			
Abatimento e limpeza de aves	12	77	12
Açúcar de beterraba	31	67	2
Açúcar de cana-de-açúcar	30	69	1
Bebidas maltadas	72	13	15
Carne enlatada	42	46	12
Frutas e vegetais congelados	19	72	8
Frutas e vegetais enlatados	19	67	13
Laticínios	53	27	19
Moagem de milho a úmido	36	63	1
Ferro e aço			
Aço	56	43	1
Alumínio primário	72	26	2
Automóveis	28	69	3
Cobre primário	52	46	2
Fundição de ferro e aço	34	58	8
Papel e celulose			
Fábricas de celulose e papel	18	80	1
Fibras de celulose sintéticas	69	30	1
Fibras orgânicas não celulósicas	94	6	+
Produtos químicos			
Borracha sintética	83	17	+
Cloro e álcalis	85	14	1
Fertilizantes fosfatados	71	28	1
Fertilizantes nitrogenados	92	8	+
Gases industriais	86	13	1
Materiais plásticos e resinas	93	7	+
Negro de fumo	57	38	6
Pigmentos inorgânicos	41	58	1
Produtos químicos inorgânicos	83	16	1
Produtos químicos orgânicos	91	9	1
Refinaria de petróleo	95	5	+
Tintas e pigmentos	79	17	4
Diversos			
Serrarias	58	36	6
Cimento	82	17	1
Pneus	81	16	3
Indústria têxtil	57	37	6

Obs.: (+) valor inferior a 0,5% do volume total de água consumido.

Fonte: adaptado de Van Der Leeden, Troise e Todd (1990).

Como fonte de referência, apresentam-se, no Anexo I, indicadores internacionais gerais por segmento industrial do ano de 1990. É importante destacar que esses indicadores estão desatualizados e que, atualmente, devido aos avanços tecnológicos e a crescente preocupação com o meio ambiente, a maioria das empresas nacionais já deve operar com consumo de água bem menor que o especificado na referida tabela. Isso não quer dizer, no entanto, que o potencial de racionalização do uso da água no Brasil já esteja esgotado. O que de fato ocorre é que, à medida que as legislações ambientais se tornam cada vez mais restritivas e novas tecnologias de conservação da água vão surgindo, as indústrias tenderão a reduzir continuamente o uso da água em suas instalações.

2.4.2 REQUISITOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água é definida em função de características físicas, químicas, microbiológicas e radioativas. Para cada tipo de aplicação, o grau de qualidade exigido pode variar significativamente:

- **Consumo humano:** água potável, atendendo às características estabelecidas pela Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade: Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>.
- **Matéria-prima:** para este tipo de uso, o grau de qualidade da água pode variar significativamente, podendo-se admitir a utilização de uma água com característica equivalente ou superior à da água utilizada para consumo humano, tendo-se como principal objetivo a proteção da saúde dos consumidores finais e/ou a garantia da qualidade final do produto.
- **Fluido auxiliar:** da mesma forma que a água é utilizada como matéria-prima, o grau de qualidade da água para uso como um fluido auxiliar irá depender do processo a que ela se destina. Caso essa água entre em contato com o produto final, o grau de qualidade será mais ou menos restritivo, em função do tipo de produto que se deseja obter. Não havendo contato da água com

o produto final, ela poderá apresentar um grau de qualidade menos restritivo que o da água para consumo humano, principalmente com relação à concentração residual de agentes desinfetantes.

- **Geração de energia:** dependendo do processo de transformação utilizado, a água deverá apresentar graus muito diferentes de qualidade. No aproveitamento da energia potencial ou cinética, a água é utilizada no seu estado natural, podendo utilizá-la na forma bruta, captada de um rio, lago, ou outro sistema de reservação, devendo-se impedir que materiais de grandes dimensões, detritos, danifiquem os dispositivos de geração de energia. Já para o aproveitamento da energia térmica, após aquecimento e vaporização da água por meio do fornecimento de energia térmica, ela deve apresentar elevado grau de qualidade, para que não ocorram problemas nos equipamentos de geração de vapor ou no dispositivo de conversão de energia.
- **Fluido de aquecimento e/ou resfriamento:** para a utilização da água na forma de vapor, o grau de qualidade deve ser bastante elevado, enquanto a utilização da água como fluido de resfriamento requer um grau de qualidade bem menos restritivo, deve-se considerar a proteção e a vida útil dos equipamentos com os quais essa água irá entrar em contato.

Nas tabelas 4, 5 e 6, são apresentados alguns dados sobre requisitos de qualidade da água para aplicações industriais. Deve-se considerar que muitas aplicações exigem que maior número de parâmetros seja atendido, de modo que sejam minimizados os riscos ao processo, ao produto ou ao sistema nos quais essa água será utilizada.

Os requisitos e cuidados com a qualidade da água a ser utilizada como fluido de aquecimento e/ou resfriamento, por ser de ampla utilização por todos os segmentos industriais, estão detalhados no capítulo 4 “Água de Utilidades”, deste Manual.

Tabela 4 - Padrões de Qualidade recomendados para resfriamento e geração de vapor.

PARÂMETRO*	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	GERAÇÃO DE VAPOR – CALDEIRAS		
		BAIXA PRESSÃO (< 10 BAR)	MÉDIA PRESSÃO (10 A 50 BAR)	ALTA PRESSÃO (> 50 BAR)
Alcalinidade	350	350	100	40
Alumínio	0,1	5,0	0,1	0,01
Bicarbonato	24	170	120	48
Cálcio	50	+	0,4	0,01
Cloretos	500	+	+	+
Cobre	--x--	0,5	0,05	0,05
Compostos orgânicos++	1,0	1,0	1,0	0,5
DBO	25	--x--	--x--	--x--
DQO	75	5,0	5,0	1,0
Dureza	650	350	1,0	0,07
Fosfato	4,0	--x--	--x--	--x--
Magnésio	0,5	+	0,25	0,01
Nitrogênio Amoniacal	1,0	0,1	0,1	0,1
Oxigênio dissolvido	--x--	2,5	0,007	0,0007
pH	6,9 a 9,0	7,0 a 10,0	8,2 a 10,0	8,2 a 9,0
Sílica	50	30	10	0,7
Sólidos dissolvidos totais	500	700	500	200
Sólidos suspensos totais	100	10	5	0,5
Substâncias extraídas em tetracloreto de carbono	--x--	1	1	0,5
Sulfato	200	+	+	+
Sulfeto de hidrogênio	--x--	+	+	+
Turbidez	50	--x--	--x--	--x--
Zinco	--x--	+	0,01	0,01

Obs.: DQO: demanda química de oxigênio.

--x-- limites recomendados em g/L, exceto para pH, que é expresso em unidades.

+ aceito como recebido, caso sejam atendidos outros valores-limite.

++ substâncias ativas ao azul de metileno.

Fonte: adaptado de Crook (1996).

Tabela 5 - Dados de Qualidade da Água para uso na Indústria Farmacêutica.

PARÂMETRO	ÁGUA PURIFICADA	ÁGUA PARA INJETÁVEIS
Bactérias**	100 UFC/mL	10 UFC/mL
Carbono orgânico total*	500 partes por bilhão (G)	
Condutividade elétrica	Estágio 1: <1,3 mS/cm	
	Estágio 2: < 2,1 mS/cm	
	Estágio 3: valor associado à medida do pH	
Endotoxinas	-	< 0,25 EU
pH	5 a 7	5 a 7

Nota: * pode-se utilizar o teste para substâncias oxidáveis em substituição a esse parâmetro.

** somente como recomendação.

Fonte: adaptado de United States Pharmacopeia - USP 1999.

Tabela 6 - Requisitos de qualidade de água para uso industrial.

INDÚSTRIA E PROCESSO	PARÂMETROS (G/L, EXCETO QUANDO ESPECIFICADO O VALOR)															
	COR (UH)	ALCALINIDADE (CACO3)	CLORETO	DUREZA (CACO3)	FERRO	MANGANÊS	NITRATO	PH (UNIDADES)	SULFATO	SDT	SÓLIDOS SUSPENSOS	SÍLICA	CÁLCIO	MAGNÉSIO	BICARBONATO	
DIVERSAS																
Cimento		400	250		25	0,5	0	6,5 – 8,5	250	600	500	35				
Curtimento de couro	5		250	150	50			6,0 – 8,0					60			
Frutas e vegetais enlatados	5	250	250	250	0,2	0,2	10	6,5 – 8,5	250	500	10	50	100			
Refrigerantes	10	85			0,3	0,05										
Ferro e aço																
Laminação a frio								5/set			10					
Laminação a quente								5/set								
Papel e celulose																
Branqueado	10		200	100	0,1	0,05		6/out			10	50	20	12		
Não branqueado	30		200	100	1	0,5		6/out			10	50	20	12		
Processo mecânico	30		1000		0,3	0,1		6/out								
Processo químico																
Produtos químicos:																
Borracha sintética	2	2	0	0	0,005	0,005	0	7,5 – 8,5	0	2	2	0,05	0	0	0	0,5
Carvão de alcatrão	5	50	30	180	0,1	0,1		6,5 – 8,3	200	400	5		50	14	60	

Cloro e álcali	10	80	140	0,1	0,1	6,0 – 8,5			10	40	8	100
Compostos inorgânicos	5	70	250	0,1	0,1	6,5 – 7,5	90	425	5	60	25	210
Compostos orgânicos	5	125	170	0,1	0,1	6,5 – 8,7	75	250	5	50	12	128
Explosivos	8	100	150	0,1	0,1	6,8	150	200	5	20	10	120
Fertilizantes	10	175	250	0,2	0,2	6,5 – 8,5	150	300	10	25	20	210
Madeira e resinas	200	200	900	0,3	0,2	6,5 – 8,0	100	1000	30	50	50	250
Petróleo			350	1		6,0 – 9,0		1000	10	75	30	
Plásticos e resinas	2	1	0	0,005	0,005	7,5 – 8,5	0	1	2	0,02	0	0,1
Produtos farmacêuticos	2	2	0	0,005	0,005	7,5 – 8,5	0	2	2	0,02	0	0,5
Sabão e detergentes	5	50	130	0,1	0,1		150	300	10	30	12	60
Tintas	5	100	150	0,1	0,1	6,5	125	270	10	37	15	125
Têxtil:												
Branqueamento	5		25	0,1	0,01	2,0 – 10,5		100	5			
Engomagem	5		25	0,3	0,05	6,5 – 10,0		100	5			
Lavagem	5		25	0,1	0,01	3,0 – 10,5		100	5			
Tingimento	5		25	0,1	0,01	3,5 – 10,0		100	5			

Obs.: uH – unidade Hazen (mg Pt-Co/L).
Fonte: Nemerow e Dasgupta (1991).

Os dados apresentados nas tabelas anteriores são valores indicativos, pois muitos se referem a indústrias de outros países, mas que podem ser úteis para uma avaliação inicial.

Outra observação a ser feita é que o grau de qualidade da água requerido atualmente para um determinado uso pode ser muito diferente do grau de qualidade da água que tenha sido utilizada por muitos anos no passado ou que venha a ser utilizado no futuro, pois, com o desenvolvimento tecnológico, com problemas associados à escassez de recursos naturais e poluição, podem surgir restrições com relação ao uso da água com o grau de qualidade até então considerado adequado.

2.4.3 ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES

2.4.3.1 TRATAMENTO DE ÁGUA

Como a água pode ser utilizada para as mais variadas finalidades na indústria, deverá apresentar padrões de qualidade que sejam compatíveis com os usos pretendidos. Normalmente, a água disponível em rios, lagos, lençóis subterrâneos, ou qualquer outra fonte, pode apresentar, em sua composição, ampla variedade de compostos ou substâncias químicas, micro-organismos e outros elementos, os quais, para muitas aplicações industriais, podem ser considerados contaminantes.

Assim sendo, recomenda-se uma análise sistemática da qualidade das águas a serem posteriormente utilizadas, como garantia da qualidade dos produtos, equipamentos e saúde dos grupos de risco envolvidos, o que pode implicar a necessidade de adequar as suas características aos padrões de qualidade exigidos para as diferentes finalidades a que se destina.

Para tanto, podem ser utilizados diversos sistemas de tratamento, que, compondo diversas operações e processos unitários, sejam capazes de remover os contaminantes indesejáveis. O quadro 2 relaciona os potenciais contaminantes presentes na água em função de sua origem.

Quadro 2 - Potenciais contaminantes presentes na água em função de sua origem.

TIPO DE MANANCIAL		PRINCIPAIS CONTAMINANTES
Superficial	Rios	Areia, material coloidal, sólidos em suspensão, compostos orgânicos, sais dissolvidos, bactérias, vírus e protozoários.
	Lagos ou represas	Sais dissolvidos, material coloidal, compostos orgânicos, algas, endotoxinas, bactérias, vírus, protozoários e gases dissolvidos.
Águas subterrâneas		Amônia, gás sulfídrico, metais dissolvidos, compostos orgânicos, sais dissolvidos.
Águas pluviais*		Sólidos em suspensão, compostos orgânicos, sólidos dissolvidos e micro-organismos.

Nota: * depende das características do reservatório onde a água é coletada.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

De acordo com o tipo de manancial utilizado como fonte de abastecimento, devem ser adotados procedimentos específicos para adequar as características da água disponível aos requisitos de qualidade exigidos para uso, o que está diretamente relacionado aos contaminantes presentes.

De modo geral, os diversos contaminantes presentes na água podem ser agrupados em categorias distintas, as quais podem ser relacionadas com as técnicas de tratamento mais indicadas, conforme apresentado na tabela 7.

Tabela 7 - Principais categorias de contaminantes presentes na água e tecnologias para sua remoção.

TÉCNICA DE TRATAMENTO	CATEGORIA DE CONTAMINANTES					
	SÓLIDOS DISSOLVIDOS IONIZÁVEIS	GASES DISSOLVIDOS IONIZÁVEIS	COMPOSTOS ORGÂNICOS DISSOLVIDOS	PARTICULADOS	BACTÉRIAS E VÍRUS	ENDOTOXINAS
Abrandamento	B	NE	NE	B	NE	NE
Carvão ativado	NE	Nec	E / B-	NE	NE	NE
Coagulação, floculação e sedimentação	NE	NE	NE	E	NE	NE
Deionização, eletrodialise e eletrodeionização	E	E	NE	NE	NE	NE
Desinfecção com radiação ultravioleta	NE	NE	Nee	NE	Bf	NE
Evaporação	E / B-	NE	B	E	E	E
Filtração em meio granular ou poroso	NE	NE	NE	E	NE	NE
Microfiltração	NE	NE	NE	E	NE	NE
Osmose reversa	Bb	NE	B	E	E	E
Oxidação ou Redução Química g e h	B	B	B	NE	B	E-
Ultrafiltração	NE	NE	NE	E	E	NE

Obs.: E = eficaz (remoção completa ou quase total).

B = bom (remoção de grandes porcentagens).

NE = não eficaz (baixa remoção ou ineficaz).

Fonte: Elaborado pelo Autor.

a) A resistividade da água produzida por destilação é menor que aquela obtida pelo processo de deionização, principalmente devido à presença de CO₂.

b) A concentração residual de sólidos dissolvidos ionizáveis depende da concentração na água de alimentação.

c) O carvão ativado irá remover o cloro residual.

d) Alguns tipos de carvão apresentam capacidade para remover traços de compostos orgânicos.

- e) Alguns sistemas por radiação ultravioleta são especificamente projetados para remoção de compostos orgânicos.
- f) Os sistemas de radiação por ultravioleta, embora não removam fisicamente as bactérias e os vírus, apresentam capacidade para a inativação de vários micro-organismos.
- g) Uso de variados agentes químicos.
- h) Pode transformar o contaminante em uma espécie menos tóxica.
- i) A oxidação só ocorre por meio do uso de agentes oxidantes específicos.
- j) Possibilita a remoção de íons responsáveis pela dureza da água.

Geralmente, para que seja possível obter água no grau de qualidade exigido para um determinado uso, é necessário combinar duas ou mais técnicas de tratamento, o que só poderá ser definido com base nas características da água disponível e nos requisitos de qualidade exigidos para uso.

No caso do uso da água para fins industriais, já existe uma base de dados bastante extensa relacionada às principais tecnologias de tratamento disponíveis, assim como já existe no mercado ampla variedade de equipamentos e sistemas de tratamento de água, os quais podem produzir água com os diversos níveis de qualidade exigidos.

Entretanto é mais conveniente e pode ser muito mais econômico contratar previamente estudos de concepção, nos quais já são considerados os aspectos de conservação e reúso de água e que definam, adequadamente, quais os processos e as operações unitárias necessárias para cada caso.

Recomenda-se ainda que, para grandes sistemas ou para efluentes que apresentem dificuldades para serem tratados, a elaboração de estudos de tratabilidade utilizando unidades-piloto, para determinar quais são os sistemas de tratamento mais eficientes, os respectivos parâmetros de projeto e as características e problemas operacionais.

Apenas após essa fase de avaliação preliminar, na qual são devidamente especificadas as operações e os processos unitários adequados é que poderão ser

elaborados os projetos básicos e executivos e serem contatados fornecedores de equipamentos e de sistemas de tratamento.

Dessa forma, verifica-se que a questão relacionada ao tratamento de água para uso industrial não é uma condição limitante para o desenvolvimento de iniciativas que visem promover o uso racional desse recurso.

A principal preocupação com relação ao tratamento de água para uso industrial recai sobre a estratégia a ser desenvolvida para obtenção dos melhores resultados para o atendimento das demandas de água nos vários níveis de qualidade exigidos.

A estratégia mais adequada para definição do sistema de tratamento de água consiste na execução das seguintes atividades:

1. Identificar todas as demandas de água existentes e os respectivos requisitos de qualidade exigidos para uso, ou seja, a especificação da qualidade da água.
2. Identificar as técnicas de tratamento para adequar a qualidade da água disponível aos requisitos exigidos para as diferentes finalidades a que se destina.
3. A partir da água produzida no sistema de tratamento principal, identificar as técnicas de tratamento específicas, para adequar a qualidade da água aos requisitos de qualidade dos usos mais exigentes.
4. Sempre que possível, nos sistemas que produzem água com elevado grau de qualidade (com limites baixos de especificação dos parâmetros que contém a água), verificar o potencial de aproveitamento ou a recirculação dos efluentes gerados.

2.4.3.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES

Em qualquer atividade industrial desenvolvida, utilizam-se matérias-primas e insumos para a obtenção de produtos manufaturados. Em geral, nenhum processo de transformação apresenta 100% de eficiência na conversão das matérias-primas em produtos e nem todos os insumos utilizados irão compor o produto final. Isto implica a geração de resíduos nas mais variadas formas, inclusive como efluentes,

uma vez que a água é amplamente utilizada com a finalidade de assimilar e transportar contaminantes.

As características e a quantidade dos efluentes irão depender, principalmente, do ramo de atividade da empresa, capacidade de produção e método de produção utilizado.

Como exigência da legislação e com o objetivo de reduzir os impactos sobre o meio ambiente, principalmente sobre os recursos hídricos, as indústrias devem coletar e tratar os seus efluentes, antes do seu lançamento final, seja na rede pública, seja diretamente em rios e lagos.

De maneira similar ao que ocorre quando da seleção de tecnologias para tratamento da água para uso industrial, o tratamento de efluentes deve ser realizado por meio da utilização de operações e processos unitários que sejam capazes de reduzir a concentração dos contaminantes presentes para níveis compatíveis com os padrões de emissão estabelecidos em normas ou a níveis adequados para formas de reúso subsequentes.

No âmbito nacional, os padrões de emissão de efluentes foram estabelecidos pela Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005, do Ministério do Meio Ambiente (MMA), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. A Resolução Conama nº 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conama. Cada estado da Federação pode ainda estabelecer padrões complementares ou mais restritivos.

Em muitos casos, o tratamento de efluentes pode ser realizado utilizando-se as mesmas tecnologias normalmente utilizadas para tratamento de água, mas, muitas vezes, torna-se necessário lançar mão do uso de outras tecnologias, as quais

são específicas para a remoção dos contaminantes presentes nos efluentes. Na tabela 8, são apresentadas as principais tecnologias disponíveis para tratamento de efluentes e a sua eficiência para redução de alguns contaminantes.

Tabela 8 - Tecnologias para tratamento de efluentes.

VARIÁVEIS	TÉCNICAS DE TRATAMENTO							
	TRATAMENTO PRIMÁRIO	LODOS ATIVADOS	NITRIFICAÇÃO	DESNITRIFICAÇÃO	FILTRO BIOLÓGICO	BIODISCO	COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO, SEDIMENTAÇÃO	STRIPPING
Alcalinidade		B					B	NE
Arsênio	B	B	B				B	NE
Bário		B	NE				B	NE
Cádmio	B	E	E		NE	B	E	NE
Chumbo	E	E	E		B	E	E	NE
Cobre	B	E	E		E	E	E	NE
Cor	NE	B	B		NE		E	
COT	B	E	E	NE	B		E	NE
Cromo	B	E	E		NE	E	E	NE
CT		E	E		NE		E	NE
DBO	B	E	E	NE	E	E	E	NE
DQO	B	E	E	NE	E		E	NE
Ferro	B	E	E		B	E	E	NE
Flúor							B	NE
Fósforo	NE	B	E	E			E	NE
Manganês	NE	B	B		NE		B	NE
Mercúrio	NE	NE	NE		NE	E	NE	NE
NH3-N	NE	E	E	B		E	NE	E
NO3-N				E			NE	NE
Óleos e graxas	E	E	E				B	NE
Prata	E	E	E		B		E	NE
Selênio	NE	NE	NE				NE	NE
SST	E	E	E	NE	E	E	E	NE
Substâncias Tensoativas	B	E	E		E		B	
Turbidez	B	E	E	NE	B		E	
Zinco	B	B	E		E	E	E	NE

Legenda: E = eficaz (remoção completa ou quase total).

B = bom (remoção de grandes porcentagens).

NE = não eficaz (baixa remoção ou ineficaz).

Obs. : as células em branco denotam insuficiência de dados, resultados não conclusivos ou aumento da concentração.

Fonte: adaptado de Metcalf e Eddy (2003).

Em função das características dos efluentes de determinados segmentos industriais, pode ser necessário promover a combinação entre duas ou mais tecnologias, para que sejam obtidos resultados satisfatórios. Outro aspecto a ser considerado diz respeito à estruturação do sistema de coleta, transporte e tratamento dos efluentes, quando se pretende implantar um programa de reúso, não sendo recomendada opção direta por um sistema centralizado para tratamento de efluentes, antes de efetuar uma avaliação do potencial de prática de reúso em cascata e outras opções que possam conduzir a melhores resultados.

É importante ressaltar, finalmente, que já se encontram disponíveis no mercado brasileiro tecnologias avançadas de tratamento de efluentes para reúso com custos competitivos. A produção de efluentes com qualidade elevada pode ser efetuada por meio de bioreatores de membranas submersas (*submerged membrane bioreactor – SMBR*), bioreatores de leito móvel (*moving bed bioreactors – MBBR*) e processos oxidativos avançados.

Tantos os setores industriais como os setores privados (condomínios, *shopping centers*, edifícios públicos e privados e companhias de saneamento básico) empregam com benefícios econômicos, principalmente, os biorreatores de membranas submersas para produzir efluentes de qualidade elevada para reúso. Essa tecnologia compreende a combinação de um processo biológico de alta taxa e outro de separação por membranas de micro ou de ultrafiltração, tendo alcançado, nos últimos 15 anos, uma inserção considerável no mercado de tratamento de águas residuárias, com mais de 2.200 instalações em todo o mundo em 2004. Estima-se um valor do mercado global de aproximadamente US\$ 216,6 milhões com crescimento a uma taxa média anual de 10,9%. Além do seu aumento em número, as instalações de SMBR estão aumentando também em termos de escalas. Na Inglaterra, na Alemanha e na Itália, existem estações com biorreatores de membranas submersas para tratamento de esgotos sanitários operando com vazão superior a 500 m³/h.

O recente crescimento de instalações de tratamento de esgotos sanitários por biorreatores de membranas submersas, além de estar relacionado às vantagens

intrínsecas em relação ao sistema convencional de lodos ativados, sobretudo pela elevada qualidade e consistência do efluente e pequena área necessária para instalação do sistema, é resultado também da maior confiabilidade nos equipamentos de membranas e da diminuição do seu custo de produção, bem como do melhor entendimento do processo MBR.

Também é importante observar que, em muitos casos, dependendo das dimensões do projeto, é fundamental a realização de ensaios de tratamento, tanto em escala de laboratório, quanto em escala-piloto, para definição da melhor tecnologia de tratamento a ser empregada, para avaliar os custos envolvidos e para detectar eventuais problemas de operação e manutenção que possam ocorrer nos sistemas em escala real.

A identificação de tecnologias e definição do sistema de tratamento de efluentes deve seguir o roteiro a seguir:

1. Identificação, quantificação e caracterização de todas as correntes de efluentes geradas, ou seja, identificação das fontes geradoras de efluentes, com sua respectiva vazão e caracterização.
2. Avaliação do aproveitamento de correntes específicas de efluentes para aplicação da prática de reúso em cascata.
3. Verificação da necessidade de segregação de correntes específicas de efluentes, as quais podem requerer um tratamento exclusivo.
4. Identificação de tecnologias com potencial para o tratamento dos efluentes identificados.
5. Desenvolvimento de ensaios de tratamento (ensaios de tratabilidade) ou consulta a fornecedores especializados, para verificar o potencial de utilização das tecnologias identificadas.
6. Estruturação do sistema coleta (armazenamento), transporte (bomba e tubulação) e tratamento dos efluentes (tecnologia para remoção de um ou mais contaminantes presentes no efluente).

REFERÊNCIAS

ABIQUIM. Relatório de atuação responsável 2008. São Paulo. v. 4, 2007.

ANÁLISE-GESTÃO AMBIENTAL, ANUÁRIO 2007. A gestão ambiental das maiores empresas do Brasil. São Paulo: [s.n.], [20--?].

ASANO, T. Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library. Lancaster, v. 10, 1528 p. 1998.

BURNS, E. M. Historia da civilização ocidental, 36. ed. São Paulo: Globo, 1995.

CROOK, J. Water reclamation and reuse. Water resources handbook. MAYS, Larry W. [S.I.]: McGraw-Hill, 1996.

DONAIRE, D. Gestão ambiental na empresa. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

ESTY, D.C.; WINSTON, A.S. Green to gold: how smart companies use environmental strategy to innovate, create value, and build competitive advantage. New Haven: Yale University Press, 2006.

HESPANHOL, I. A new paradigm for urban water management and how industry is coping with it. In: JIMENEZ, B.; ASANO, T. (Eds.). Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs. Scientific and technical report. Londres, n. 20, p. 467-482.

METCALF & EDDY. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4. ed. [S.I.]: McGraw-Hill, 2003.

NEMEROW, N. L.; DASGUPTA, A. Industrial and hazardous waste treatment, New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

PIO, A. A. B. Reflexos da gestão de recursos hídricos para o setor industrial paulista. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PIO, A. A. B. Tecnologias e metodologias disponíveis e o dimensionamento do papel público-privado para a boa aplicação da gestão ambiental na indústria. Seminário Internacional de Meio Ambiente, Indústria e Sustentabilidade, X. SIMAI, 14 nov. São Paulo, 2008.

THE UNITED STATES PHARMACOPEIA. The national formulary: (USP 24). Rockville: The United States Pharmacopeial Convention, 1999.

VAN DER LEEDEN, F; TROISE, F.L., TODD, D. K. The water encyclopedia. 2. ed. Michigan: Lewis Publishers, 1990.

3

GESTÃO DA DEMANDA E DA OFERTA DE ÁGUA

Ivanildo Hespagnol

Professor titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e diretor do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água (Cirra/IRCWR) da USP.

3.1 INTRODUÇÃO

A primeira etapa para estabelecimento de um programa de gestão de água na indústria concentra-se na gestão da demanda, que visa à redução do consumo por meio da adoção de medidas associadas ao uso racional da água. Uma vez estabelecidas as características de consumo (quantidade e qualidade), deverá ser efetuada a gestão da oferta, que compreende a identificação e a avaliação de fontes opcionais que sejam técnica e economicamente, as mais adequadas ao atendimento da demanda, previamente estabelecida.

3.2 GESTÃO DA DEMANDA

A gestão da demanda é estabelecida por meio das seguintes ações básicas:

- Plano de setorização do consumo de água.
- Redução das perdas físicas (visíveis e invisíveis) e desperdícios.
- Controle de pressão e vazão.
- Rotina de manutenção.
- Adequação dos componentes e equipamentos hidráulicos.
- Adequação ou substituição dos processos industriais.
- Designação de um gestor de consumo de água para registro e controle da demanda.

3.2.1 SETORIZAÇÃO DO CONSUMO

Se não houver medição não haverá gerenciamento

Kaplan, *The Balanced Score Card* (2016)

A setorização do consumo é dirigida à caracterização do consumo em unidades específicas da indústria. Os dados emitidos por hidrômetros equipados com transmissores por radiofrequência são coletados, por meio de um *software* específico, e registrados em um computador central no setor de gerenciamento ambiental da indústria. Um sistema de setorização do consumo de água permite o acompanhamento do consumo específico de cada setor da indústria, possibilitando, também, a pronta localização de vazamentos internos e desperdícios significativos.

As etapas para estabelecer a setorização do consumo em uma indústria são as seguintes:

- Elaborar um plano de setorização, definindo setores específicos a serem monitorados nos quais serão instalados hidrômetros. Devem ser escolhidos os setores com maior consumo de água, como torres de resfriamento, processos sanitários, cozinhas, irrigação de áreas verdes, lavagem de veículos etc.
- Definir o traçado e o dimensionamento do sistema, estabelecendo diâmetros de tubulações e bitolas da fiação de demais componentes.
- Realizar levantamento da quantidade de hidrômetros, componentes do sistema (*software*, central de dados, tubulações e fiação).
- Elaborar um manual técnico com todas as informações do sistema para auxílio da etapa de gestão.

A setorização exige recursos para aquisição dos hidrômetros, de *softwares* específicos para gerenciamento dos dados, decodificadores e dispositivos de proteção dos pontos.

A setorização auxiliará na elaboração dos indicadores de consumo mais apropriados a cada setor e o tipo de uso da água na indústria, por exemplo, quantidade de água por unidade de produto produzido, quantidade de água por refeição preparada (cozinha industrial/refeitório) ou mesmo quantidade de água por funcionário e outros.

Informações adicionais são fornecidas no Documento Técnico de Apoio (DTA) D3 – Micromedição do Programa Nacional de Combate ao Desperdício (PNCDA) no *site* do Ministério das Cidades.

3.2.2 REDUÇÃO DE PERDAS FÍSICAS E DESPERDÍCIOS

Para eliminar as perdas e os desperdícios, é preciso elaborar procedimentos de operação de acordo com os diversos processos e necessidades existentes na indústria, de forma a utilizar menor quantidade de água para realizar as mesmas atividades, garantindo qualidade igual ou superior à proporcionada pelos procedimentos operacionais anteriores. Também é preciso organizar ações de conscientização e sensibilização dos usuários para que todos adotem as ações e medidas do programa de conservação da água.

Para identificar os vazamentos invisíveis, é preciso realizar testes, detectando perdas físicas de difícil localização de preferência sem a necessidade de procedimentos invasivos (reformas). Assim, os principais testes de vazamentos são:

- Teste do hidrômetro: identifica vazamento nos reservatórios, através da verificação da passagem de água pelo medidor, quando todos os pontos de utilização abastecidos diretamente pelo sistema público de água estão fechados.
- Teste de sucção: indica a presença de vazamento no alimentador predial sem o fechamento da entrada de água no reservatório superior (indicado quando a acessibilidade ao reservatório superior é complicada, dificultando o fechamento da torneira de boia para realização do teste do hidrômetro). Não é recomendável, pois corre-se o risco de contaminação do sistema de água potável utilizada na indústria ou em edificações gerenciais.
- Teste para detecção de vazamento em reservatório inferior.
- Teste para detecção de vazamento em reservatório superior.
- Teste para detecção de vazamento em bacias sanitárias.
- Teste de geofonia eletrônica: ajuda a determinar com exatidão o local de ocorrência de vazamentos não visíveis no alimentador predial.

- Teste da haste de escuta: ajuda a determinar com exatidão o local de ocorrência de vazamentos não visíveis no alimentador principal.

3.2.3 CONTROLE DE PRESSÃO E DE VAZAMENTOS

Em uma edificação, a pressão elevada pode aumentar as perdas físicas, aumentando a frequência de rupturas em trechos da tubulação e pontos de consumo ou devido ao fornecimento de água em quantidade superior à necessária em um ponto de consumo.

Para saber mais sobre o controle de pressão e vazão, consulte o *Guia Prático* do PNCD, volume 4 – *Controle de Pressões e Operação de Válvulas Reguladoras de Pressão*.

3.2.4 ROTINA DE MANUTENÇÃO

Para elaborar um plano de manutenção, tanto preventiva quanto corretiva, é preciso considerar os problemas de maior ocorrência em indústrias similares. O plano deverá conter uma especificação da periodicidade e dos procedimentos de levantamentos de campo para determinar quais pontos de consumo necessitam consertos e quais necessitam ser substituídos, qual o tempo necessário para os procedimentos e quais são os recursos necessários.

3.2.5 ADEQUAR COMPONENTES HIDRÁULICOS

Os componentes hidráulicos devem ser adequados aos usos específicos de cada ponto de consumo. Não se deve, aleatoriamente, optar por um equipamento economizador, mas sim o equipamento que proporcione maior conforto e otimização do consumo de água em cada ponto de consumo. Por exemplo, em uma pia de cozinha industrial, utilizar uma torneira hidromecânica, que é um equipamento economizador, não seria adequado, pois dificultaria o uso, podendo, inclusive,

aumentar o desperdício de água. Já uma torneira com abertura e fechamento por alavanca, mesmo sendo um equipamento convencional, seria mais adequada.

3.2.6 ADEQUAR OU SUBSTITUIR PROCESSOS INDUSTRIAIS

Alguns processos industriais podem ser adaptados ou mesmo substituídos por sistemas mais modernos, com maior produtividade e que utilizem menos água e/ou que gerem menor quantidade de efluentes. Esses investimentos, entretanto, podem apresentar custos elevados, devendo passar por uma avaliação econômica/financeira adequada, antes da tomada de decisão.

3.3 GESTÃO DA OFERTA

No capítulo 1, foi brevemente abordada a questão da gestão da oferta de água como uma das etapas de um programa de conservação de água, sendo que a avaliação de cada fonte alternativa, para as finalidades deste manual, serão a seguir analisadas em termos de vantagens, cuidados e restrições eventuais para cada tipo de fonte de abastecimento industrial.

A indústria deve analisar, dentro das restrições e potencialidades individuais, as possibilidades de reduzir ou até mesmo eliminar o abastecimento de água por meio de fontes tradicionais (recursos naturais superficiais e sistemas públicos de distribuição), concentrando esforços na avaliação de fontes opcionais, tais como tratamento e reúso dos efluentes gerados internamente à indústria, uso de águas de reúso (ou de utilidade) ofertadas por concessionárias (quando estas forem disponíveis), águas pluviais e água subterrânea coletadas no domínio das próprias empresas.

Entretanto a principal opção para uma planta industrial é, sem dúvida, a utilização de água de reúso, especialmente aquela derivada de seus próprios efluentes após

segregação, diretamente, ou com tratamento adequado, dependendo da qualidade da água necessária aos usos estabelecidos.

As opções para abastecimento industrial são as seguintes: concessionárias, águas superficiais, águas subterrâneas, águas pluviais e, principalmente, reúso dos efluentes industriais locais, ou água de reúso ou água de reúso (ou água de utilidades) fornecida por concessionárias.

3.3.1 CONCESSIONÁRIAS

As maiores responsabilidades das concessionárias de água são relativas à continuidade do fornecimento e à qualidade da água fornecida. A concessionária deve garantir o fornecimento contínuo de água, salvo casos de força maior. No entanto, como precaução, é fundamental que todo empreendimento tenha seu sistema independente de reserva de água para garantir o seu pleno funcionamento mesmo no caso de eventual interrupção.

Em termos de qualidade, a concessionária deve utilizar a melhor tecnologia de tratamento disponível para que a qualidade da água distribuída atenda, consistentemente, às variáveis de qualidade estabelecidas pela Portaria nº MS 2.914, de 12 de dezembro de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Na prática, a maioria dos usuários não tem a preocupação necessária de avaliar, preliminarmente, se os graus de qualidade da água recebida de concessionárias apresentam compatibilidade com suas necessidades de consumo, seja para consumo industrial, para descarga sanitária ou para irrigação.

Além do fornecimento de água potável, existem atualmente concessionárias que fornecem água de reúso, que pode, também, ser considerada como fonte opcional para usos específicos. A análise de aplicação da água de reúso deve considerar aspectos técnicos da qualidade da água fornecida, logística de distribuição, gestão da qualidade da água fornecida, proteção à saúde pública dos grupos de risco

correspondentes e avaliação econômica, considerando tarifa de fornecimento e, eventualmente, de custos de transporte.

Atualmente, na maioria dos casos, não existe a distribuição de água de reúso por meio de redes de distribuição, ocorrendo, normalmente, a distribuição por caminhões pipa. Além disso, na maior parte das vezes, as necessidades de qualidades específicas de determinada indústria diferem da qualidade da água de reúso fornecida, sendo necessário proceder a um tratamento complementar, como, por exemplo, produção de água desmineralizada ou para utilização em caldeiras de alta pressão.

Mesmo quando a fonte de abastecimento for a rede pública, as indústrias deverão ter um Sistema de Gestão da Água, pois, embora água potável seja fornecida, pode ocorrer contaminação em reservatórios ou tubulações da própria indústria, que não recebam a manutenção adequada.

Um dos aspectos a serem considerados pela indústria que utiliza água de sistemas públicos de distribuição, tanto em processos, quanto em utilidades ou torres de resfriamento, é verificar se essas águas não ultrapassam os níveis de qualidade requeridos por esses usos. É comum existir, na própria indústria, efluentes que, sem tratamento adicional, ou utilizando processos simples de tratamento, possam ser utilizados para substituir o consumo de água potável em algumas unidades, reduzindo substancialmente os custos associados ao abastecimento. A questão que deve ser levantada é se, na realidade, é necessária água potável para um determinado uso industrial, ou se águas de menor qualidade obtidas através de reúso possam substituí-las, com ou sem necessidade de tratamento complementar.

3.3.2 ÁGUAS SUPERFICIAIS

Para usuários que necessitam de grandes volumes de águas, uma das principais fontes de abastecimento são os cursos ou reservatórios de água. No entanto o uso das águas superficiais implica permanente e contínuo monitoramento de

qualidade, considerando a dinâmica dos recursos naturais e sua variabilidade temporal, o que pode afetar significativamente todo e qualquer processo produtivo.

Na maioria das vezes, captar água diretamente de um corpo d'água implica a necessidade de se utilizar técnicas de tratamento de acordo com o uso ao qual a água será destinada, devendo ser respeitados e resguardados a legislação vigente, a saúde humana e o meio ambiente.

Além disso, cabe destaque que toda captação direta do manancial requer uma autorização do poder público, denominada **outorga de direitos de uso**, que é onerosa na maioria dos estados. A Agência Nacional de Águas (ANA) emite outorgas em águas de domínio da União (rios que cruzam mais de um estado, como o São Francisco ou o Paraíba do Sul), sem ônus ao requerente. A outorga para rios estaduais (que estão localizados exclusivamente em um estado, como o rio Tietê) é concedida pelo órgão estadual correspondente. No caso de São Paulo, é o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), que concede outorgas para rios estaduais e para água subterrânea no estado de São Paulo.

Não obstante, a atual Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecida a partir da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, prevê a implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, tendo sido iniciada nos Comitês das Bacias do rio Paraíba do Sul, abrangendo os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro e dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, abrangendo os estados de São Paulo e Minas Gerais.

Portanto, na avaliação dos custos totais envolvidos, é preciso considerar os custos operacionais de bombeamento, tratamento, produtos químicos, energia, manutenção preventiva, técnicos envolvidos, monitoramento contínuo, acrescidos dos custos administrativos da outorga renovável e da cobrança pelo uso estabelecida no âmbito de cada comitê de bacia, onde se localiza o empreendimento.

3.3.3 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Uma das fontes opcionais utilizadas pela indústria são as águas subterrâneas que, em geral, apresentam qualidade superior às águas superficiais. A exploração inadequada dessas águas pode resultar na alteração indesejável de sua quantidade e qualidade. A exploração e a utilização de águas subterrâneas também requerem autorização e licença dos órgãos competentes, como acima mencionado.

Apesar de os custos iniciais de perfuração dos poços, em muitos casos, não serem significativos, outros custos devem ser considerados, como os custos relativos à gestão da qualidade e quantidade dessa água, custos de transporte e custos de energia. Além disso, com a possibilidade da cobrança pelo uso das águas subterrâneas pelos estados, a aparente economia, em muitas situações, será reduzida, uma vez que os volumes captados farão parte da formulação dos preços.

Em função de características geológicas locais, o aprofundamento do poço poderá ser a solução para obtenção de maiores vazões e melhor qualidade da água extraída. No entanto, em outros locais, essa mesma solução poderá resultar na redução substancial das vazões obtidas e na perda da qualidade da água. Também, em função da falta de cimentação adequada do espaço anelar, do selo sanitário e de outras deficiências técnicas-construtivas, operacionais, manutenção e abandono dos poços, pode-se ter processos de contaminação ocasionados pelas águas poluídas de camadas vizinhas ou mais rasas.

Entre os agentes de contaminação das águas subterrâneas, no Brasil, destacam-se:

- série nitrogenada;
- inorgânicos não metálicos, (fósforo, selênio, nitrogênio, enxofre e flúor);
- metais tóxicos (mercúrio, cromo, cádmio, chumbo e zinco);
- compostos orgânicos sintéticos do grupo BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), compostos aromáticos, fenóis, organoclorados voláteis diversos;

- compostos mais densos do que a água, DNAPLs (*Dense Non Aqueous Phase Liquids*);
- compostos menos densos do que a água, LNAPLs (*Light Non Aqueous Phase Liquids*);
- dureza (cálcio e magnésio); e
- sílica e flúor (eventualmente).

Novamente, no caso do uso de água subterrânea, a indústria deve considerar os seguintes aspectos de cuidados:

- Atendimento à legislação estadual relativa ao licenciamento do poço e respectiva outorga pelo uso da água.
- Tratamento adequado da água captada para garantia das características necessárias ao uso a que será destinada.
- Existência de um sistema de gestão e monitoramento contínuo da qualidade e quantidade da água.

3.3.4 ÁGUAS PLUVIAIS

Uma importante opção para compor o abastecimento de água de uma indústria são as águas pluviais. Um sistema de aproveitamento de águas pluviais é, em geral, composto por:

- Sistema de coleta de águas pluviais (telhados e/ou lajes de edificações e/ou de galpões ou industriais).
- Reservatório de descarte, necessário à eliminação das primeiras águas que procedem à limpeza da área de coleta.
- Verificação da necessidade de implantar um sistema de tratamento da água coletada, em função dos usos previstos.
- Reservatório de acumulação, que armazena a água pluvial coletada. Este reservatório se constitui na parte mais dispendiosa do sistema de coleta. É, portanto, necessário que o seu dimensionamento seja feito de forma adequada, vinculando as demandas com a disponibilidade de águas pluviais.

Ressalte-se que, de acordo com a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR) 5.626 – Instalação predial de água fria, reservatórios de água potável não podem receber águas de características diferentes, inclusive águas pluviais.

- Sistema de pressurização a abastecimento direto dos pontos de consumo ou sistema de recalque.
- Peneiras ou “filtros de descida” para retirada de folhas, galhos ou material grosseiro; freio d’água etc., conforme detalhado na figura 11.
- Sistema de tratamento adequado.
- Tubos e conexões (rede exclusiva).
- Conexão para entrada de água de outra fonte para eventual suprimento do sistema quando não houver disponibilidade de águas pluviais.

Para aproveitamento de águas pluviais, é necessário um projeto específico para dimensionamento dos reservatórios, bem como dos demais componentes do sistema, considerando a demanda a ser atendida por essa fonte de água e as características pluviométricas locais e a área de coleta das águas pluviais.

Para aquelas plantas industriais que dispõem de grande espaço físico, esta é uma alternativa bastante viável. Recomenda-se que seja observada a NBR nº 15.527, de 2007, que dispõe sobre o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

A viabilidade de um sistema de águas pluviais pode ser avaliada pelo diagrama apresentado na figura 11. Áreas de cobertura inferiores a 500 metros quadrados não viabilizam um projeto de aproveitamento de águas pluviais porque os volumes de água armazenada são incompatíveis aos custos de tubulações, reservatórios e de sistemas de tratamento necessários.

A utilização de águas pluviais, como fonte alternativa ao abastecimento de água de uma indústria, requer, da mesma forma que nos casos anteriores, a gestão da qualidade e quantidade.

Quando utilizada para fins que não exigem qualidade elevada como rega de jardins ou lavagem de áreas externas, a água não necessita de tratamento avançado. Dessa forma, reservar e utilizar as águas pluviais permite a conservação de água de melhor qualidade.

Ao analisar os dados existentes na literatura técnica, verifica-se que a qualidade das águas pluviais é influenciada por:

- localização (zona urbana, industrial ou rural), regime de chuvas, condições climáticas da região;
- características da bacia, densidade demográfica, área impermeabilizada, declividade, tipo de solo, área recoberta por vegetação e seu tipo;
- tipo e intensidade de tráfego;
- superfície drenada e tipo de material constituinte: concreto, asfalto, grama etc.; e
- lavagem da superfície drenada, frequência e qualidade da água de lavagem.

Dados de qualidade da água de chuva apresentados na tabela 9 foram obtidos de May (2004). Esta pesquisa foi realizada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, onde foram coletadas e analisadas amostras de águas pluviais provenientes da cobertura de um edifício local. Esses dados devem ser considerados apenas como indicativos porque essas características de qualidade dependem do local onde se encontra o edifício no qual é efetuada a coleta.

Tabela 9 - Características da água pluvial na Cidade Universitária da USP.

VARIÁVEL	ÁGUA COLETADA NA TUBULAÇÃO (A)			RESERVATÓRIO
	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÉDIO
Alcalinidade (mg/L)	4	30,6	60	18,8
Cálcio (mg/L)	ND	15,0	24,3	4,7
Cloretos (mg/L)	2,0	8,8	14,0	12,2
Coliformes totais por 100 ml	<1	>70	>80	>65
Condutividade (µS/cm)	7,0	63,4	126,2	25,7
Cor (uH)	20	52,5	218	23,0
DBO (mg/L)	0,4	2,5	5,2	1,5
Dureza (mg/L)	4,0	39,4	68,0	19,6
Ferro (mg/L)	0,01	0,14	1,65	0,06
Magnésio (mg/L)	ND	1,1	2,2	0,5
Nitrato (mg/L)	0,5	4,7	20	3,1
Nitrito (mg/L)	0,1	0,8	3,8	0,1
OD (mg/L)	1,6	20	42	17,6
pH	5,8	7,0	7,6	6,7
SDT (mg/L)	2	58	177	24
SDV (mg/L)	0	39	128	24
SST (mg/L)	2	30	183	2
SSV (mg/L)	0	15	72	2
ST (mg/L)	10	88	320	25
Sulfatos (mg/L)	2,0	8,3	21,0	5,1
Turbidez (UNT)	0,6	1,6	7,1	0,8

Fonte: adaptado de May (2004).

Legenda: NE = não especificado.

DBO: demanda bioquímica de oxigênio.

ST: sólidos totais

SST: sólidos suspensos totais

SSV: sólidos suspensos voláteis

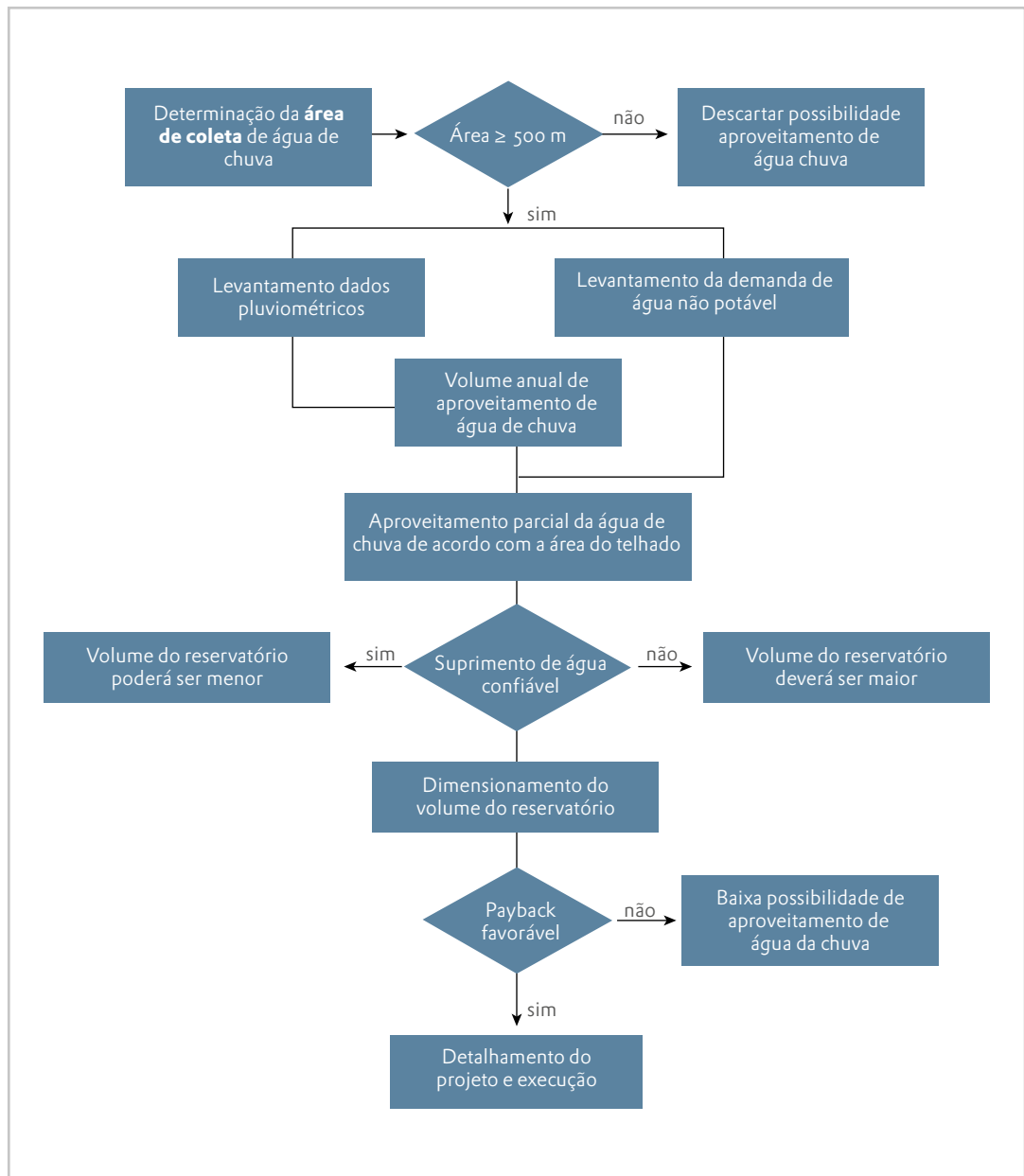
SDT: sólidos dissolvidos totais

SDV: sólidos dissolvidos voláteis

a. presente em 89% das amostras.

Obs.: coliformes termotolerantes por 100 mL aparecem em média em 50% das amostras coletadas na área de coleta de águas pluviais e em 30% das coletadas no reservatório de acumulação.

Figura 10 - Diagrama de decisão para estudo da viabilidade de um sistema de aproveitamento de águas pluviais.



Fonte: Hespanhol (2014).

Conforme apresentado no diagrama de decisão da figura 10, os sistemas de aproveitamento de águas pluviais apresentam-se vantajosos quando a área de coleta disponível é superior a 500 m². A partir dessa condição, pode-se dar andamento ao projeto para a determinação da capacidade do reservatório de armazenamento.

O volume desse reservatório dependerá da disponibilidade de água para suprir o abastecimento em ocasiões de baixa precipitação. A capacidade do reservatório de armazenamento depende da disponibilidade financeira do empreendedor. Se houver recursos suficientes, o reservatório poderá ser projetado para coletar toda a chuva disponível anualmente. A quantidade de chuva a ser coletada, depende, portanto, dos recursos disponíveis para construção do reservatório de armazenamento. Nos períodos secos, o suprimento deverá ser efetuado por meio de outras fontes, tais como água fornecida pela concessionária local, água subterrânea ou água de caminhões. O reservatório de armazenamento de água de chuva é normalmente o componente mais dispendioso do sistema. Ele pode ser construído de concreto armado, alvenaria ou plástico, embora já existam disponíveis no mercado unidades de armazenamento modulares que permitem uma instalação rápida e, provavelmente, com menores custos.

A partir da determinação do volume a ser reservado, pode-se realizar a avaliação de custo do sistema. Um método fácil para análise econômica do capital investido é o *payback*. Entretanto, devido à sua simplicidade, ele deve ser considerado como um pré-estudo, para aceitar ou rejeitar determinado projeto. Outros critérios mais completos devem ser averiguados para uma decisão final.

O objetivo do *payback* é medir o tempo em que o investimento inicial será reposto, conforme mostrado no exemplo a seguir (TOMAZ, 2011).

- Reservatório de concreto: 1.000 m³.
- Demanda anual de água não potável: 18.552 m³.
- Custo de construção: US\$ 150/ m³.
- Custo do reservatório: 1.000 m³ x 150/m³ x R\$ 2,30/m³ = R\$ 345.000,00
- Tarifas públicas estimadas: R\$ 8,75/m³ (água) + R\$ 8,75/m³ (esgoto) = R\$ 17,5/ m³.
- Economia proporcionada pelo sistema: 18.552 m³/ano x R\$ 17,5/m³ = R\$ 324.660,00/ano.
- *Payback*: custo do reservatório/custo da água economizada por ano
R\$ 345.000,00 / R\$ 324.660/ano = 1,063 anos = 13 meses.

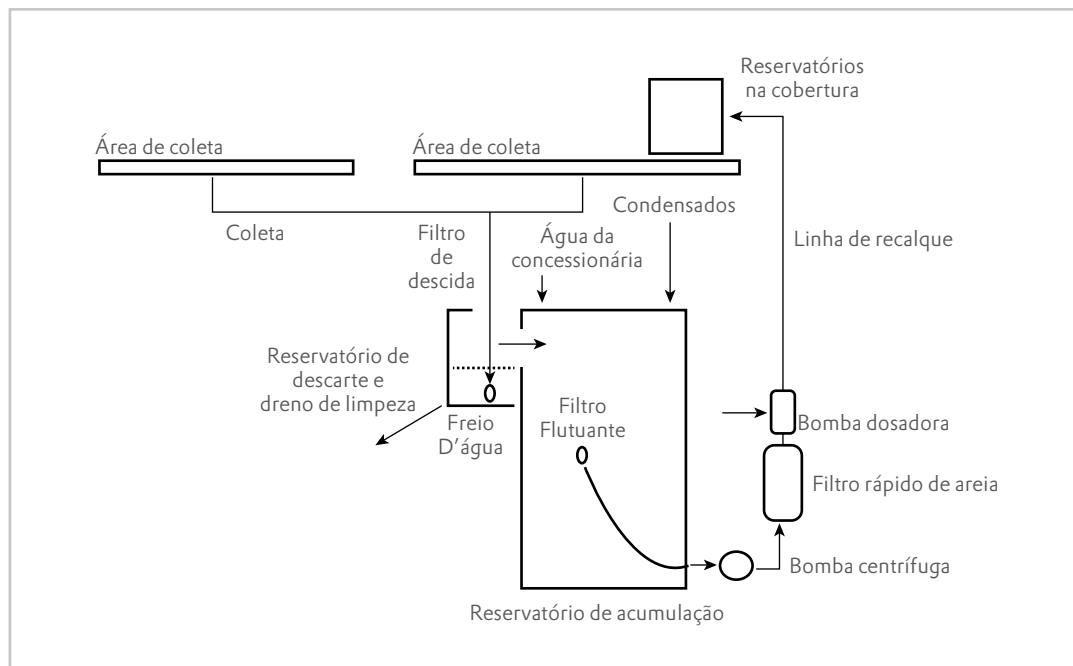
A figura 2 apresenta, esquematicamente, um sistema de aproveitamento de águas pluviais, incluindo as áreas de coleta, a tubulação de descida equipada com um “filtro”, entrando no reservatório de descarte; o reservatório de descarte e o reservatório de acumulação são equipados com um filtro flutuante instalado na sucção da bomba que recalca a água para o reservatório de distribuição instalado na cobertura. Nesse caso, o sistema de tratamento é constituído por um filtro rápido de areia e um dosador de cloro automático instalado na tubulação de recalque para o reservatório superior. O reservatório de acumulação deverá incluir uma linha de entrada para, eventualmente, receber água de quaisquer outras fontes seguras de abastecimento, podendo, também, receber as águas condensadas de sistemas de ar-condicionado, de compressores e de sistemas de produção de água destilada instalados em laboratórios da indústria.

O reservatório de descarte mostrado é do tipo “soleira”. O volume e a altura são calculados para acumular as águas das primeiras chuvas, que lavam o telhado. Uma vez preenchido com essas águas, as demais águas coletadas vertem sobre a soleira adentrando o reservatório de acumulação.

Existem diversos esquemas para executar reservatórios de descarte, que são, também, designados de *first flux*. O mais eficiente, que não exige obras civis, mas que é relativamente caro, é a utilização de controles lógicos programados (CLPs), que operam válvulas comandadas dirigindo a água coletada para fora do sistema durante o tempo determinado para a limpeza do telhado e, posteriormente, encaminhando as demais águas coletadas para o reservatório de acumulação.

O aproveitamento de águas pluviais é uma prática adequada para estabelecimentos que possuam grandes áreas de cobertura ou outras áreas impermeáveis. Como vantagem dessa atividade, pode-se destacar a conservação dos recursos hídricos disponíveis, a redução do escoamento superficial, o amortecimento de picos de enchentes, além da possibilidade de redução significativa dos custos associados às tarifas de água.

Figura 11 - Esquema de um Sistema de Coleta de Águas Pluviais.



Fonte: Cirra (2013).

O projeto de um sistema de aproveitamento de águas pluviais envolve as seguintes etapas:

- determinação do alcance de projeto e da demanda de água não potável;
- determinação da precipitação média local – estabelecida em função dos dados publicados para o município ou a região, ou preferencialmente, de um posto pluviométrico próximo à área de projeto (séries históricas ou séries sintéticas de pluviometria);
- determinação da área de coleta – de acordo com a NBR 10844 – Instalações prediais de águas pluviais;
- determinação do coeficiente de escoamento superficial – função do material e do acabamento da área de coleta;
- caracterização da qualidade da água – determinada para cada local, utilizando-se sistemas automáticos de amostragem;
- dimensionamento de calhas e condutores horizontais e verticais – NBR 10844 – Instalações prediais de águas pluviais;

- dimensionamento do reservatório de descarte – destina-se à retenção temporária para posterior descarte da água coletada na fase inicial da precipitação. São disponíveis elementos de cálculo para o projeto do reservatório de descarte.
- definição e dimensionamento do sistema de tratamento – depende da qualidade da água coletada e do seu destino final. Considerando os usos industriais mais frequentes em edifícios (processos, torres de resfriamento, rega de jardins, lavagens de pisos e descarga em sanitários), podem ser empregadas unidades de sedimentação simples, filtração simples e desinfecção com cloro (ou com radiação ultravioleta), conforme mostrado na figura 12;
- dimensionamento do reservatório de armazenamento – destina-se à retenção das águas pluviais. Seu volume é determinado em função da precipitação e da área de coleta (MIERZWA; HESPANHOL,2006)

No entanto, conforme mencionado, as condições de instalação desses sistemas são variáveis com o ambiente e, por isso, devem ser estudadas e projetadas para situações específicas do local.

Com relação à qualidade da água, esta deve ser definida pelo projetista, de acordo com a utilização prevista. A NBR 15527/2007 sugere alguns parâmetros para usos não potáveis, conforme indicado na tabela 10 a seguir.

Tabela 10 - Parâmetros de qualidade e frequências de análises sugeridos.

PARÂMETROS	ANÁLISE	FAIXA
Coliformes totais	Semanal	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semanal	Ausência em 100mL
Cloro residual livre	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente	Mensal	< 15 uH
Deve prever ajuste do pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço, carbono ou galvanizado

Fonte: NBR 15527/2007.

Para manutenção do sistema, a norma em referência recomenda os critérios dispostos na tabela 11 apresentados a seguir.

Tabela 11 - Frequência de manutenção de componentes hidráulicos de edifícios.

COMPONENTES	FREQUÊNCIA DE MANUTENÇÃO
Dispositivos de descarte de detritos	Inspeção mensal – limpeza trimestral
Dispositivos de descarte do escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	Duas vezes ao ano
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

Fonte: NBR 15527/2007.

Alguns cuidados especiais devem ser tomados nos sistemas de coleta e aproveitamento de águas pluviais (MAY; HESPANHOL, 2009):

- a entrada de luz do sol no reservatório deve ser evitada para diminuir a proliferação de micro-organismos;
- a tampa de inspeção deve estar sempre fechada;
- a saída do extravasor deve conter grade para evitar a entrada de pequenos animais;

- o monitoramento da qualidade da água deve ser realizado conforme indicado na tabela 2;
- o reservatório de águas pluviais deve possuir uma pequena declividade no fundo para facilitar a limpeza e a retirada do lodo;
- no fundo do reservatório, deve existir um dispositivo (freio d'água) para evitar turbulência do material sedimentado;
- é aconselhável a adoção de cores diferenciadas para tubulações de águas pluviais a fim de evitar possível interconexão com o sistema de água potável; e
- é aconselhável a utilização de placas sinalizadoras em todos os pontos de consumo.

3.4 REÚSO DE EFLUENTES

Atualmente, a indústria está submetida a dois grandes instrumentos de pressão. De um lado, as imposições globais, tanto ambientais quanto de saúde pública, resultantes das relações do comércio interno e internacional e, do outro, as recentes condicionantes legais de gestão de recursos hídricos, particularmente as associadas à cobrança pelo uso da água (PIO, 2005).

Para se adaptar a esse novo cenário, a indústria vem aprimorando os processos industriais e desenvolvendo sistemas de gestão ambiental para atender às especificações do mercado interno e externo e implementando sistemas e procedimentos direcionados à gestão da demanda de água e a minimização da geração de efluentes (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Esses fatores, associados aos custos elevados da água mais os custos associadas às outorgas de captação e de lançamento de efluentes, têm levado as indústrias a avaliar as possibilidades internas de reúso e a considerar as ofertas das companhias de saneamento para a compra de efluentes tratados, a preços inferiores aos da água potável, disponível em sistemas públicos de abastecimento. A "água

de utilidade” produzida através de tratamento de efluentes secundários e distribuída por adutoras, que servem um agrupamento significativo de indústrias, vem se constituindo, embora ainda em pequena escala, em um grande atrativo para abastecimento industrial a custos inferiores aos da água potável. Os custos variam de acordo com condições locais, tanto em termo dos níveis de tratamento adicionais necessários, quanto aqueles relativos aos sistemas de distribuição. A existência de estações de tratamento de esgotos nas proximidades de zonas industriais contribui para implantação de programas de reúso, uma vez que aumenta o potencial de viabilizar sistemas de distribuição de águas de reúso compatíveis com a demanda industrial.

Dentro do critério de estabelecer prioridades para usos que demandam vazões elevadas e que necessitam níveis de tratamento relativamente menores, em relação aos necessários para processos industriais, é recomendável concentrar a fase inicial do programa de reúso industrial, em torres de resfriamento.

O uso de efluentes secundários tratados, em sistemas de resfriamento, cujas demandas são bastante significativas na indústria, tem a vantagem de requerer qualidade independente do tipo de indústria, e a de atender, ainda, a outros usos menos restritivos, tais como lavagem de pisos e equipamentos, e como água de processo em indústrias mecânicas e metalúrgicas. Além disso, a qualidade de água adequada ao resfriamento de sistemas semiabertos é compatível com outros usos urbanos, não potáveis, tais como irrigação de parques e jardins, lavagem de vias públicas, construção civil, formação de lagos para algumas modalidades de recreação e para efeitos paisagísticos. Outros usos, que podem ser considerados nas fases posteriores na implementação de um programa industrial de reúso, incluem água para produção de vapor, para lavagem de gases de chaminés, e para processos industriais específicos, tais como metalúrgicos, produção primária de metal, curtumes, têxteis, químicas, petroquímicas, papel e celulose, material plástico e construção civil (SANTOS; HESPANHOL, 2007). Essas modalidades de reúso envolvem sistemas de tratamento avançados e demandam, conseqüentemente, níveis de investimento elevados.

A conservação de água, visualizada como gestão da demanda, deve, também, ser estimulada nas indústrias, através de utilização de processos industriais modernos e de sistemas de lavagem com baixo consumo de água, assim como em estações de tratamento de água para abastecimento público, através da recuperação adequada e do reúso das águas de lavagem de filtros e de decantadores.

As aplicações de água de reúso na indústria são basicamente as seguintes:

- como fluido de resfriamento ou aquecimento. Nesses casos, a água é utilizada como fluido de transporte de calor para remoção do calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitam de resfriamento devido à geração de calor, ou então, devido às condições de operação estabelecidas, pois a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do sistema, bem como danificar algum equipamento;
- como matéria-prima em processos industriais;
- uso como fluido auxiliar tais como preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículos ou, ainda, para operações de lavagem;
- uso para geração de energia: para esse tipo de aplicação, a água pode ser utilizada por meio da transformação da energia, potencial ou térmica, da água, em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica;
- como descarga em vasos sanitários e mictórios; e
- na construção civil, cabines de pintura, combate a incêndio, rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, seja na fase sólida, líquida ou gasosa – adaptado de Hespanhol e Gonçalves (2005).

A água para uso industrial requer características de qualidade em função do tipo de uso considerado. Na maioria dos casos, o efluente requer um tratamento adicional após o tratamento secundário, alcançando assim a qualidade de água requerida para um determinado uso industrial.

Para análise da implantação do reúso de efluentes na indústria, há duas alternativas a serem consideradas. A primeira delas refere-se ao reúso macroexterno, definido como o reúso de efluentes provenientes de estações de tratamento administradas por concessionárias ou outras indústrias. A segunda, que será detalhada neste manual, é o reúso macrointerno, definido como o uso interno de efluentes, tratados ou não, provenientes de atividades realizadas na própria indústria.

A prática de reúso macro interno pode ser implantada de duas maneiras distintas:

- **Reúso em cascata:** o efluente originado em determinado processo industrial é diretamente utilizado num processo subsequente, quando as características do efluente disponível forem compatíveis com os padrões de qualidade de água necessários.
- **Reúso de efluentes tratados ou reúso com tratamento:** é o tipo de reúso mais amplamente utilizado atualmente e consiste na utilização de efluentes que foram previamente submetidos a um processo de tratamento.

Em função da complexidade da atividade na qual se pretende aplicar a prática de reúso, é necessário conduzir um estudo detalhado para implantar cada uma das opções disponíveis. Em muitos casos, pode ser necessário promover alterações nos procedimentos de coleta e armazenagem de efluentes, principalmente quando o enfoque é o reúso em cascata.

Dentro da filosofia de minimização da demanda de água e da geração de efluentes, é importante que seja priorizado o reúso em cascata, pois, ao mesmo tempo em que o consumo de água é minimizado, o volume de efluente a ser tratado não aumenta.

Cabe observar que, à medida que a demanda de água e a geração de efluentes são reduzidas, ocorre uma elevação na concentração de contaminantes no efluente remanescente, uma vez que a carga de contaminantes não se altera. Isto implica no fato de que a opção pelo reúso de efluentes tratados só pode ser analisada

após avaliação e implantação de todas as alternativas para a otimização do uso da água e minimização de efluentes por meio do reúso em cascata.

A elevação da concentração de contaminantes específicos é uma condição que limita o potencial de reúso e caso ela não seja devidamente considerada, poderá comprometer o desenvolvimento das atividades nas quais a água de reúso será aplicada.

3.4.1 REÚSO EM CASCATA

Para que seja avaliado o potencial de reúso de água em cascata, é necessário que se disponha dos dados referentes às características do efluente disponível e dos requisitos de qualidade de água no processo no qual se pretende fazer o reúso.

Em uma estimativa inicial, a caracterização completa do efluente seria muito onerosa, de modo que a estratégia a ser utilizada deve considerar, inicialmente, algum parâmetro crítico, ou, então, parâmetros gerais (parâmetros sub-rogados) que possam representar com segurança determinado grupo de substâncias.

Como parâmetros indicadores, pode-se lançar mão da condutividade elétrica ou da concentração de sais dissolvidos totais, que representam, com segurança, os compostos inorgânicos e a medida da demanda química de oxigênio, que pode ser utilizada para representar as substâncias orgânicas. Além destes, a medida do pH, a turbidez e a cor também podem ser úteis no estágio inicial para avaliação do potencial de reúso.

Outro aspecto a ser considerado refere-se à forma utilizada ao gerenciamento dos efluentes, principalmente no que diz respeito à coleta das amostras. Na maioria dos casos, os efluentes gerados nos processos industriais são coletados em tubulações ou sistemas centralizados de drenagem, podendo resultar na mistura com efluentes de diversas áreas e processos, dificultando a implantação do conceito de reúso em cascata. Por essa razão, o primeiro passo a ser dado para avaliar o potencial de reúso em cascata é fazer a avaliação individual de cada corrente de

efluente por meio de amostragens nos diversos processos e atividades nas quais a água é utilizada.

Durante o estágio de avaliação, deve ser dada ênfase aos processos e atividades que apresentam elevada geração de efluentes, o que pode, em determinadas situações, indicar efluentes com baixas concentrações de contaminantes, além do fato de resultar em um sistema mais simples e barato devido à economia de escala que se pode obter.

Tão importante quanto a identificação do efluente com potencial para reúso é a identificação da atividade na qual o reúso em cascata será aplicado, devendo haver uma relação direta entre a quantidade e qualidade do efluente disponível, com a demanda e padrões de qualidade exigidos para aplicação identificada.

Em algumas situações, a substituição total da fonte de abastecimento de água por efluentes pode não ser viável, podendo-se, nessas situações, utilizar os métodos de *reúso parcial de efluentes* e *mistura do efluente com água do sistema de abastecimento*, os quais serão abordados mais adiante nesta seção do manual.

Para aumentar a confiabilidade do sistema de reúso em cascata, principalmente quando as características do efluente podem sofrer variações significativas, recomenda-se a utilização de sistemas automatizados para o controle da qualidade da água de reúso, assim como deve ser prevista a utilização de água do sistema de abastecimento, de maneira a não colocar em risco a atividade desenvolvida.

Qualquer que seja o método de reúso em cascata utilizado é necessário que seja feito o acompanhamento do desempenho da atividade na qual a água de reúso está sendo utilizada, de maneira a consolidar ou efetuar ajustes no processo e assim garantir o sucesso do programa de reúso.

Em todos os casos, recomenda-se a realização de ensaios de bancada e/ou de unidades-piloto, antes da implantação de toda a infraestrutura que viabilize a prática do reúso em cascata. Verificada a viabilidade técnica de aplicação do reúso em

cascata, deverão ser efetuadas as alterações nos procedimentos de coleta, armazenagem e transporte dos efluentes, visando à sua implantação.

3.4.2 REÚSO PARCIAL DE EFLUENTES

Consiste na utilização de apenas uma parcela do efluente gerado para reúso. Esse procedimento é indicado quando, no processo de geração de efluentes, a concentração do contaminante varia com o tempo, ou seja, sua concentração diminui à medida que o processo se desenvolve. Essa situação é comum nas operações periódicas de lavagem, nas quais há alimentação de água e descarte do efluente de forma contínua.

Em muitas indústrias, é comum o uso de reatores e tanques de mistura com grande capacidade para obtenção e armazenagem dos mais diversos tipos de produtos. Em todos os casos, após a utilização desses componentes, é necessário promover a lavagem desses dispositivos de maneira a possibilitar o seu uso em uma próxima campanha de produção, sem que haja risco de contaminação dos produtos a serem obtidos ou comprometer a qualidade das substâncias a serem manipuladas.

Este fato pode ser evidenciado ao se analisar o caso de equipamentos de grande volume, em que a operação de um processo de lavagem que utiliza a água para promover a remoção e transporte dos contaminantes promove a variação da concentração do contaminante no efluente com o tempo, sendo que a concentração no início da operação é elevada, podendo sofrer uma redução exponencial à medida que a operação se desenvolve.

Este fato pode ser comprovado com a elaboração de um balanço de massa, para um contaminante específico no equipamento de grande capacidade onde ocorra acúmulo de água durante o processo de lavagem. A realização do balanço de massa irá conduzir ao desenvolvimento de uma expressão que relaciona a concentração de um contaminante no efluente e o tempo de lavagem.

Após a análise gráfica, verifica-se que a variação da concentração de um contaminante qualquer no efluente produzido em uma operação do processo de lavagem varia de forma exponencial, com uma redução acentuada nos primeiros instantes da lavagem.

Esse fenômeno é um indicativo do potencial de aproveitamento de uma parcela do efluente gerado, seja na própria operação de lavagem, ou em outra operação.

A obtenção do volume de efluente que poderia ser reutilizado pode ser feita na prática ou por meio de uma modelagem do sistema, ressaltando-se que, no caso da opção pela modelagem do sistema, os resultados obtidos deverão ser confirmados ou ajustados para as condições reais.

A modelagem do sistema é obtida com base em um balanço de massa e de vazões nos equipamentos e no tanque de armazenagem ou de água de reúso. Para que se possa obter a variação da concentração do contaminante na água de reúso, devem ser considerados:

- o tempo de detenção hidráulico nos equipamentos;
- a concentração inicial do contaminante nos equipamentos; e
- a vazão e a concentração do contaminante do processo de lavagem.

Por meio da utilização de dados do processo, é possível avaliar qual será a variação da concentração de um contaminante específico no efluente que deixa o equipamento e daquele acumulado no tanque de reúso. Por meio dessa modelagem, também é possível avaliar a variação da concentração do contaminante no tanque de reúso, considerando-se o descarte do efluente do equipamento no início da operação do processo de lavagem.

3.4.3 MISTURA DO EFLUENTE COM ÁGUA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO

Em algumas situações, o efluente gerado em um processo qualquer pode apresentar características bastante próximas dos requisitos de qualidade da água exigidos para uma determinada aplicação, mas que ainda não são suficientes para possibilitar o reúso ou, então, a quantidade de efluente não é suficiente para atender à demanda exigida. Para essas condições, pode-se promover a mistura do efluente gerado com a água proveniente do sistema de abastecimento, de maneira a adequar as características do efluente aos requisitos do processo.

Os benefícios dessa prática estão relacionados à redução da demanda de água proveniente do sistema de abastecimento e à redução da geração de efluentes. É importante observar que a adoção dessa alternativa também requer um programa de monitoração adequado, de maneira que seja possível garantir uma água de reúso com qualidade constante ao longo do tempo, por meio da variação da relação entre os volumes de efluente e de água do sistema de abastecimento.

3.4.4 REÚSO DE EFLUENTES TRATADOS

Considerando-se que, inicialmente, deve-se priorizar o reúso de efluentes sem qualquer tipo de tratamento adicional ou, então, após a utilização de procedimentos simplificados ao ajuste de alguns parâmetros de qualidade, como, por exemplo, o valor do pH e a concentração de micro-organismos, a prática do reúso de efluentes tratados requer uma avaliação qualitativa e quantitativa.

De maneira geral, esta prática só poderá ser aplicada caso as características do efluente disponível sejam compatíveis com os requisitos de qualidade exigidos pela aplicação na qual se pretende utilizá-lo como fonte de abastecimento. Para tanto, é necessária uma avaliação das características do efluente disponível e dos requisitos de qualidade exigidos para aplicação que se pretende, podendo, então, o efluente ser encaminhado, nas condições em que se encontra da estação de tratamento até o ponto em que será utilizado.

A identificação das possíveis aplicações para o efluente pode ser feita por meio da comparação entre parâmetros genéricos de qualidade, exigidos pela aplicação na qual se pretende fazer o reúso, assim como os parâmetros do próprio efluente.

Entre os diversos parâmetros de qualidade que podem ser utilizados para a identificação de aplicações potenciais para o reúso de efluentes, a concentração de sais dissolvidos totais (SDT), ou condutividade elétrica, pode ser o mais adequado. Isto se justifica em razão da concentração de SDT a ser utilizada como um parâmetro restritivo ao uso da água nas diversas aplicações industriais, além da limitação que os processos de tratamento de efluentes, mais comumente utilizados, apresentam para remover esse tipo de contaminante.

Outro fator que justifica o uso da concentração de SDT na avaliação do potencial de reúso de efluentes está associado ao aumento de sua concentração, pois, à medida que o reúso do efluente é efetuado, uma carga adicional de sais vai sendo incorporada, seja pelo processo de evaporação da água, seja pela adição de compostos químicos.

Dessa forma, para que a prática do reúso seja sustentável, é de fundamental importância que a evolução da concentração de SDT no sistema seja devidamente avaliada. Isto irá permitir a determinação do máximo potencial de reúso de efluentes, sem que os padrões de qualidade requeridos para uso e os limites máximos para lançamento de efluentes sejam ultrapassados.

A evolução da concentração de SDT em um sistema onde a prática de reúso é utilizada pode ser obtida por meio de um balanço de massa. A partir desse balanço de massa, com base nos dados disponíveis sobre demanda de água, perda por evaporação e efluentes lançados para o meio ambiente, pode-se obter a carga de SDT que é incorporada à água nos diversos processos produtivos desenvolvidos.

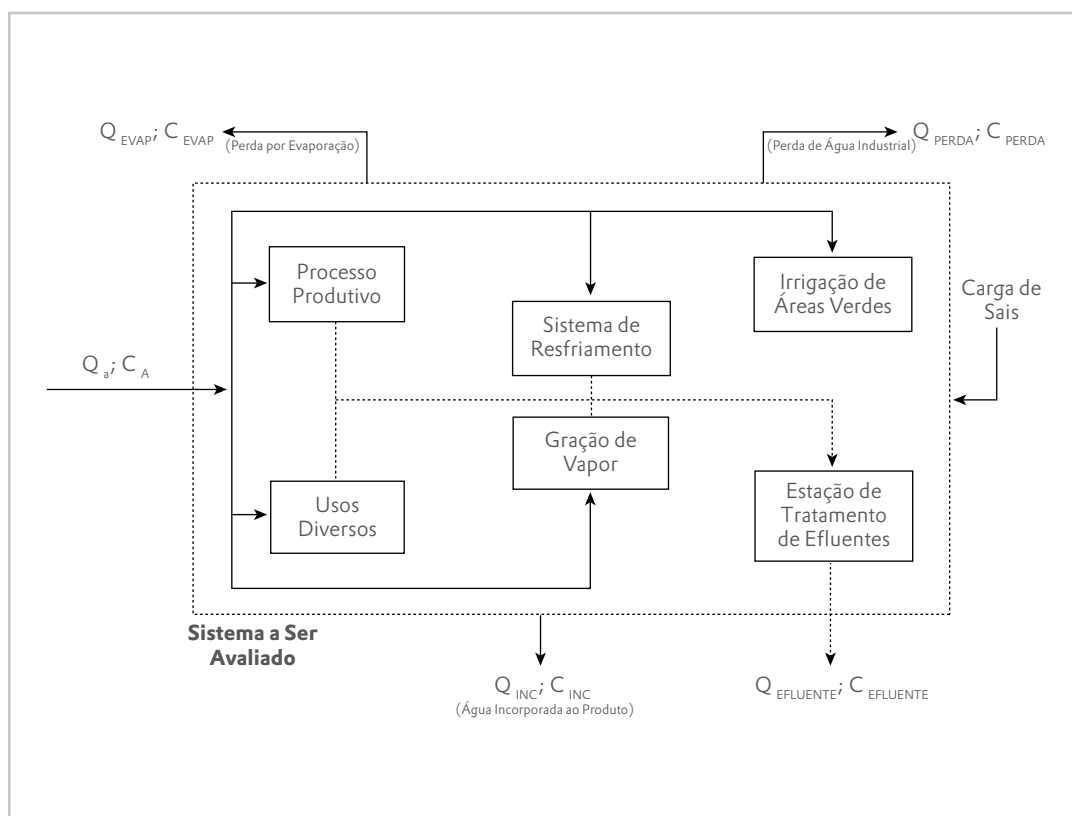
Uma vez obtida a carga de SDT incorporada ao sistema, deve-se avaliar a variação da concentração de SDT no efluente e na água de reúso em função da fração de efluente que é recirculada, o que também é realizado por meio de um balanço de

massa. Por meio desse balanço, é feita a distinção entre os processos que utilizam água industrial ou potável daqueles processos que irão utilizar a água de reúso, conforme diagramas apresentados em seguida.

As equações para a obtenção das vazões de efluente para reúso, assim como para a variação da concentração de contaminantes nas diversas correntes envolvidas, podem ser solucionadas em planilhas eletrônicas usuais, por exemplo, o Excel.

Cabe ressaltar, apenas, que, para cada caso, devem ser desenvolvidos diagramas específicos para obtenção das equações que serão utilizadas no balanço de massa, no entanto, tais diagramas serão uma variante dos exemplos mostrados nas figuras 12 e 13.

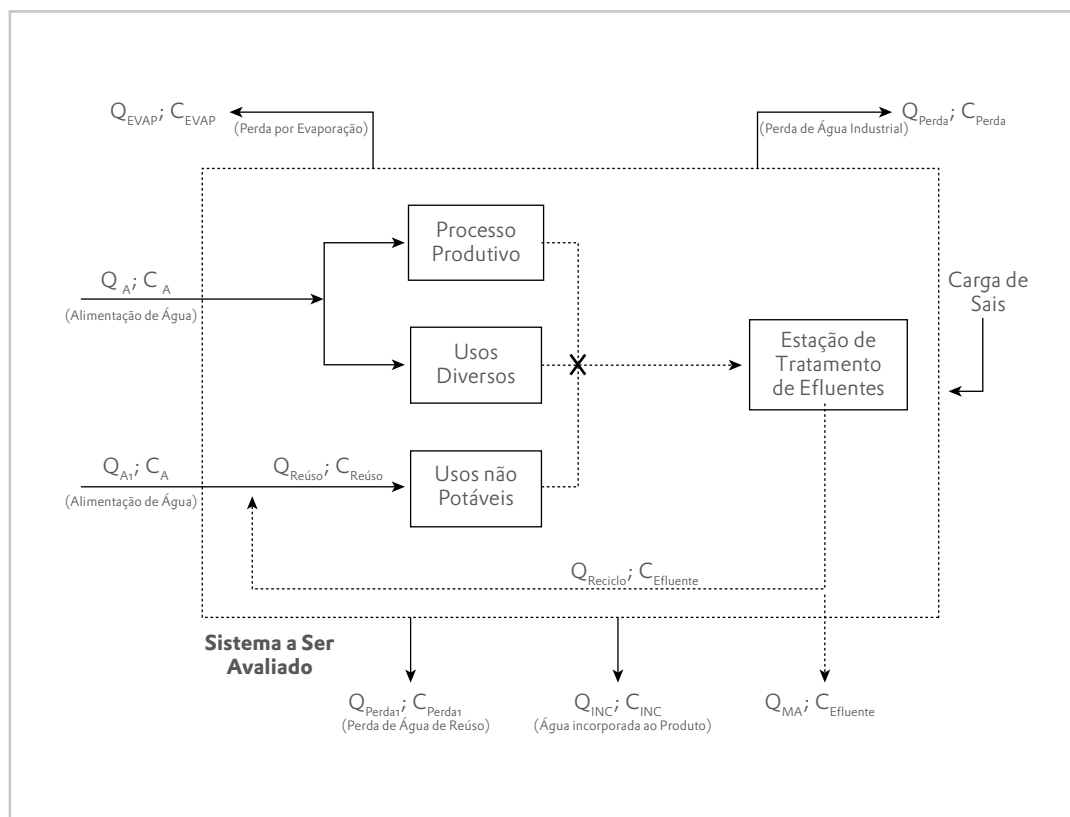
Figura 12 - Diagrama esquemático para a obtenção da carga de SDT incorporada em um sistema produtivo.



Fonte: MIERZWA; HESPANHOL (2005).

Legenda: Q = vazão; C = carga.

Figura 13 - Diagrama esquemático para a obtenção da variação da concentração de SDT no efluente e na água de reúso, com o reúso de efluentes.



Fonte: MIERZWA; HESPANHOL (2005).

3.4.5 REÚSO DE EFLUENTES APÓS TRATAMENTO ADICIONAL

Em alguns casos, poderá ser necessário desenvolver um programa de reúso de efluentes que considere a utilização de sistemas complementares de tratamento, cujo principal objetivo é possibilitar a redução da concentração de um contaminante específico. Nessa situação, em função da eficiência de remoção do contaminante de interesse, o potencial de reúso pode ser ampliado, uma vez que é possível obter um efluente final que atenda aos requisitos de qualidade necessários a outras atividades.

Para essa condição, a avaliação do potencial de reúso segue o mesmo roteiro que o apresentado para determinação do potencial de reúso de efluentes tratados, sendo apenas incluído no diagrama do balanço de massa o processo de tratamento selecionado, o que irá depender da eficiência do sistema de tratamento utilizado.

Se o processo de tratamento utilizado promover a eliminação dos contaminantes de interesse, pode-se obter um efluente tratado com características equivalentes à água que alimenta toda a unidade industrial. Isto possibilitaria o reúso de todo o efluente tratado, sendo necessário repor no sistema as perdas de água que ocorrem no processo e a quantidade que é descartada juntamente com o efluente da unidade de tratamento.

Qualquer que seja a estratégia adotada é de fundamental importância que a prática de reúso seja devidamente planejada, a fim de que sejam obtidos os máximos benefícios associados e para que ela possa ser sustentável ao longo do tempo.

Assim sendo, antes que a avaliação do potencial de reúso do efluente disponível na indústria seja iniciada, é necessário que todos os fatores que possam influenciar em sua quantidade e composição sejam devidamente contemplados.

Isto implica dizer que, necessariamente, a avaliação do potencial de reúso de efluentes deve ser posterior a qualquer alternativa de racionalização do uso da água e de reúso de efluentes em cascata, já que estas irão afetar, de forma significativa, tanto a quantidade quanto a qualidade do efluente.

Na tabela 12, são mostradas as taxas de reúso de água nos principais setores industriais dos Estados Unidos.

Tabela 12 - Taxa de reúso nos principais setores industriais americanos (% total de água consumida).

ANO	CELULOSE E PAPEL	IND. QUÍMICA	PETRÓLEO E CARVÃO	IND. PRIMÁRIA DE METAIS	OUTROS SETORES
1954	2.4	1.6	3.3	1.3	1.8
1964	2.7	2.0	4.4	1.5	2.1
1973	3.4	2.7	6.4	1.8	2.9
1978	5.3	2.9	7.0	1.9	3.4
1985	6.6	13.2	18.3	6.0	8.6
2000	11.8	28.0	32.7	12.3	17.1

Fonte: disponível em: <http://www.Ittind.com/waterbook/ind_USA.asp>.

Como consideração adicional à prática de reúso de efluentes gerados na própria indústria, é recomendável que, uma vez analisado todo o processo e já se disponha do *layout* de reutilização de efluentes, tratados ou não, que se aplique uma tecnologia de otimização do sistema de reúso.

Nesse sentido é recomendada a utilização da metodologia *water pinch*, que analisa, em conjunto, todo o sistema de reúso e reciclagem determinando o ponto de *pinch* acima do qual não é necessário introduzir águas externas ao sistema de uso e reúso de água, trazendo um benefício econômico e operacional adicional à metodologia de conservação aplicada (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

3.5 SELEÇÃO DE SISTEMAS DE REÚSO E CUSTOS ASSOCIADOS

A seleção de sistemas de tratamento é baseada na compatibilidade entre a qualidade do efluente/água disponível e os padrões de qualidade exigidos para cada uso específico.

Fatores, como a necessidade de outorga, vazão disponível, variações de vazão, subprodutos do tratamento, disponibilidade de área, desempenho, consumo de

energia, custos de implantação operação e manutenção, também são importantes e devem ser considerados na ocasião de desenvolvimento do projeto, inclusive do sistema de tratamento a ser implantado.

Os principais processos e operações unitárias assim como sistemas aplicáveis à adequação da qualidade dos efluentes líquidos àquela requerida para determinado uso são apresentados no quadro 3 a seguir.

Quadro 3 - Principais processos, operações e sistemas para tratamento de efluentes visando ao reúso.

PROCESSO	APLICAÇÃO	UNIDADES/SISTEMAS
Tratamento preliminar	Utilizado para remoção de sólidos grosseiros e matéria mineral sedimentável.	Grades, desarenadores ou caixa de areias, caixas de retenção de óleo e gordura.
Tratamento primário	Utilizado para remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis, materiais flutuantes (óleos e graxas) e parte da matéria orgânica em suspensão.	Decantação simples ou com adição de coagulantes,
Tratamento secundário	Utilizado para remoção da matéria orgânica biodegradável contida nos sólidos dissolvidos e, eventualmente, de nutrientes.	Sistemas MBRs, MBBRs, lodos ativados, filtros biológicos.
Tratamento terciário ou avançado	Utilizado para remoção de poluentes específicos e/ou remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário, como, por exemplo, sais, nutrientes ou organismos patogênicos.	Sistemas de membranas: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, osmose reversa, <i>forward osmosis</i> , eletrodialise reversa etc., que produzem efluentes de qualidade elevada, permitindo reúso para fins mais restritivos.

Fonte: adaptado de Hespanhol (2014).

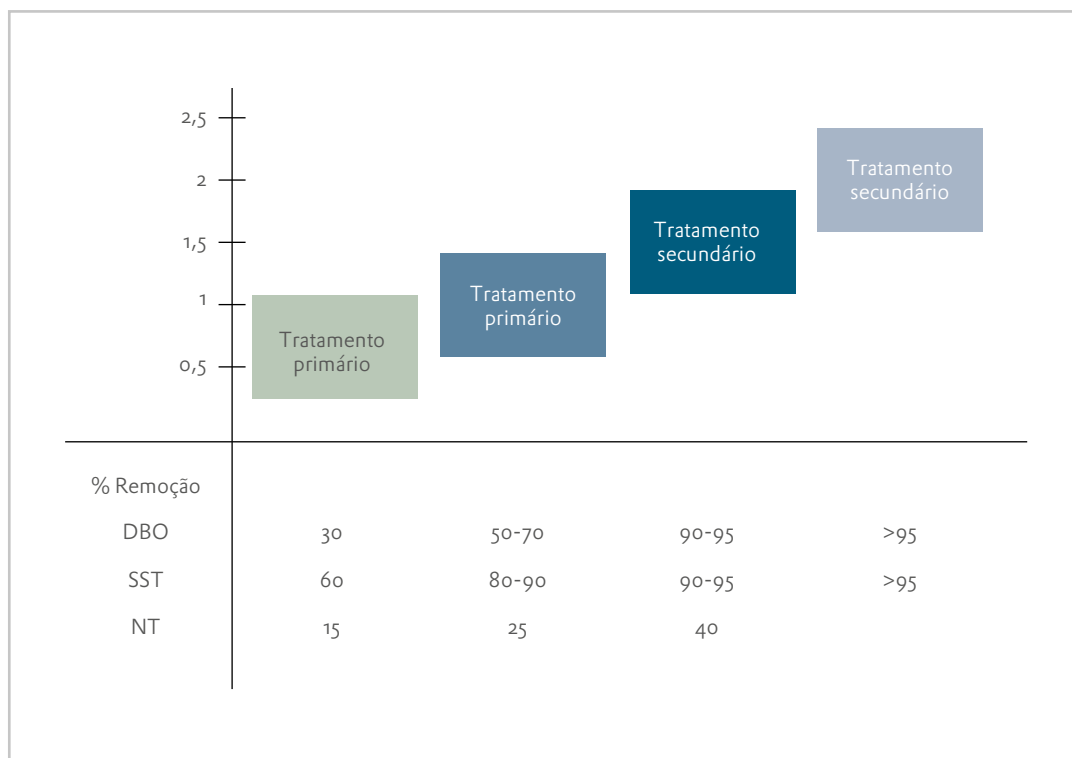
Na avaliação de custos, tanto de capital quanto de operação e manutenção, relativos a programas de reúso, devem ser considerados apenas os custos adicionais associados ao reúso propriamente dito, excluindo-se aqueles associados à adequação dos efluentes para atendimento aos padrões legais de emissão. De maneira

geral, os investimentos totais são influenciados por diversos fatores, como critérios de projeto, condições locais, características do efluente e do afluente a ser tratado, tecnologias de tratamento, entre outros. Além disso, o número de estudos sobre reúso é ainda reduzido no Brasil, o que dificulta uma avaliação precisa sobre custos e períodos de retorno. Existe, portanto, grande indeterminação para avaliação de custos por metro cúbico de água de reúso produzida, sendo necessário que avaliações específicas sejam efetuadas para cada caso particular (MIERZWA; HESPANHOL, 2006a; 2006b).

É importante avaliar adequadamente a viabilidade de implantação de determinada tecnologia, pois a escolha por uma opção de baixo custo pode não ser financeiramente sustentável em virtude dos gastos com operação e manutenção correspondentes.

A figura 14 apresenta uma comparação entre os diferentes níveis de tratamento existentes, considerando os custos totais de investimento e de operação e manutenção e as eficiências correspondentes. Como pode ser observado, para o tratamento secundário, por exemplo, o custo total de investimento, mais a operação e a manutenção podem variar entre US\$ 1,0 e 2,0 / m³. As eficiências de remoção podem alcançar, nesse caso, valores entre 90% e 95% para DBO e SST, 40% para nitrogênio total e 90% para fósforo total.

Figura 14 – Sistemas básicos de tratamento de esgotos, eficiências de remoção e respectivos custos de capital e de Operação e manutenção.



Fonte: Somlyody (1993 apud HELMER; HESPANHOL, 1997).

O uso de fontes alternativas de abastecimento deve envolver uma política de segurança na indústria, contemplando a adequação das instalações e a sinalização adequada dos pontos de consumo, evitando-se, com isso, problemas de saúde pública. Os departamentos de meio ambiente das indústrias deverão, também, estabelecer e implementar programas de divulgação (visando à melhoria da imagem da empresa) e de treinamento e motivação de funcionários caso opte pelo reúso e/ou aproveitamento de águas pluviais.

Independentemente da tecnologia adotada para tratamento, todos os sistemas deverão ser submetidos a uma avaliação periódica de desempenho, para garantir o funcionamento dentro das condições de eficiência preestabelecidas. Nesse sentido, análises de amostras compostas coletadas em pontos afluentes e efluentes, assim como em pontos considerados como críticos, deverão ser

realizadas com frequência adequada. É preciso observar os métodos constantes em literatura pertinente, quanto à correta coleta, transporte e preservação das amostras, visando a evitar interferências nas análises laboratoriais.

Considerando-se ainda que, tanto na literatura especializada, quanto da análise de casos de sucesso já implantados, as denominadas águas de utilidades, com destaque para as torres de resfriamento, representam o maior potencial para a adoção das práticas de reúso pelo setor industrial, é apresentado no capítulo 4 um aprofundamento sobre esse tema específico.

Observação: ver, também, o capítulo 2.

REFERÊNCIAS

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626: 1998: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: 2007: Água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

CIRRA. Proposta para complementação do sistema de aproveitamento de águas pluviais do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água encaminhado ao Programa de Incentivo à sustentabilidade da Universidade de São Paulo, Documento interno, não publicado. 2013.

HESPANHOL, I. Uso e conservação de água em prédios públicos: manual prático. Brasília: MMA, 2014.

HESPANHOL, I. et al. Conservação e reúso de água: manual de orientações para o setor industrial. São Paulo: FIESP, 2005.

KAPLAN, R.; NORTON, D. A estratégia e a ação-the scorecard. 22. ed. [S.l.]: Campus/Elsevier, 2016.

MAY, S. Estudo do aproveitamento de águas pluviais para consumo não potável em edificações. 2004. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MAY, S.; HESPANHOL, I. Caracterização e tratamento de águas pluviais para consumo não potável em edificações, anais do XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental, Asociación Interamericana de Ingeniería Ambiental-AIDIS, 26-30, Novembro 2005, Punta Del Este, Uruguay; 2006.

MIERZWA, J. C. et al. Avaliação econômica de sistemas de reúso de água em empreendimentos imobiliários, anais do XXX Congresso Interamericano de Ingeniería

Sanitária y Ambiental, Asociación Interamericana de Ingeniería Ambiental-AIDIS, 26-30, Novembro 2005, Punta Del Este, Uruguay, 2006a.

MIERZWA, J. C. et al. (2006-b), Estudo para Avaliação do Potencial de Reúso e Aproveitamento da Água de Chuva em Indústria, *anais do XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental, Asociación Interamericana de Ingeniería Ambiental-AIDIS, 26-30, Novembro 2005, Punta Del Este, Uruguay, 2006b.*

MIERZWA, J. C. et al. Águas pluviais: método de cálculo do reservatório de conceitos para um aproveitamento adequado. *Rega*, v. 4, n. 1, jan./jul. 2007.

MIERZWA, J. C. et al, Avaliação econômica de sistemas de reúso de água em empreendimentos imobiliários, *anais do XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental, Asociación Interamericana de Ingeniería Ambiental-AIDIS, 26-30, Novembro 2005, Punta Del Este, Uruguay, 2006c.*

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. Água na Indústria: uso racional e reúso. São Paulo: [s.n.], 2005.

PIO, A. A. B. Reflexos da gestão de recursos hídricos para o setor industrial paulista. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SANTOS, F. N.; HESPANHOL, I. O reúso como ferramenta para o desenvolvimento de recursos hídricos em ambientes industriais. *Boletim técnico da universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo; 2007.*

SOMLYODY, I. Looking over the environment legacy. *Wat. Qual Int.*, 4, 17-20, in: Chapter 3, Technology selection, Veesntra S., Alaerts, J.G. and Bijlsma, in: *Water pollution control – A guide to the use of water quality management principles.* WHO, E & FN Spon. 1997.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. 4. ed. São Paulo: Navegar, 2011.



4

ÁGUA DE UTILIDADES

Alexandre Magno Barbosa Moreira
Anicia Aparecida Baptistello Pio
Carlos Filariga

Regional Technical Marketing Leader - TM Waste Water Treatment Latin America, GE Water & Process Technologies.

Mestre em Recursos Hídricos pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e especialista do Departamento de Meio Ambiente da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp).

Engenheiro da Spirax Sarco.

Consideram-se, neste manual, as águas de utilidades, como aquelas águas utilizadas em atividades auxiliares aos processos industriais, sem serem parte ou entrarem em contato direto com os produtos finais produzidos.

Neste capítulo, será abordado o uso da água como fluido de resfriamento e para sistemas de geração de vapor, consideradas atividades comuns à maioria das indústrias, além de serem as atividades maiores consumidoras de água cujas características de qualidade da água independe do tipo de indústria.

Destaca-se, ainda, que a média mundial de uso da água para fins de resfriamento na indústria, em geral, é de 48%, enquanto que, para as refinarias de petróleo, é de 95%, para a indústria química 92% e a siderúrgica 88%, conforme indicado na tabela 3 do capítulo 2.

Sendo assim, ao se estabelecer as prioridades em um programa de conservação e reuso, é fundamental estudar e conhecer detalhadamente os sistemas de utilidades, bem como as características de qualidade e quantidade requeridas da água. Por outro lado, essas informações também podem subsidiar alternativas de reutilização em outros processos dos eventuais efluentes gerados nestes sistemas (purgas, lavagens etc.).

Tanto no caso das torres de resfriamento quanto no caso das caldeiras, é necessário cuidado especial relacionado à garantia da qualidade das águas utilizadas para prevenir processos de corrosão, formação de depósitos e crescimento de micro-organismos que poderão comprometer o bom funcionamento dos sistemas, representando sério risco de acidentes inclusive.

O objetivo deste capítulo é descrever os principais aspectos de funcionamento e os monitoramentos e controles necessários, para as seguintes utilidades:

- a) Sistemas de resfriamento.
- b) Geração de vapor.
- c) Reuso de água de condensado.

4.1 SISTEMAS DE RESFRIAMENTO

Os sistemas de resfriamento são partes integrais das operações de uma unidade industrial e tem como objetivo resfriar os equipamentos e os processos de uma planta, possibilitando-lhes operar econômica e eficientemente.

Os sistemas de resfriamento industriais são classificados numa das três categorias básicas:

- a) De uma só passagem;
- b) Fechado;
- c) Recirculação aberta.

A indústria usa grandes quantidades de água para retirar o calor das correntes dos processos. O tratamento da água tem papel fundamental na operação de cada um desses sistemas de resfriamento. A função do tratamento da água é proteger o equipamento da planta contra a corrosão, a incrustação e os depósitos orgânicos.

4.1.1 SISTEMAS DE UMA PASSAGEM

A água passa através da planta uma vez apenas, sendo descarregada em seguida com o calor retirado dos sistemas do processo. Pelo excessivo volume de água, normalmente o tratamento químico é mínimo em termos de dosagens de produtos químicos. Não são mais tão usados, diante do custo da água captada e também dos elevados custos de equipamentos constituídos de metais mais nobres para prevenir a corrosão.

4.1.2 SISTEMAS DE RESFRIAMENTO FECHADO

Os sistemas de resfriamento fechados necessitam de trocadores de calor, uns que resfriam os processos (e aquecem a água) e outros que resfriam a água, de modo que ela possa ser reutilizada. Os típicos sistemas de resfriamento fechados precisam de pouca água de reposição (boa qualidade) porque as perdas de água são

normalmente pequenas, porém alguns sistemas perdem uma quantidade substancial de água de recirculação.

Os maiores problemas nos sistemas fechados são provenientes da corrosão e da deposição de produtos da corrosão que se acumulam no sistema. Por essas razões, os tratamentos químicos dos sistemas de resfriamento fechados se concentram tipicamente na inibição da corrosão em metais de aço carbono e cobre dentro do circuito de resfriamento. Dependendo da temperatura, pode-se também dosar biocidas não oxidantes.

4.1.3 SISTEMAS DE RESFRIAMENTO DE RECIRCULAÇÃO ABERTA

Os sistemas de resfriamento de recirculação aberta são encontrados em quase todas as indústrias, oferecendo um meio muito eficiente de resfriamento de vários processos. Nesses sistemas, a água resfria o fluido de processo através dos trocadores de calor. Entretanto, ao invés de ser descarregada diretamente da planta, a água quente é resfriada por algum método e recirculada através do sistema. Dessa forma, a quantidade de água usada é reduzida. Depois que a água de resfriamento foi aquecida pelo processo num sistema de resfriamento de recirculação aberta, ela é resfriada por evaporação ou em lagoas de *spray*, torres de resfriamento ou condensadores evaporativos.

Os sistemas de resfriamento de recirculação aberta usam diversas fontes de reposição, incluindo águas superficiais (rio ou lago), subterrâneas, clarificadas/filtradas, não tratadas, águas de reúso/reciclo etc. Normalmente, não é econômico retirar todos os minerais e sólidos da água de reposição, portanto, o tratamento químico nos sistemas de recirculação aberta deve visar não somente o controle da corrosão, mas também da incrustação e *fouling* (crescimento microbiológico). Devido às condições da água dentro de sistemas de resfriamento de recirculação aberta, a contaminação microbiológica causada por bactérias, algas e fungos também é motivo de preocupação. Para controlar o seu crescimento, devem ser usados biocidas.

As torres de resfriamento de recirculação aberta evaporam água pura. A evaporação provoca a concentração de sólidos dissolvidos e suspensos na água de circulação. Isso cria um desafio para o controle da corrosão, da deposição e da contaminação microbiológica.

Há uma relação fundamental entre a quantidade de água evaporada na torre – perda de água do sistema de resfriamento e a água de reposição. Essa relação é chamada de **balanço de água** na torre é resumida na seguinte equação:

$R = D + E$, em que:

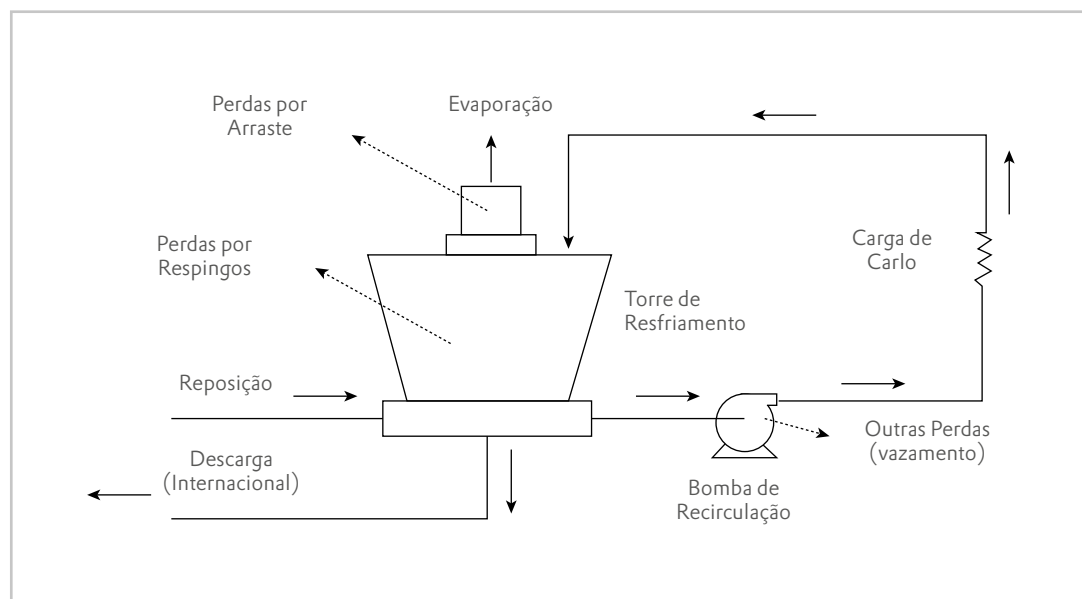
R = vazão de reposição, m^3/h .

D = vazão de descarga, m^3/h .

E = vazão de evaporação, m^3/h .

A figura 15 ilustra o conceito de balanço de água numa torre de resfriamento.

Figura 15 - Balanço da água.



Fonte: GE BETZ (2004).

A taxa de evaporação da água em uma torre de resfriamento está associada ao **diferencial de temperatura** (D delta T) da torre da seguinte forma:

$E = VR \times DT \times f / 100$, em que:

E = evaporação, m³/h.

VR = vazão de recirculação, m³/h.

DT = queda de temperatura através da torre, °C.

f = fator de evaporação (varia de acordo com o modelo da torre e a umidade relativa).

A evaporação é o meio primordial para remoção do calor – e perda d'água – em qualquer torre de resfriamento. Há outras perdas d'água que acontecem dentro da torre de resfriamento e no resto do sistema de resfriamento. Essas perdas são chamadas coletivamente de perdas líquidas. A perda líquida é a retirada de **qualquer** água do sistema por qualquer meio que não seja a evaporação. A perda pode ser intencional, abrindo-se a válvula de descarga, ou involuntária, através da perda de água na vedação da bomba, vazamentos no sistema ou arraste e respingos na torre de resfriamento. Os tipos de perdas e seu controle são resumidos na tabela 13.

Tabela 13 - Tipos de perda e seu controle.

DESCARGA	DEFINIÇÃO	TIPO	CONTROLE
Descarga intencional	Retirada proposital de água de recirculação	Intencional	Válvula de controle
Arraste	Gotículas de água levadas no fluxo de evaporação	Involuntário	Eliminadores de gotas
Respingos	Água que respinga dos lados da torre de resfriamento	Involuntário	Venezianas, eliminadores de respingos
Vazamento	Água que vaza das vedações das bombas e de outros componentes do sistema	Involuntário	Manutenção

Fonte: GE BETZ (2004).

A água que o sistema perde através da evaporação, da descarga e de outros meios precisa ser reposta. Do contrário, o volume da água circulando através da torre de resfriamento e nos trocadores de calor seria reduzido rapidamente. Esta água é chamada de água de **reposição** (ou *make up*).

Existe um problema com a reposição: ela traz sólidos que são concentrados no meio líquido à medida que as perdas acontecem. Cada vez que a concentração de sólidos dissolvidos é aumentada por uma quantidade igual à sua concentração na água de reposição, forma-se um **ciclo de concentração** adicional da reposição.

Para limitar a concentração de sólidos dissolvidos na massa d'água, parte dessa água com alta concentração de sólidos deverá ser retirada de uma forma controlada. Isso constitui a descarga *intencional* anteriormente mencionada. A descarga é monitorada e controlada, com base no número de ciclos desejado no sistema da torre de resfriamento e tolerado pelo programa de tratamento químico.

4.1.4 OPERAÇÃO DA TORRE DE RESFRIAMENTO

Nos sistemas de resfriamento, a maior parte dos problemas é causada por descuidos depois da partida da unidade. O fraco desempenho da torre pode reduzir a eficiência do resfriamento nos trocadores de calor, resultando em despesas desnecessárias. Um programa de manutenção preventiva deve ser providenciado para os principais componentes da torre.

Os quatro fatores mais importantes que influenciam a eficiência de uma torre de resfriamento são:

1. Vazão da água.
2. Vazão de ar.
3. Coeficiente de distribuição ar-água.
4. Carga de calor.

Mudanças na vazão de água têm efeito inverso na vazão do ar. Aumentando-se a vazão da água na torre, decresce a vazão de ar, resultando no aumento de temperatura da água. Se o coeficiente da distribuição do ar-água mudar substancialmente, a eficiência da torre é afetada.

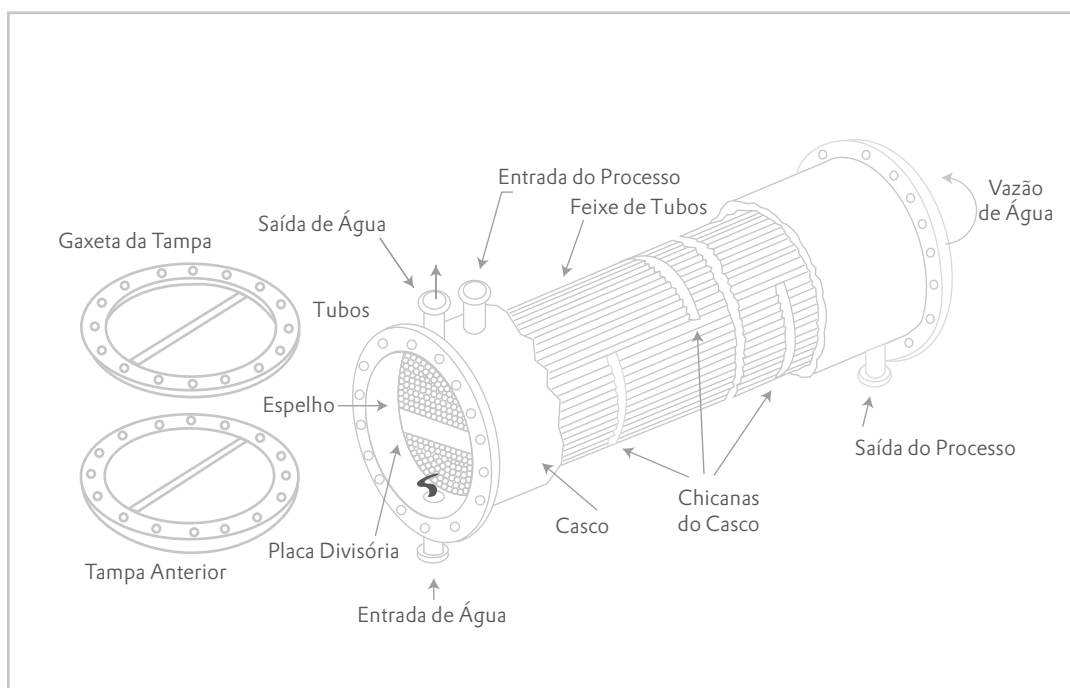
4.1.5 TROCADORES DE CALOR BÁSICOS

Os trocadores de calor são a outra metade do sistema de resfriamento da água. Têm diversas formas e tamanhos.

A transferência de calor acontece por causa da diferença nas temperaturas entre o processo e a água de resfriamento. O calor passa do fluido do processo, através das paredes de metal dos tubos, para a água que está circulando através do sistema. O calor é rejeitado na torre de resfriamento através da evaporação.

As áreas de baixa vazão no lado casco (zonas mortas) podem promover deposição de sólidos suspensos e contribuir para os três inimigos básicos do desempenho do trocador: corrosão, incrustação e deposição.

Figura 16 - Trocador de calor de dois passes com água pelos tubos.



Fonte: **GE BETZ (2004)**.

4.1.6 PRINCIPAIS PROBLEMAS DOS SISTEMAS DE RESFRIAMENTO

a) Corrosão

A corrosão é uma reação eletroquímica que ocorre entre um metal e seu ambiente, durante a corrosão o oxigênio da água é usado nas reações químicas para formar o óxido de ferro (ferrugem), sendo a causa mais frequente de vazamento no trocador de calor. A falha de um trocador de calor essencial pode significar horas de paradas não programadas, perdas de produção, assim como aumento nos custos operacionais.

Além de perder o metal, os produtos da corrosão (óxido de ferro ou ferrugem) podem migrar através do sistema de resfriamento e se depositar em outras áreas. Se eles se depositarem em outro trocador de calor, a eficiência da transferência de calor daquele trocador é reduzida, o que aumenta os custos da produção. Controlar a corrosão sempre reduz os custos operacionais.

Cabe destacar que o objetivo de um bom programa de controle da corrosão é minimizar a corrosão de todos os metais a um nível aceitável. O sucesso depende da instalação de equipamentos bem projetados e compatíveis com o seu uso, além da aplicação de um programa eficiente de tratamento da água.

- **Principais formas de corrosão**

Em um sistema de resfriamento, a corrosão aparece como “afinamento” geral do metal (**corrosão generalizada uniforme**) ou uma corrosão intensa em pontos específicos (**pitting**). O *pitting* é mais perigoso que a corrosão generalizada porque é concentrado e mais profundo. O metal vai sendo perfurado e podem surgir falhas em curto tempo.

Acontece um tipo especial de corrosão quando dois metais diferentes entram em contato na água. Por exemplo, se usarmos válvulas de latão conectadas com tubos

de aço ou tubos de cobre com espelhos de aço carbono, acontece a corrosão galvânica entre os dois metais.

Outro tipo de corrosão que pode ocorrer nos sistemas de resfriamento é a **lixiviação seletiva**. Nesse caso, a corrosão ataca um elemento da liga (a liga é uma mistura de metais básicos). A forma mais comum de lixiviação nos sistemas de resfriamento é a dezincificação do latão, onde o zinco é removido do latão, deixando o metal de cobre puro. Nos sistemas de resfriamento, as principais causas da dezincificação estão na superdosagem de biocidas oxidantes, tais como o cloro ou o hipoclorito de sódio e/ou na operação dos sistemas de água de resfriamento em pH abaixo de 7 (condições ácidas).

Outro tipo de corrosão que acontece nos sistemas de resfriamento é a chamada **stress corrosion crackin (SCC) ou corrosão sob tensão**. O aço inoxidável e os latões *admiralty* são os mais suscetíveis a esse tipo de defeito. Para que esse tipo de problema ocorra, deve haver a presença de materiais corrosivos específicos na água, a temperatura do metal deve ser alta e o metal básico deve estar, de alguma forma, estressado (deposição formadas em zonas mortas). A presença de cloretos é uma causa comum de SCC no aço inoxidável. A presença da amônia tem sido ligada ao SCC nos latões admiralty.

A **corrosão sob depósito** pode ocorrer quando uma incrustação mineral ou produtos corrosivos arrastados de outras áreas do sistema se acumulam em uma superfície metálica. Esta é uma corrosão localizada, causada por células de concentração de oxigênio, levando a uma séria corrosão localizada e à perfuração da estrutura metálica.

Outro tipo de corrosão que pode ser observado em sistemas de resfriamento é a **corrosão induzida por micro-organismos** (MIC). A MIC ocorre sob o biofilme aderido às superfícies metálicas. O biofilme atua como uma barreira para os micróbios, protegendo-os dos biocidas e permitindo que eles se desenvolvam. A maioria dos organismos segrega ácidos como parte de seus processos metabólicos e isso cria uma condição localizada de baixo pH sob o biofilme levando à corrosão.

Como se pode ver, corrosão pode acontecer de muitas formas nos sistemas de resfriamento. Portanto, não se consegue minimizar a corrosão com uma única abordagem. É necessária uma combinação de soluções químicas, operacionais e mecânicas.

- **Fatores que influenciam a corrosão**

Embora o grande potencial de reúso em uma planta seja a torre de resfriamento, e necessário um cuidado especial com a qualidade da água, considerando ser ela a responsável direta pelos processos de corrosão, incrustação e deposição.

Muitos fatores afetam a taxa e a severidade da corrosão dos sistemas de resfriamento, sendo que a maioria deles ou são desenvolvidos no projeto do sistema ou são relacionados à qualidade da água de reposição, tais como:

- O **oxigênio** presente na água é um componente fundamental que influencia a taxa de corrosão em um sistema de resfriamento porque participa das reações na superfície metálica. Quanto mais oxigênio tiver, mais rápida a corrosão. Em uma torre de resfriamento, o ar é misturado com a água ao passar através do enchimento da torre. A água é continuamente saturada por oxigênio.
 - A **temperatura** é outro fator que afeta diretamente a taxa de corrosão em um sistema de resfriamento. A taxa de corrosão quase dobra cada vez que a temperatura da água sobe 10 °C. Na maioria dos casos, são projetadas temperaturas operacionais para os sistemas de resfriamento e pouco se pode fazer para mudá-las.
 - A **velocidade** da água influencia a taxa de corrosão nos sistemas de resfriamento. Em faixas relativamente baixas de velocidade (inferior a 0,7 m/s), a taxa de corrosão tende a crescer, diante do início da deposição de sais e bioflocos no metal.
 - Em geral, quanto mais baixo o pH, maior a tendência para corrosão. São adicionados inibidores de corrosão no sistema para reduzir a taxa de corrosão, sendo os mesmos projetados para operar dentro de uma faixa específica de pH. É, portanto, fundamental controlar o pH do sistema de resfriamento dentro da faixa especificada para seu programa de tratamento. O pH é controlado nos
-

sistemas de resfriamento ou pela alimentação de ácido ou álcalis, ou pelo ajuste dos ciclos de concentração na torre de resfriamento.

- O total de **sólidos** dissolvidos (STD) e suspensos de uma água tem influência direta na taxa de corrosão, pois, além de elevar a condutividade da água, os sólidos suspensos poderão também se depositar sob o metal provocando-lhe pilhas de aeração diferencial (corrosão localizada).
- O uso do **cloro** também está fortemente associado à taxa de corrosão. Em geral, quanto mais elevada a dosagem de cloro ou hipoclorito de sódio, maior a tendência à corrosão. Portanto, um bom controle de cloro e do hipoclorito de sódio é crítico num sistema de resfriamento (ideal é manter o pico máximo abaixo de 1 ppm).

b) Incrustação/Deposição

O acúmulo gradual de incrustação e depósitos nos sistemas de água de resfriamento afeta diretamente a produção. Os problemas de deposição podem levar à:

- eficiência reduzida da torre;
- diminuição da transferência de calor;
- capacidade reduzida de fluxo d'água nas tubulações.

Em última análise, se não for interrompido, o acúmulo de incrustações e depósitos pode resultar em perdas na produção, vida mais curta do equipamento e custos mais elevados, devido a limpezas frequentes ou necessidade de maior capacidade de bombeamento.

• Fatores que afetam a incrustação

A formação da deposição é fortemente influenciada por vários fatores. Os principais são:

- composição da água;
- pH;

- temperaturas da água e de película do trocador de calor;
- velocidade da água;
- tempo de retenção;
- metalurgia do sistema;
- tipos de contaminantes no processo;
- sistema de dosagem; e
- programa de tratamento inadequado etc.

Esses fatores são interligados. As incrustações e as deposições mais graves são normalmente encontradas em equipamento de processo, operando em alta temperatura de película e/ou baixa velocidade da água. Nas torres de resfriamento de alta eficiência com enchimento tipo filme, os acúmulos de incrustação e depósitos são uma preocupação.

A incrustação é uma camada de materiais predominantemente formada por *inorgânicos* formados por precipitação e subsequente crescimento de cristal na superfície em contato com a água. A precipitação ocorre quando a solubilidade dos compostos que formam o depósito é ultrapassada.

O carbonato de cálcio, o sulfato de cálcio, o fosfato de cálcio e o silicato de magnésio são exemplos de sais que possuem solubilidade inversa. Podem ser completamente solúveis nas temperaturas mais baixas da massa d'água do sistema de resfriamento, mas não são solúveis nas águas de temperaturas mais elevadas localizadas nas superfícies de transferência de calor dos trocadores e se precipitam na superfície metálica.

O carbonato de cálcio é a incrustação mais comumente formada nos sistemas de água de resfriamento porque é formado por dois materiais presentes em virtualmente toda a água de reposição: dureza de cálcio e alcalinidade de bicarbonato.

Outro depósito comum é o fosfato de cálcio. Da mesma forma que o carbonato de cálcio, ele torna-se menos solúvel com o aumento de pH e da temperatura.

As fontes típicas de fosfato incluem o rio ou a água da cidade, águas de esgoto parcialmente tratadas ou os programas de tratamento de água baseados em fosfato.

A sílica dissolvida é encontrada naturalmente na água. À medida que a água se concentra em um sistema de torre de resfriamento, podem ocorrer concentrações de sílica superiores a 150 ppm [mg/L] as quais podem causar incrustações por sílica (depende diretamente da empresa tratadora/patentes específicas para tal).

O cálcio e o magnésio podem reagir com a sílica e diminuir drasticamente a transferência de calor devido à formação de incrustações muito duras de silicato de magnésio ou de silicato de cálcio/magnésio.

O ferro originado de água de poço geralmente apresenta baixa solubilidade nos sistemas de resfriamento, levando à formação de depósitos de ferro em todo o sistema de resfriamento. Essas incrustações podem ser duras, densas, firmemente aderentes ou soltas e altamente porosas. Ambas as formas podem reduzir drasticamente a eficiência da transferência do calor.

O manganês é frequentemente visto em conjunto com o ferro. As incrustações de manganês dependem da metalurgia do sistema. As incrustações de manganês formam-se preferencialmente em superfícies de latão *admiralty* e de aço inoxidável. Uma vez formadas, essas incrustações são muito difíceis de remover e podem levar à grave corrosão sob o depósito.

Além dos íons que ocorrem naturalmente na água, os produtos químicos de tratamento, dosados para controle da corrosão, podem causar problemas de incrustações se não forem dosados adequadamente. Por isso, testar e monitorar os sistemas de resfriamento é fundamental para a manutenção de operações confiáveis com um mínimo de incrustação.

c) Deposição

A deposição é a sedimentação de materiais *suspensos na* água – em oposição a materiais *dissolvidos* na água que geralmente formam incrustações. Os materiais suspensos incluem lama, compostos orgânicos, óleos, argilas, produtos da corrosão, lodos biológicos, poeira e sólidos em geral.

Os sólidos suspensos entram no sistema de resfriamento de diversas formas. Se a água de reposição contiver sólidos suspensos, estes serão concentrados durante a operação da torre, conforme a água é ciclada. Outras partículas são absorvidas pela água devido ao seu carreamento pelo ar que passa através da torre. Os micro-organismos carregados pelo ar têm um meio ideal de desenvolvimento na água de resfriamento devido à sua temperatura e ao teor de nutrientes. Os depósitos de origem microbiológica podem reduzir gravemente a eficiência da transferência de calor, se não forem controlados. Seu grau de isolamento térmico é muito superior ao da incrustação do tipo inorgânica.

d) Crescimento de micro-organismos

Os sistemas de resfriamento oferecem condições que favorecem o crescimento da *vida microscópica*, predominantemente algas, fungos e bactérias.

Os micro-organismos que se aderem a superfícies molhadas crescem ali e, no devido tempo, formam comunidades maiores. Essas comunidades, chamadas de **biofilmes**, consistem de células microbianas e materiais secretados pelas células para funcionar como camada protetora. Essa camada consiste de polímeros biológicos complexos. Esses materiais são gelatinosos e pegajosos. Outro nome para biofilme é **limo** (ou lodo).

Se o seu crescimento não for controlado, os biofilmes interferem no funcionamento do equipamento: a contaminação microbiana pode reduzir rapidamente ou mesmo bloquear o fluxo da água, reduz transferência do calor e aumentar as taxas de corrosão.

Sem o controle microbiológico adequado, a eficácia dos programas de controle de deposição e inibição da corrosão fica seriamente comprometida. Por exemplo, uma camada espessa de limo pode evitar que os inibidores de corrosão alcancem a superfície metálica. Pior ainda, os organismos frequentemente secretam resíduos ácidos que aceleram a corrosão do metal. As camadas de limo são pegajosas e prendem os sólidos suspensos da massa d'água, aumentando o nível de deposição no sistema de resfriamento.

Nos sistemas de recirculação abertos, a água utilizada é a principal responsável pela presença de micro-organismos que são introduzidos principalmente pelo ar forçado que circula nas torres. Também entram nos sistemas abertos e fechados, por meio de água de reposição contaminada ou por vazamentos das correntes do processo.

Os sistemas de resfriamento proporcionam condições ótimas para o crescimento dos micro-organismos, como:

- água;
- nutrientes para o crescimento;
- energia solar, algas;
- temperatura ótima;
- faixa ideal de pH; e
- contaminações de processo.

As necessidades nutritivas dos micro-organismos são simples. Eles precisam primariamente de fontes de carbono, nitrogênio e um pouco de fósforo. Esses elementos podem estar na água de reposição, podem vir do vazamento das correntes de processo de contaminações aéreas, lixiviados da torre de madeira ou mesmo incluídos como produtos químicos de tratamento para controle de corrosão ou deposição.

As **algas**, por precisarem da luz do sol para se desenvolver, são geralmente encontradas nas bacias de distribuição de água no topo da torre e estruturas de sustentação da torre. A clorofila dá às colônias a sua cor característica. As algas podem obstruir

os bocais de distribuição da água, perturbar o equilíbrio da distribuição de água na torre, entupir o enchimento, as telas e reduzir a eficiência da torre. Como convertem o CO₂ em compostos orgânicos que elas e outros organismos usam, as algas são geralmente chamadas de colonizadoras “pioneiras” do sistema de resfriamento. Elas preparam o palco para o desenvolvimento de outros organismos **fungos**.

Os fungos exigem menos umidade e sobrevivem em pH inferior aos ideais para algas e bactérias.

A principal classe de **fungos** que prejudica as torre de resfriamento é a dos destruidores de madeira. Essa classe inclui espécies que produzem a podridão macia, a podridão branca e a podridão marrom. Em geral, a decomposição é interna, enfraquecendo a madeira com pouco ou nenhum sinal externo dessa condição.

Ao contrário das algas e dos fungos, as **bactérias** tendem a se desenvolver *ao longo* de todo o sistema de resfriamento. As bactérias redutoras são frequentemente encontrados nos lodos ou sob os depósitos (regiões anaeróbias) onde liberam sulfeto de hidrogênio, H₂S, que tem o odor de “ovos podres”. O H₂S é muito corrosivo; consequentemente, essas bactérias podem causar danos por corrosão sob os depósitos. São necessários testes especiais para medir a presença desses organismos.

4.1.8 MONITORAÇÃO GERAL DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO

A aplicação de um tratamento eficaz de produtos químicos exige monitoramento das variáveis envolvidas no sistema por intermédio de:

- análises químicas;
- monitoração da corrosão;
- monitoração da incrustação/deposição;
- monitoração microbiológica; e
- monitoração da eficiência do trocador de calor e torre de resfriamento.

É importante destacar que as amostras coletadas devem ser representativas do sistema, evitando que problemas de coleta comprometam os resultados do monitoramento.

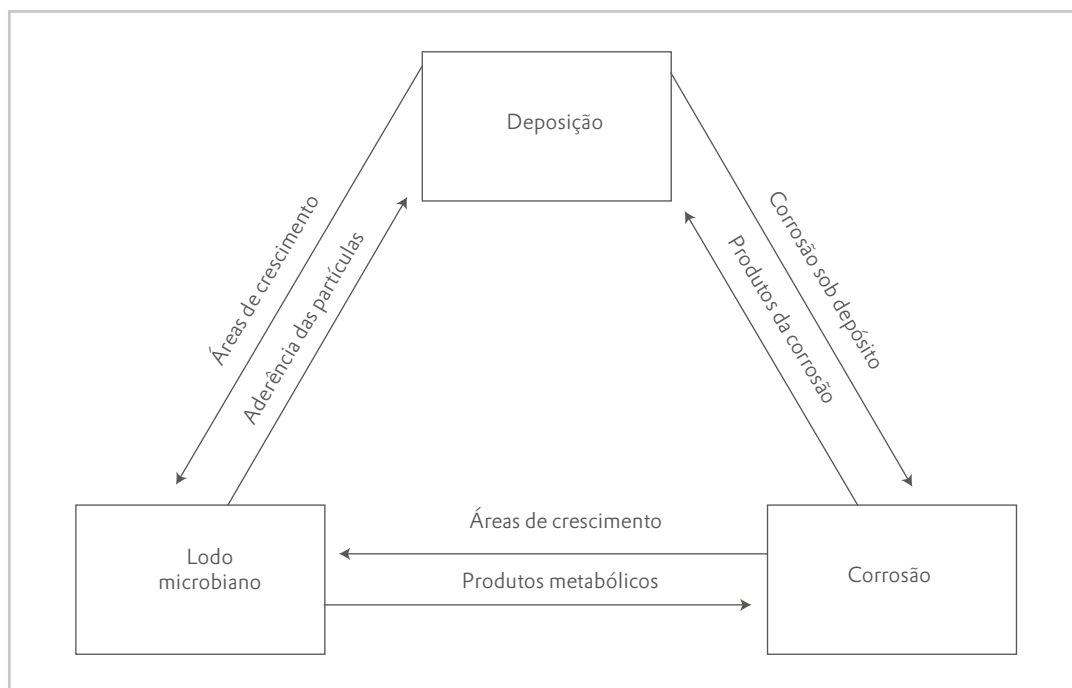
O objetivo do tratamento químico para o controle de incrustação/deposição, corrosão e biocontaminação é manter as superfícies do trocador de calor limpas. Entre as análises químicas, as mais usuais são: pH, condutividade, alcalinidade, cálcio, sólidos suspensos, turbidez, DQO e cloretos.

O tratamento de água, seja ligado a sistemas de resfriamento, seja ligado a sistemas de caldeiras, visa a:

- aumentar a vida do equipamento;
- minimizar horas paradas e prejuízos associados à produção;
- minimizar os custos de manutenção (esporádica ou em paradas gerais);
- evitar distúrbios nos sistemas; e
- maximizar a transferência de calor/eficácia da energia.

Para tanto, é preciso compatibilizar a elevação de ciclos com as regulamentações ambientais ao mesmo tempo, proporcionando um ambiente de trabalho operacional seguro e um baixo custo de tratamento. Na figura 17, pode-se observar realmente a inter-relação entre os processos de corrosão, deposição e de crescimento de lodo microbiano.

Figura 17 - Inter-relacionamento entre a corrosão, a deposição e o lodo microbiano.



Fonte: GE BETZ (2004).

Complementarmente aos cuidados já mencionados para controle e minimização dos problemas com os sistemas de resfriamento, cabe destacar:

- correta manutenção do sistema;
- bom controle operacional do sistema de controle e monitoramentos;
- treinamentos dos operadores (utilidades => responsáveis pela qualidade da água de *make up* e operadores de processo – trocadores de calor).

4.2 SISTEMAS DE GERAÇÃO DE VAPOR

O vapor é utilizado para aquecimento, cozimento, geração de vapor/energia, limpeza e inúmeras outras utilizações industriais. Entre os equipamentos que geram vapor, destacam-se as caldeiras. Elas podem utilizar diferentes tipos de combustíveis e têm diversas configurações, dependendo do seu uso.

Independente dessas variações, um dos principais aspectos que afeta o seu desempenho é a qualidade da água.

Gerar vapor em um recipiente fechado resulta em um aumento na pressão devido ao grande aumento no volume ocupado pela água, quando esta passa de líquido para gás.

O calor desprendido pelo combustível quando queimado é transferido através das paredes do tubo da caldeira e absorvido pela água da caldeira. Todos os depósitos formados tanto no lado da água quanto no lado do fogo impõem resistência à transferência efetiva de calor. Deve ser aplicado calor adicional para gerar vapor (elevação no consumo do combustível/custos), se houver depósitos. Pode resultar em superaquecimento dos tubos da caldeira, conduzindo a eventuais falhas irreversíveis.

4.2.1 QUALIDADE DA ÁGUA

Com o aumento das temperaturas e as pressões operacionais, torna-se necessário melhorar a qualidade da água de alimentação da caldeira. Sistemas sofisticados de tratamento externo removem as impurezas da água que poderiam ocasionar depósitos ou corrosão nas caldeiras.

Os manuais do fabricante, conforme exemplo figura 18, apresentam as principais características da água para diferentes pressões de operação.

Figura 18 - Exemplo de padrões de qualidade da água para caldeiras.

Tipo de caldeira: aquatubular industrial, alto rendimento, combustível primário, tipo tambor								
Porcentagem de água de reposição: até 100% de água de alimentação								
Condições: inclui superaquecedor, turbinas de acionamento ou restrição do processo sobre a pureza do vapor								
Meta da Pureza do Vapor Saturado ⁽²⁾								
Pressão de Operação MPa no tambor ⁽¹⁾ (psig)	0-2.07 (0-300)	2.08-3.10 (301-450)	3.11-4.14 (451-600)	4.15-5.17 (601-750)	5.18-6.21 (751-900)	6.22-6.89 (901-1000)	6.90-10.34 (1001-1500)	10.35-13.79 (1501-2000)
Água de alimentação ⁽⁷⁾								
Oxigênio dissolvido (mg/LO ₂) medido antes da adição do sequestrante de oxigênio ⁽⁵⁾	<0.04	<0.04	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007
Ferro Total (mg/L Fe)	=<0.100	=<0.050	=<0.030	=<0.025	=<0.020	=<0.020	=<0.010	=<0.010
Cobre Total mg/L Cu)	=<0.050	=<0.025	=<0.020	=<0.020	=<0.015	=<0.015	=<0.010	=<0.010
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	=<0.300	=<0.300	=<0.200	=<0.200	=<0.100	=<0.50	não detectável	
Faixa de pH @ 25°C	7.5-10.0	7.5-10.0	7.5-10.0	7.5-10.0	7.5-10.0	8.5-9.5	9.0-9.6	9.0-9.6
Produtos químicos pra proteção do sistema pré-caldeira								
TOC não volátil (mg/L C) ⁽⁶⁾	<1	<1	<0.5	<0.5	<0.5	mais baixo possível <0.2		
Matéria oleosa (mg/L) <1	<1	<0.5	<0.5	<0.5	mais baixo possível <0.2			
Água de caldeira								
Sílica (mg/L SiO ₂)	=<150	=<90	=<40	=<30	=<20	=<8	=<2	=<1
Alcalinidade total (mg/L CaCO ₃)	<350 ⁽³⁾	<300 ⁽³⁾	<250 ⁽³⁾	<200 ⁽³⁾	<150 ⁽³⁾	<100 ⁽³⁾	não especificado ⁽⁴⁾	
Alcalinidade de hidróxido livre (mg/L CaCO ₃)			não especificado				não detectável	
Condutância específica (uS/cm) (umho/cm) @ 25°C sem neutralização	<3500 ⁽⁵⁾	<2500 ⁽⁵⁾	<2000 ⁽⁵⁾	<1500 ⁽⁵⁾	<1000 ⁽⁵⁾	=<150	=<100	

Notas:

1. Para fluxos de calor local > 473.2 KW/m² (> 150.000 Btu/hr/t₂), utilizar valores para o próximo limite superior de pressão.
2. O nível mínimo de alcalinidade OH em caldeiras abaixo de 6.21 Mpa (900 psig) de ser individualmente especificado com relação a solubilidade da sílica e outros componentes do tratamento interno.
3. Alcalinidade total máxima consistente com a pureza de vapor aceitável. Se necessário deve sobrepor-se a condutância como parâmetro de controle. Se a água de reposição é água desmineralizada a 4,14 Mpa (600 psig) a 8,89 Mpa (1000 psig), a alcalidade e a condutância da água de caldeira devem ser as indicadas na tabela para a faixa de 6,90 a 10,34 Mpa (1001 a 1500 psig).
4. Não detectável, nestes casos, refe-se ao sódio livre ou à alcalinidade de hidróxido de potássio. Uma pequena quantidade variável de alcalinidade total estará presente e será mensurável com o congruente adotado, ou com o controle coordenado pH-fosfato ou com o tratamento volátil empregado nestas altas faixas de pressão.
5. Valores máximos frequentemente não são alcançados sem ultrapassar os valores máximos de alcalinidade total sugeridos, especialmente em caldeiras abaixo de 6,21 Mpa (900psig) com água de reposição > 20%, cuja alcalidade total é normalmente > 20% de TDS ou após pré-tratamento por cal-soda, ou abrandamento pela torca iônica do ciclo de sódio. Os valores permissíveis de condutância para se obter a pureza de vapor desejável devem ser estabelecidos para cada caso, através de cuidadosas medidas de pureza de vapor. O relacionamento entre condutância e pureza do vapor é afetado por muitas variáveis que permitem sua redução a uma simples lista de valores tabulados.
6. TOC não volátil é o carbono orgânico não adicionado propositalmente, como parte do regime de tratamento da água.
7. Caldeiras abaixo de 6.21 Mpa (900 psig) com grandes fornalhas, amplo espaço de liberação de vapor, polímero e/ou tratamento antiespumante podem, algumas vezes, sportar níveis mais altos de impurezas na água de alimentação do que aqueles mencionados na tabela e ainda assim executar um controle adequado de deposição e pureza de vapor. O remoção destas impurezas através de pré-tratamentos externo é sempre uma solução mais positiva. Alternativas devem ser avaliadas em cada caso individual para determinar se são práticas e economicas.
8. Os valores da tabela pressupõem a existência de um desaerador.
9. Nenhum valor fornecido, pois a pureza de vapor que pode ser conseguida depende de muitas variáveis, incluindo a alcalinidade total da água de caldeira, nesta categoria exigem um grau relativamente alto de pureza de vapor, outros parâmetros operacionais devem ser estabelecidos, tão baixos quanto necessários para se alcançar esta alta pureza para proteção dos superaquecedores e turbinas e/ou para evitar a contaminação do processo.

Fonte: GE BETZ (2004).

Limites severos de sílica na água de alimentação da caldeira, bem como outros contaminantes têm sido estabelecidos para minimizar o potencial de arraste químico. Controle e monitoração do teor em sólidos dissolvidos ou condutância específica da água da caldeira também são recomendados para evitar arraste, formação de depósitos ou desenvolvimento de condições corrosivas.

À medida que a água ferve e deixa o tambor de vapor como água pura, todos os sólidos dissolvidos ou suspensos permanecem na caldeira. O processo conhecido como **ciclagem** descreve o acúmulo ou concentração de sólidos na água da caldeira com a formação de vapor. Eventualmente, o conteúdo de sólidos alcançará o limite de saturação dos contaminantes, que precipitam na água da caldeira e, eventualmente, causam a formação de depósitos. A remoção efetiva ou descarga dos sólidos é o procedimento recomendado para minimizar os depósitos e prevenir que outros problemas se desenvolvam. Uma **descarga contínua** do tambor de vapor, onde existe a maior concentração de sólidos, controla os ciclos de concentração na água da caldeira.

4.2.2 PRINCIPAIS PROBLEMAS DOS SISTEMAS DE GERAÇÃO DE VAPOR – ARRASTE

Os sólidos da água da caldeira arrastados com o vapor formarão os depósitos em válvulas de bloqueio e sem retorno, superaquecedores, válvulas de controle e turbinas. O arraste pode contaminar as correntes do processo e diminuir a qualidade do produto. A deposição em superaquecedores pode causar falha devido ao superaquecimento.

As turbinas são particularmente propensas a serem danificadas pelo arraste. A obstrução das válvulas mestres, devido aos depósitos, pode causar superaquecimento perigoso da turbina, bem como sérios prejuízos. Partículas sólidas no vapor podem desgastar as peças da turbina, enquanto que a deposição nas lâminas da turbina pode reduzir a eficiência.

Figura 19 - Os depósitos nas lâminas da turbina reduzem a eficiência.



Fonte: GE BETZ (2004).

É comum uma redução de 5% na eficiência da turbina devido à deposição. Quando grandes golfadas de água da caldeira são arrastadas com o vapor, o choque térmico e mecânico podem causar um rápido prejuízo.

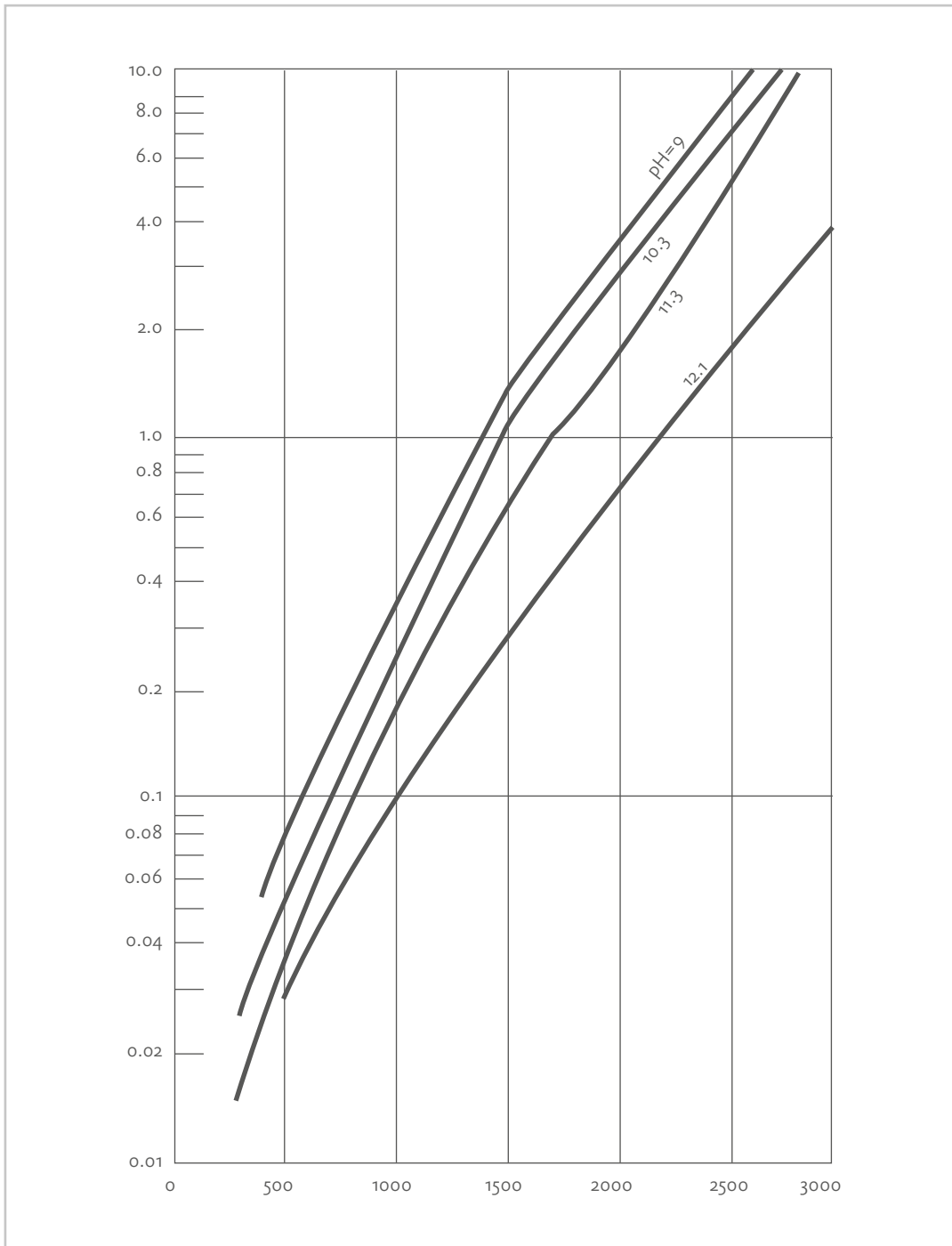
a) Causas do arraste

A separação incompleta do vapor da mistura água/vapor na caldeira resulta em arraste. Existem muitos fatores – mecânicos ou químicos – que dificultam a separação completa.

Entre as causas mecânicas de arraste estão o **projeto da caldeira, equipamento insuficiente** ou **vazamento no equipamento de separação, altos níveis de água, métodos de aquecimento** e **características da carga**.

Entre as causas químicas, estão as altas **concentrações totais de sólidos**, dissolvidos e/ou suspensos, **alcalinidade excessiva**, a presença de **materiais oleosos** e outros **contaminantes orgânicos**. Os tipos de tratamentos externos (pré-tratamento) e interno da água da caldeira, algumas vezes, afetam a pureza do vapor. Em alguns casos, pode ocorrer **vaporização da sílica**, sendo isso uma forma de arraste químico.

Figura 20 - Efeito da pressão da caldeira e pH sobre a volatilidade da sílica.



Fonte: GE BETZ (2004).

O efeito de sólidos dissolvidos, de sólidos suspensos e de alcalinidade sobre o arraste tem sido objeto de importantes pesquisas. Em algumas fábricas, a alcalinidade é fator determinante, enquanto em outras é o total de sólidos dissolvidos que limita as concentrações de água da caldeira, que podem ser mantidas sem arraste.

b) Prevenção do arraste

O arraste não pode nunca ser completamente eliminado. Mesmo as melhores caldeiras com um bom controle químico da água produzem vestígios (0,005-0,01 parte por milhão de sólidos totais) de arraste. Entretanto a consideração mais importante ao se selecionar uma caldeira é a quantidade de arraste que pode ser tolerada.

• Meios mecânicos de prevenção do arraste

Para manter tamanhos econômicos de tambor a pressões mais elevadas, métodos mecânicos internos de separação são instalados. Estes métodos podem ser classificados em duas categorias: separação primária e separação secundária.

Separação primária do vapor e água da caldeira é alcançada por meio de mudanças repentinas na direção do fluxo, usando a diferença na densidade da água e vapor como meio de separação. A maior separação é executada por métodos primários. Eles não somente reduzem o arraste, mas também reduzem a turbulência e o conteúdo do vapor da água de recirculação da caldeira.

Separação secundária é também denominada *scrubbing* e secagem de vapor. Nesse processo, pequenas quantidades de umidade devem ser separadas das grandes quantidades de vapor. Esta separação é realizada pelo fornecimento de ampla superfície de contato e frequente reversão do fluxo de vapor, de modo que a névoa de água da caldeira pode acumular-se e ser drenada da unidade de separação.

Telas rigorosamente ajustadas ou placas onduladas são normalmente utilizadas para formar essas unidades. A velocidade do vapor é mantida baixa para evitar o arraste da água da caldeira separada e para assegurar um contato máximo para remoção da água da caldeira.

Conquanto a separação do vapor seja geralmente realizada no tambor de vapor, também existem métodos externos de separação. Estes são particularmente úteis onde somente uma porção de produção de vapor deve ser purificada para uma única aplicação. Em alguns casos, a purificação externa é mais barata do que modificar o interior do tambor da caldeira.

• Meios químicos de prevenção do arraste

Conforme discutido anteriormente, os principais fatores químicos que causam o arraste são os sólidos totais dissolvidos, a alcalinidade, a sílica e o conteúdo de óleo da água da caldeira. A tabela 14 mostra as instruções para concentrações máximas permitidas para evitar o arraste. A única mudança substancial do padrão da American Society of Mechanical Engineers (Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos) é a adoção dos limites máximos de sílica para prevenir o excessivo arraste seletivo de sílica. O valor fornecido limitará o conteúdo de sílica do vapor a 0,020 ppm (20 ppb), que é considerado seguro para prevenção dos depósitos de sílica nas turbinas.

Tabela 14 - Orientação para concentrações máximas para qualidade da água da caldeira.

ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA				ÁGUA DA CALDEIRA		
Pressão do tambor (psig)	Ferro (ppm Fe)	Cobre (ppm Cu)	Dureza Total (ppm CaCO ₃)	Silica (ppm SiO ₂)	Alcalinidade** Total (ppm CaCO ₃)	Condutância Específica (micromhos/cm)
0-300	0.100	0.050	0.300	150	700*	7000
301-450	0.050	0.025	0.300	90	600*	6000
451-600	0.030	0.020	0.200	40	500*	5000
601-750	0.025	0.020	0.200	30	400*	4000
751-900	0.020	0.015	0.100	20	300*	3000
901-1000	0.020	0.015	0.050	8	200*	2000
1001-1500	0.010	0.010	0.0	2	0***	150
1501-2000	0.010	0.010	0.0	`	0***	100

* A alcalinidade não excede 10 por cento da condutância específica.

** O nível mínimo de alcalinidade OH em caldeiras abaixo de 1000 psi deve ser especificado individualmente com relação à solubilidade da sílica e outros componentes do tratamento interno.

*** O zero, nestes casos, refere-se a alcalinidade livre de hidróxido de potássio ou de sódio. Uma pequena quantidade variável de alcalinidade total estará presente e será medida pelo controle congruente presuposto ou tratamento volátil utilizado nestas faixas tipos de alta pressão.

Fonte: GE BETZ (2004).

São também fornecidos valores para permitir o controle dos sólidos dissolvidos através de controladores automáticos de descarga, os quais medem a condutância específica não neutralizada de água de descarga. As instruções fornecidas não devem ser consideradas absolutas. Alguns sistemas não podem tolerar a operação nessas concentrações. Por outro lado, muitas fábricas podem operar continuamente com concentrações bem maiores.

Sempre que são alcançadas concentrações excessivas de água de caldeira, o aumento da taxa de descarga da caldeira, normalmente constitui a solução mais simples e mais conveniente. Entretanto, nos casos em que as altas concentrações são causadas por altos níveis de impurezas na água de alimentação, o ajuste ou a sofisticação do tratamento externo podem ser a solução mais econômica.

Como os vários sólidos e matérias orgânicas suspensas na água de alimentação da caldeira têm efeitos diversos sobre o arraste, não é possível generalizar as concentrações permitidas. Recomenda-se que sua concentração seja a menor possível. A prevenção do arraste devido à presença de óleo e outros orgânicos na água da caldeira é um problema que deve ser controlado de forma inteiramente externa à caldeira. Nenhum método de tratamento interno é confiável para superar um problema de arraste causado por esses contaminantes. A completa remoção desses contaminantes da água de alimentação da caldeira é a única medida segura a ser tomada.

Alguns produtos orgânicos específicos podem ser aplicados no tratamento de água para evitar a deposição, a corrosão ou o arraste nas caldeiras. Entre os muitos fatores que determinam o seu uso nos sistemas da caldeira, está a ausência da tendência a causar arraste.

4.2.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS DE ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS

Embora seja possível utilizar águas de qualquer fonte de abastecimento – rede pública, captação direta de rios, poços profundos etc., em todos os casos é condição necessária o controle e contínuo monitoramento da sua qualidade.

Como já observado nos sistemas de refrigeração, os problemas decorrentes dos processos de corrosão, depósitos e incrustação são agravados nos sistemas de geração de vapor pelo risco de acidentes.

Sendo assim, além de observar rigorosamente os limites de substâncias estabelecidas pelos fabricantes, é fundamental o controle e a garantia dos padrões de qualidade das águas para uso nos sistemas de geração de vapor.

Detalham-se, nesta seção, os principais processos para tratamento das águas de alimentação de caldeiras.

a) Clarificação da água

A água contém sólidos suspensos e dissolvidos que devem ser removidos para proporcionar água adequada para uso doméstico e industrial. Os sólidos dissolvidos são aqueles naturalmente solúveis na água e que não podem ser removidos com simples filtração. Os sólidos suspensos são partículas que não se dissolvem em água, tais como a lama, o limo, o barro e os materiais microbiológicos. A remoção de sólidos suspensos geralmente se consegue com três etapas: coagulação, floculação e decantação (existem sistemas que incluem filtração), frequentemente referidas como **clarificação convencional**.

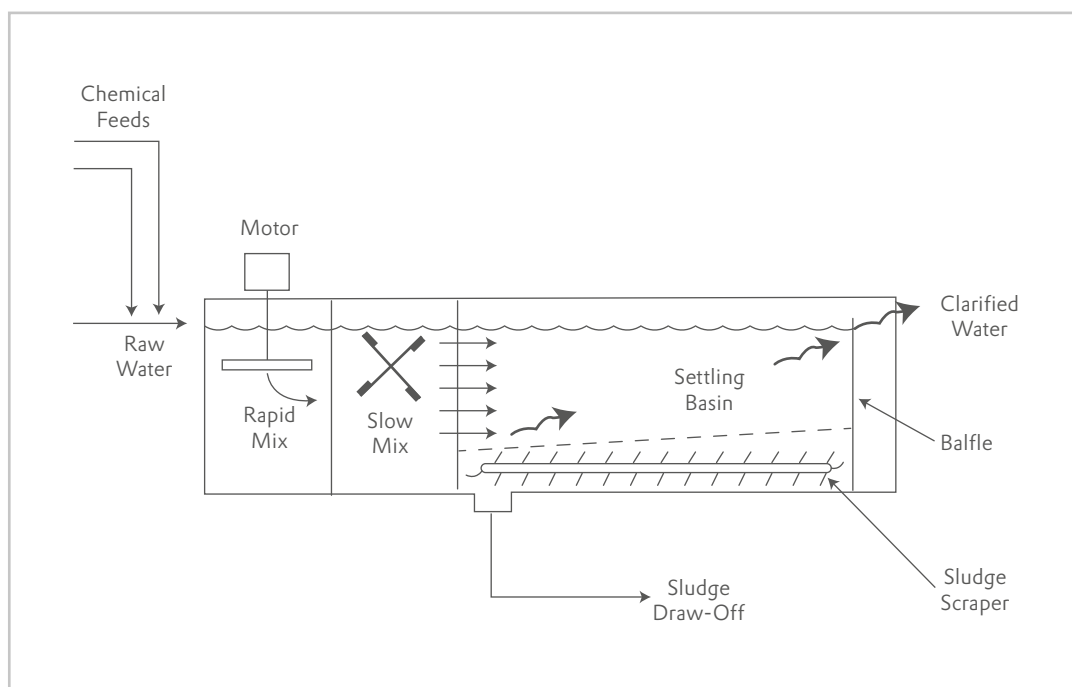
O processo de coagulação-decantação necessita de três processos unitários distintos:

- 1) Mistura rápida para coagulação.
- 2) Mistura moderada para floculação.
- 3) Separação de água e flocos (decantação).

Originalmente, conforme ilustrado na figura 21, as unidades convencionais de clarificação consistiam em grandes bacias retangulares de concreto divididas em duas ou três seções. Cada estágio do processo de clarificação ocorria numa seção separada da bacia. O fluxo da água era horizontal nesses sistemas.

As unidades de fluxo horizontal ainda são usadas em plantas industriais muito grandes e também para clarificar a água municipal, uma vez que são projetadas para bacias de grande capacidade. O tempo de retenção é normalmente longo, geralmente quatro a seis horas e, principalmente, voltado à decantação.

Figura 21 - Bacia de decantação horizontal.



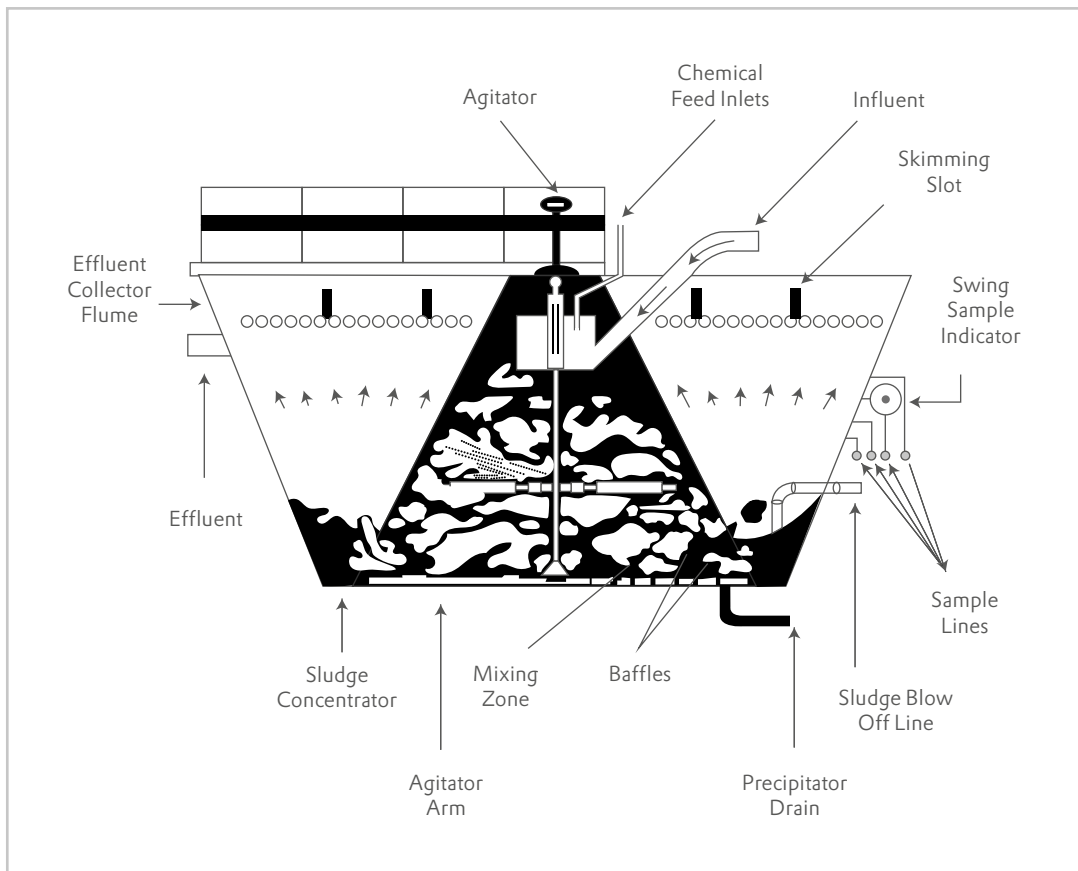
Fonte: GE BETZ (2004).

Clarificadores de fluxo ascendente compactos e relativamente econômicos acomodam a coagulação, a floculação e a decantação em um único tanque, geralmente circular, de aço ou concreto. Esses clarificadores são denominados de **ascendentes** porque a água corre para cima enquanto os sólidos suspensos se sedimentam. Uma característica fundamental para manter um efluente de alta limpidez é o aumento de contato de sólidos através da recirculação interna do lodo.

A maioria dos modelos ascendentes são chamados clarificadores de **manto de lodo** ou **de contato com sólidos** (figura 22 – Clarificador ascendente de manto de lodo). Após a coagulação e/ou a floculação nessas unidades, a água passa através da camada suspensa do flocos formado anteriormente.

A eficiência do manto de lodo depende da ação da filtragem à medida que a água recém-coagulada ou floculada passa pelo flocos suspenso.

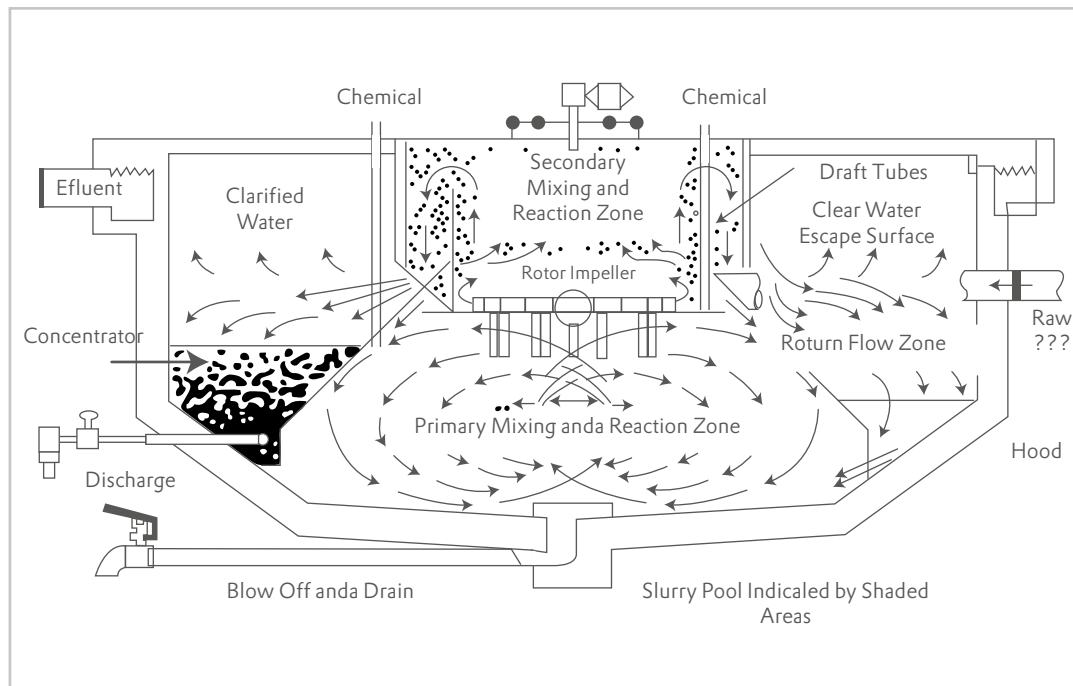
Figura 22 - Clarificador ascendente de manto de lodo.



Fonte: GE BETZ (2004).

As unidades de contato de sólidos frequentemente combinam clarificação e separação rápida do precipitado (figura 23).

Figura 23 - Clarificador de contato de sólidos.



Fonte: GE BETZ (2004).

b) Filtragem

A coagulação, a floculação e a decantação (clarificação convencional) da água não tratada produz água de qualidade apropriada para a maioria dos usos industriais. É preciso uma remoção adicional dos sólidos suspensos no caso da água destinada à reposição nas caldeiras, processo de resfriamento ou para beber. A filtragem remove materiais sólidos suspensos que são carregados do processo de clarificação.

É importante certificar-se de que o processo de coagulação/floculação/decantação que precede os filtros está funcionando bem para diminuir a carga ou a quantidade dos sólidos que estão sendo transportados para o filtro (o filtro é usado como polimento final da água clarificada).

O tamanho do floco e a capacidade de resistir às forças de cisalhamento no leito de filtragem também são importantes. Se a coagulação não for completa, as partículas finas de turbidez podem passar através do filtro. Um floco estável grande

não penetrará nos espaços do meio filtrante e acaba por obstruir o filtro, resultando em um funcionamento curto do filtrante.

A vazão (m^3/h) aplicada a um filtro afeta a qualidade da água filtrada tanto durante o serviço quanto na retrolavagem. Uma vazão de serviço muito elevada pode resultar em filtros entupidos prematuramente e má qualidade da água. Uma vazão de retrolavagem muito baixa faz com que os sólidos não sejam removidos do meio filtrante e, quando o filtro é recolocado em serviço, apresenta mau funcionamento ou duração mais curta. Existem também filtros que fazem sua retrolavagem, usando-se também ar comprimido (aumentar a turbulência e a liberação mais rápida da sujeira dos grãos).

O tamanho e a forma do meio filtrante regulam a eficiência com que os sólidos são removidos.

A seleção do meio é geralmente baseada nas necessidades da qualidade efluente, no modelo do filtro e na carga dos afluentes sólidos.

A areia de quartzo, a areia de sílica, o carvão de antracito, a granada, a magnetita e outros materiais podem ser usados para filtração. A areia de sílica e o antracito são os tipos mais comumente usados. Quando a areia de sílica não for recomendável, então se usa o antracito.

Os filtros são classificados como filtro de **gravidade** ou filtro de **pressão** e são ainda subdivididos de acordo com o meio filtrante utilizado.

Os filtros de gravidade se valem da pressão hidrostática exercida pela coluna de água que fica acima do meio filtrante para forçar a água através do leito do filtro. As vantagens dos filtros de gravidade incluem a simplicidade na elaboração e operação, o baixo custo inicial e a eficácia na filtração devido à baixa resistência do emaranhado de sólidos formado inicialmente, que coleta as partículas finas. As desvantagens incluem a baixa taxa de filtração, o espaço ou a área necessários e problemas de manutenção periódica.

Os filtros de pressão são usados com abrandadores de processo quente para permitir operações de alta temperatura e para evitar perdas de calor. Os filtros de pressão, da mesma forma que os filtros de gravidade, têm um leito de sustentação para o meio de filtragem, um sistema de drenagem inferior e dispositivos de controle.

Os filtros devem ser lavados periodicamente para remover os sólidos acumulados – essa operação é denominada retrolavagem. Nesse processo, requer-se um volume grande água e, conseqüentemente, são gerados grandes volumes de efluentes. Assim, operações controladas de limpeza, associadas à avaliação de alternativas de reciclo ou reúso da água de contra lavagem, devem ser priorizadas em programas de conservação de água.

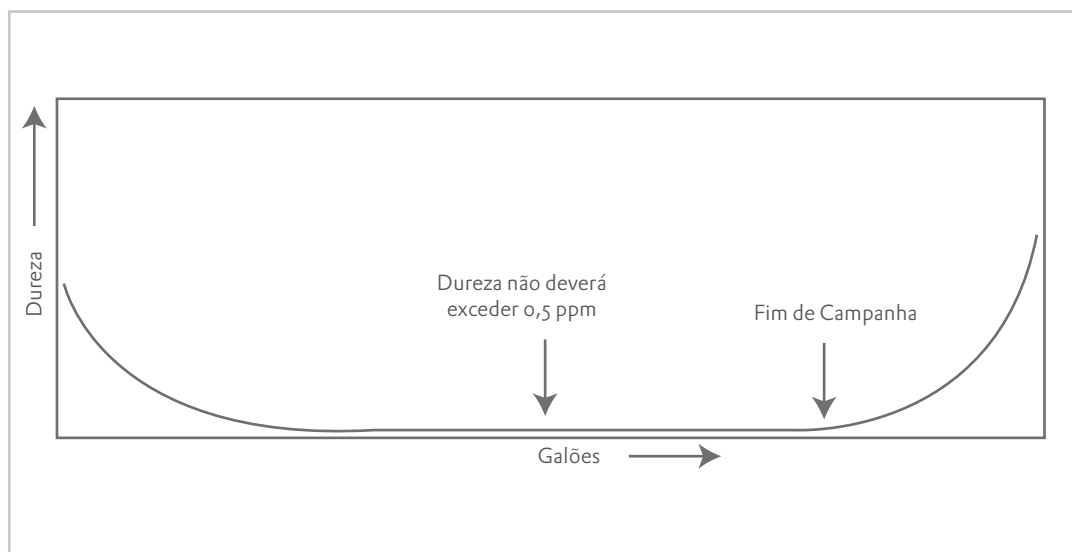
c) Abrandamento

Para o tratamento ideal de água em caldeiras, é essencial o pré-condicionamento da água de alimentação, por meio de processos de abrandamento e ou desmineralização.

- **Princípios de abrandamento**

Os abrandadores visam remover a dureza da água e usam resinas que contêm íons de sódio fracamente ligados e libertam o sódio prontamente em troca de íons, como o cálcio e o magnésio. Essa troca é apenas para cátions ou íons carregados positivamente. É por isso que as resinas de abrandamento de ciclo sódio são chamadas de **resina de troca catiônica** (figura 24).

Figura 24 - Conforme a resina se aproxima da exaustão, o nível de dureza aumenta rapidamente.



Fonte: GE BETZ (2004).

A regeneração é feita revertendo as reações de abrandamento. A resina exaurida (saturada) é exposta a uma solução concentrada de cloreto de sódio.

A frequência da regeneração necessária depende da **vazão**, do **conteúdo de cálcio e magnésio** da água bruta, da **quantidade de resina de troca** no abrandador e da **quantidade de sais usada por regeneração**.

- **Equipamento**

Quando um abrandador está esgotado, ele deve ser regenerado. Vários métodos podem ser usados para alertar sobre a necessidade da regeneração. Um método comum para determinar quando a regeneração é necessária é medir a quantidade da água tratada entre as regenerações. Um hidrômetro na tubulação de água de serviço é usado para soar um alarme ou iniciar automaticamente a regeneração quando um número preestabelecido de galões foi abrandado. Algumas plantas podem conter também medidores automáticos de dureza para determinar o nível de dureza efluente. A manutenção regular é importante para garantir que os monitores estão funcionando corretamente.

Tecnicamente, a dureza total da água também inclui sais de bário e estrôncio. Todavia, para propósitos normais de referência, esses compostos são ignorados devido à predominância de sais de cálcio e de magnésio.

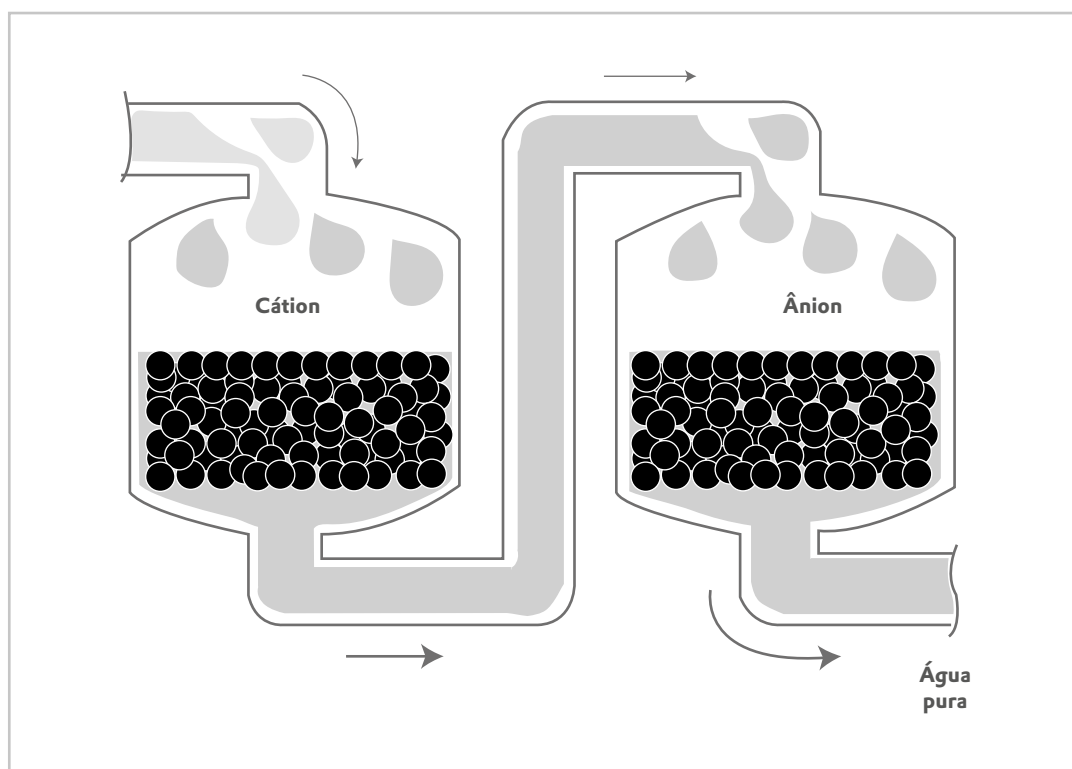
d) Desmineralização

Desmineralização é a remoção de todos os sais inorgânicos da solução através da troca iônica ou de processo de osmose reversa.

O sistema de desmineralização consiste de dois ou mais vasos de troca iônica incluindo uma **unidade de troca catiônica** e uma **unidade de troca aniônica** (figura 25).

Na primeira fase, é uma resina catiônica, que troca os **íons hidrogênio (H^+)** por cátions indesejáveis, como o cálcio, o magnésio ou o sódio. Esta é seguida pela segunda fase na qual as resinas aniônicas trocam os **íons hidroxila (OH^-)** por ânions indesejáveis, como sulfato, cloreto, bicarbonato ou nitrato.

Figura 25 - As duas fases da desmineralização por troca iônica.



Fonte: GE BETZ (2004).

O **ácido sulfúrico** é normalmente usado para regenerar a resina catiônica, uma vez que é o mais barato de todos os ácidos minerais, enquanto o hidróxido de sódio regenera a resina aniônica.

A regeneração deve ser feita no final de um período de serviço quando ocorre a saturação da resina. Nessa condição, ocorre aumento da condutividade ou do teor de sílica de água tratada.

Quando o aumento de sílica é detectado, o desmineralizador deve ser retirado imediatamente de serviço. Um medidor para a quantidade de água tratada (água desmineralizada) em conjunto com um analisador contínuo de sílica e a sonda de condutividade localizada ligeiramente acima do leito de resina podem ser utilizados para mostrar a necessidade de regeneração.

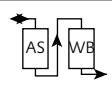
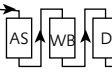
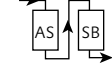
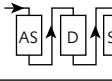
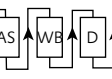
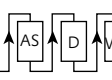
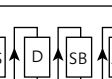
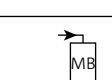

A **retrolavagem** é a primeira parte do processo de regeneração. Quando a resina tiver sido completamente retrolavada, uma solução diluída de ácido sulfúrico é injetada na unidade catiônica para remover os íons de sódio, cálcio e magnésio das superfícies e repor os íons de hidrogênio.







A etapa de **deslocamento do ácido** ou **enxágue lento** segue-se à introdução ácida na mesma vazão. Isto assegura um contato completo do ácido com todas as pérolas (contas) da resina no vaso. Após o enxágue lento, é realizado um enxágue rápido para remover todos os vestígios de ácido do recipiente e preparar o leito para retornar à operação.

A regeneração de uma unidade aniônica, após seu período de serviço, ocorre de forma similar, exceto pelo acréscimo de regenerante diferente e uma etapa adicional. Hidróxido de cálcio ou cáustico é utilizado para regenerar a resina aniônica. Para obter melhor **remoção de sílica**, é necessário **pré-aquecer** o leito de resina aniônica a aproximadamente 120 °F (50 °C) para se efetuar uma remoção mais eficiente de sílica das pérolas de resina. A necessidade de retrolavagem da resina aniônica varia de um a três galões por minuto por pé quadrado da superfície da resina, dependendo da temperatura da água. São usualmente recomendadas vazões de regenerante e enxágue de 0.25 a 1.5 galões por minuto por pé cúbico de resina, respectivamente. A água desmineralizada deve ser utilizada para a regeneração da resina aniônica, uma vez que a água não tratada causará precipitação dos sais de cálcio e magnésio sobre o leito de resina.

O sistema de desmineralização varia de acordo com os requisitos de aplicação. A tabela 15 mostra os nove sistemas básicos de desmineralizadores, a lista das áreas de aplicação, qualidade típica de água tratada e as relativas vantagens de cada um.

Tabela 15 - Arranjos de Sistema de Desmineralização.

Sistema Desmineralizador	Aplicação	Efluente Típico	Vantagens e Desvantagens
	Sílica e CO ₂ não estão sujeitos a objeções	Condutância específica de 10-30microhms, Sílica inalterada	Baixos custos de equipamentos e regenerantes
	Sílica não sujeita a objeções, porém necessária remoção de CO ₂	Condutância específica de 10-20microhms, Sílica inalterada	Baixos custos de regenerantes porém requer rebombeamento
	Água natural de baixa alcalinidade, necessária remoção de sílica	Condutância específica de 5-15microhms, Sílica 0.02 a 0.10ppm	Baixos custos de equipamentos, rebombeamento não necessário, altos custos químicos
	Água natural de alta alcalinidade, necessária remoção de sílica	Condutância específica de 5-15microhms, Sílica 0.02 a 0.10ppm	Baixos custos químicos, necessário rebombeamento
	Água natural de alta alcalinidade, sultato e cloreto. Necessários para remoção de sílica	Condutância específica de 5-15microhms, Sílica 0.02 a 0.10ppm	Baixos custos químicos, altos custos de equipamentos, necessário rebombeamento
	Água natural de alta alcalinidade, sultato e cloreto. Necessários para remoção de sílica	Condutância específica de 5-15microhms, Sílica 0.02 a 0.10ppm	O mais baixo custo químico, alto custo de equipamentos, necessário rebombeamento
	Água natural de alta alcalinidade e sódio. Necessária água tratada de alta pureza	Condutância específica de 5-15microhms, Sílica 0.01 a 0.05ppm	Baixos custos químicos, altos custos de equipamentos, necessário rebombeamento
	Água natural com baixos sódios, necessária e água tratada de alta pureza	Condutância específica de 5-15microhms, Sílica 0.01 a 0.05ppm	Baixos custos equipamento, alto custo químico
	Água natural com alta alcalinidade e sólidos dissolvidos, necessária água tratada de alta pureza	Condutância específica é menor do que 1 microhms, Sílica 0.01 a 0.05ppm	Baixo custo químico, custo de equipamento mais alto, necessita de rebombeamento

 Cátion de hidrogênio fortemente ácido	 Cátion de hidrogênio fracamente ácido	 Ânion de base fraca	 Ânion de base forte	 Descarbonador ou desaerador a vácuo	 Leito misto
---	---	---	---	---	---

Fonte: GE BETZ (2004).

Desenvolvimentos recentes da troca iônica levaram ao uso de novas técnicas e abordagens de desmineralização mais econômicas. Um desenvolvimento relativamente novo foi a aplicação comercial da **troca iônica contracorrente**.

Outro desenvolvimento significativo utiliza **leito de resina**, usualmente resinas aniônicas fracamente básicas e fortemente ácidas, ambos os casos resultam em economia significativa de regenerantes.

Os sistemas de desmineralização podem produzir água com uma pureza comparável com aquela obtida por destilação e a um custo menor. Os sistemas de desmineralização estão disponíveis em uma ampla variedade de tamanhos, desde pequenas colunas de laboratório, para uns poucos galões por hora até grandes unidades, que podem produzir milhares de galões por minuto. Uma operação eficiente pode ser obtida com quase todos os tamanhos.

Assim como outros sistemas de troca iônica, os desmineralizadores funcionam eficientemente apenas se a água estiver livre de **matéria suspensa** e **materiais oxidantes**, tais como o cloro. As resinas de troca aniônica são mais suscetíveis a compostos **orgânicos**.

e) Membranas de osmose reversa

Atualmente, o uso tradicional de resinas aniônicas e catiônicas em desmineralização está sendo substituído pelo uso de MEMBRANAS DE OSMOSE REVERSA.

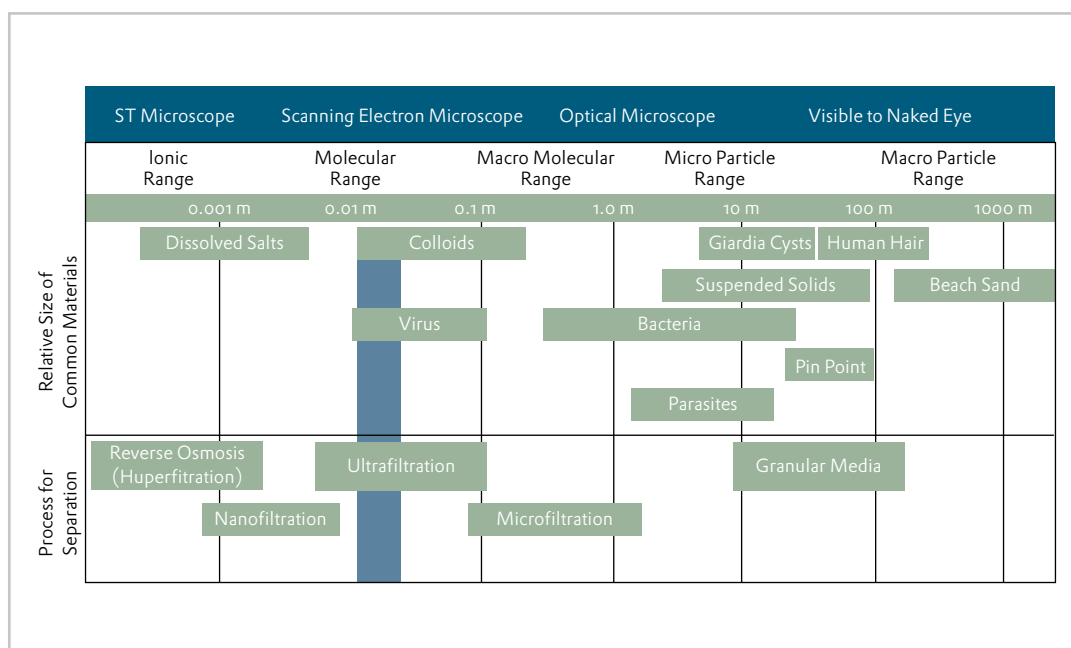
Tecnologias avançadas de membranas: os sistemas de membranas de ultrafiltração e de osmose reversa produzem água de alta qualidade e que, quando são associados a um leito misto de resinas e ou uma unidade de EDI (eletrodeionização), purificam ainda mais o grau de pureza de água para sistemas de geração de vapor a alta pressão.

Os sistemas de eletrodialise reversa servem para múltiplas aplicações, entre elas:

- Redução do teor de rádio, arsênico, perclorato, fluoreto, nitrato, dureza, urânio e selênio na água potável.
- Reciclagem de efluentes residuários municipais e industriais.
- Recuperação de rejeitos de osmose reversa.
- Dessalinização de águas de poço e águas superficiais.
- Dessalinização de água para reposição em caldeira e outros usos industriais.

A figura 26 mostra uma comparação entre todos os diferentes tipos de membranas.

Figura 26 - Dimensões dos principais componentes microscópicos e moleculares presentes em águas e efluentes e tipos de membranas utilizados para a sua separação.



Fonte: OSMONICS INC (2002).

f) Desaeração

Esse processo é mais usado para caldeiras de alta pressão.

A água contendo gases dissolvidos causa muitos problemas de corrosão no sistema de caldeira. O método mais amplamente utilizado para remover esses gases dissolvidos da água e, desse modo, controlar a corrosão é a desaeração. Em particular, ela é utilizada para remover o oxigênio dos sistemas de água de alimentação da caldeira, bem como outros gases, como: NH_3 , CO_2 , dentre outros.

g) Programa de tratamento interno em caldeiras

Com os avanços nos projetos e *performance* das caldeiras através dos anos, a necessidade de se obter alta qualidade na água de alimentação acentuou-se. Podem ser necessários equipamentos para pré-tratamento que exigem considerável

gasto de capital, porém este custo deve ser compensado pela eficiência do **programa de tratamento interno**, manutenção e operação cuidadosa.

A qualidade exigida da água de alimentação é determinada pela **pressão operacional** da caldeira, **projeto** e taxas de **transferência de calor** (tabela 14).

Hoje, existem dois métodos básicos de aplicação do tratamento interno da água da caldeira para controlar a deposição: **polímero/dispersante** e **fosfato/dispersante**. Um deles é um programa de **solubilização**, que ajuda a impedir os contaminantes de saírem da solução formando os depósitos.

O outro é o programa de **precipitação**, que permite que compostos seletivos deixem a solução e controla a formação de deposição indesejada de produtos.

- **PO₄/pH coordenados**

Caldeiras de alta pressão, que utilizam água de reposição desmineralizada, geralmente, possuem grande porcentagem de retornos de condensado e áreas de alta transferência de calor. Estas condições, mais do que a pressão operacional, tornam as caldeiras de alta pressão propensas ao ataque de corrosivos, requerendo tratamento especial.

Podem formar-se concentrações extremamente altas de hidróxidos sob os depósitos de ferro e de cobre. A camada magnética protetora e o próprio metal pode sofrer ataque cáustico.

Uma abordagem de tratamento conhecida como PO₄/pH coordenado foi desenvolvida para limitar a concentração localizada de agente corrosivo. Nesse sistema, o excesso de íons alcalinos combina-se com o fosfato e tampona o pH. Concentrações apropriadas de PO₄ asseguram a ausência do hidróxido ou cáustico livre. Para execução do programa, é essencial que se tenha fosfato disponível suficiente para combinar com os compostos alcalinos.

- **Controle por polímeros**

Os polímeros são os principais aditivos em um programa de tratamento de solubilização na água da caldeira. Os polímeros têm a capacidade de se complexar e prevenir a deposição de muitos cátions (dureza e metais pesados). Quando aplicados com um dispersante, os polímeros resultarão em superfícies limpas do lado água.

Os polímeros solubilizantes combinam com cátions que formam os depósitos, tais como cálcio, magnésio, ferro e cobre. O complexo metálico formado é solúvel em água e evita precipitação.

A eficiência de um programa disperso – solubilizante – é limitada pela concentração de ânions e, com exceção do fosfato, as limitações dos ânions sobre um sistema não são tão rígidas.

- **Controle de ferro por polímeros dispersantes**

O óxido de ferro causa preocupação específica nos programas de tratamento de água de caldeira nos dias de hoje, devido à solubilização dos óxidos de ferro por um processo de quelação.

A quelação de magnetita (o óxido formado sob condições da caldeira, $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$) é possível, pois o polímero combina-se com a porção ferrosa (FeO) da magnetita.

A superalimentação de polímero pode remover grandes quantidades de óxido de ferro da camada protetora de magnetita e de óxido de ferro, o que é indesejável. O melhor caminho para se controlar o óxido de ferro é a combinação polímero dispersante para complexar dureza e ferro solúvel, com um leve excesso para dispersar toda contaminação de óxido de ferro que tenha permanecido.

Cuidados adicionais devem ser tomados para implantar programas de limpeza de caldeiras mediante uso de polímeros, aplicados em condição normal de operação ou não.

Conquanto a limpeza por polímeros possa controlar grandes quantidades de depósitos, estes grandes acúmulos podem soltar-se em pouco tempo e depositar-se novamente em áreas críticas de circulação.

- **Alimentação química**

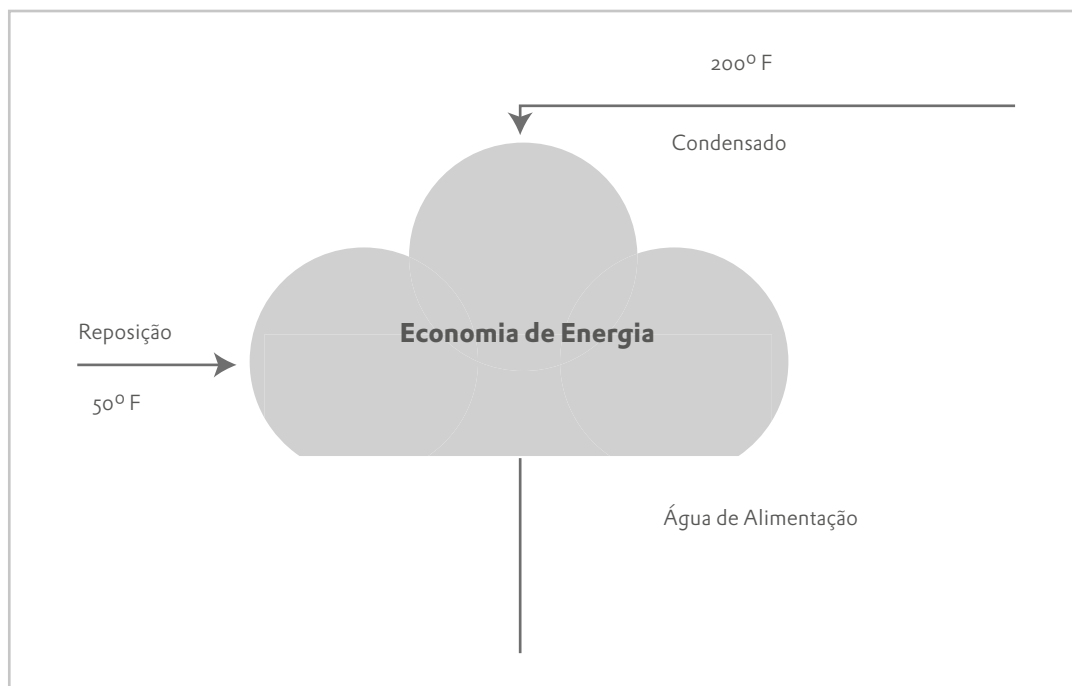
Equipamento apropriado para alimentação química para tratamento interno da água da caldeira é uma obrigatoriedade. Programas baseados em fosfato devem ser dosados **diretamente ao tambor da caldeira**, evitando-se a possibilidade da formação de precipitados e depósitos eventuais na linha da água de alimentação. Os polímeros solubilizantes, por outro lado, devem ser injetados, usando-se um edutor de aço inoxidável no **lado descarga das bombas de água de alimentação**.

Deve-se levar em consideração a natureza agressiva dos polímeros em forma concentrada. Se forem dosados diretamente ao tambor da caldeira, um ataque potencial ao tambor poderia resultar em redução dramática no período de vida da caldeira. A alimentação fluxo abaixo das bombas d'água de alimentação elimina preocupação com ataque ao impulsor ou desgaste da cobertura da bomba.

- **O condensado**

Nem toda a energia utilizada na geração de vapor é perdida quando o condensado é formado. A maioria das linhas de retorno de condensado continua relativamente quentes, na faixa de 150 °F a 230 °F (65 °C a 110 °C). Seria necessária energia adicional para reaquecer esse condensado até a ebulição, mas não tanto quanto é preciso para aquecer a água de reposição, mais fria, até a ebulição. Isto significa que se pode economizar energia ou combustível, bem como reposição de água fresca, usando-se o máximo possível de condensado (figura 27).

Figura 27 - Obtém-se economia de energia ou de combustível através de retorno do máximo possível de condensado.



Fonte: GE BETZ (2004).

Se o condensado fosse descartado, seria necessário usar água de reposição para substituí-lo. Isto significaria custo adicional para preparação de água bruta para uso na caldeira, além do custo básico da água. Em algumas áreas do país, existem fábricas que possuem reservas de água de reposição muito limitadas e necessitam retornar o condensado para continuar operando.

Na seção 4.3, será apresentado um detalhamento do dimensionamento de sistemas de reúso de águas condensadas.

O condensado é normalmente considerado como o vapor que se condensou para formar água pura. Porém essa água nem sempre é tão pura quanto se pode imaginar.

Ela pode conter quantidades significativas de ferro, cobre ou outros contaminantes. Um dos efeitos indesejáveis acontece sempre que o vapor se condensa e o dióxido de carbono se dissolve nele formando o **ácido carbônico** ou **H₂CO₃**.

Este ácido diminui o pH do condensado e causa corrosão. A perda de metal pode levar ao retorno de grandes quantidades de ferro ou cobre para a caldeira.

Outra forma de corrosão que pode estar presente nas linhas de condensado deve-se a um gás diferente: o **oxigênio**. O ataque localizado em forma de *pitting* ocorre quando se permite que o oxigênio infiltre-se no sistema de condensado. O oxigênio pode penetrar no sistema através de receptores abertos de condensado, sifões mal vedados ou remoção deficiente de oxigênio no aquecedor de desaeração.

Existem outros problemas que podem ser criados na caldeira se o condensado contendo **subprodutos de corrosão**, como ferro e cobre, for utilizado como água de alimentação. Eles podem formar depósitos na caldeira, cuja remoção é extremamente difícil e que, sobretudo, causam falhas nos tubos e nas paradas não programadas.

Para prevenir tais problemas, os sistemas de condensado podem ser quimicamente tratados para reduzir a corrosão por oxigênio e dióxido de carbono. Os três programas principais são: 1) aminas neutralizantes; 2) aminas fílmicas; e 3) uma combinação de aminas neutralizantes e fílmicas.

- 1) Aminas neutralizantes podem ser introduzidas na água de alimentação, no tambor de vapor, ou no *header* vapor, sendo a taxa de alimentação baseada na alcalinidade da água de alimentação. As aminas neutralizantes protegem contra o ataque de ácido carbônico, mas oferecem pouca proteção contra o ataque por oxigênio.
- 2) Aminas fílmicas são um grupo de produtos químicos que geram uma fina barreira protetora sobre os tubos de condensado contra o ataque por oxigênio e CO₂. A barreira protetora de amina fílmica é muito similar à proteção que você dá ao seu automóvel por meio da aplicação de cera.
- 3) A combinação de aminas neutralizantes e de fílmicas tem sido uma das abordagens mais bem-sucedidas para fornecer proteção contra o ataque do oxigênio e do dióxido de carbono.

A escolha de um programa de amina depende da pressão de vapor, da temperatura, da metalurgia e do pH que existe nos sistemas da fábrica.

- **Testes de monitoração**

Similarmente ao controle do tratamento de água de caldeira, vários métodos são utilizados para monitorar as condições e a eficiência do tratamento do sistema de condensado.

As taxas de corrosão no sistema condensado são monitoradas através do uso de cupons de corrosão, análises de cobre e ferro e análises de filtro de membrana do próprio condensado. São amplamente utilizados testes diários nas fábricas para monitorar o pH e a condutividade para determinar a pureza do condensado.

4.3 REÚSO DE ÁGUAS CONDENSADAS

Esta seção tem por objetivo contribuir para o esclarecimento da importância do reúso de águas condensadas. Denomina-se como “condensado” ao fluido líquido produzido a partir da condensação do vapor de água gerado nas caldeiras e geradores industriais. Este condensado tem como característica sua alta pureza físico-química e grande quantidade de calor retido ainda ser utilizado.

São duas as razões pelas quais se produz vapor: para a geração de energia, como em usinas termoelétricas e sistemas de cogeração, e para fornecer meios de transportar entalpia (energia, calor) a um ponto onde será usada.

Além de conter esse calor, o condensado é água destilada, portanto, ideal para uso em caldeira. Uma instalação eficiente deve acumular todo o condensado e devolvê-lo ao desaerador ou tanque de abastecimento da caldeira ou, ainda, usá-lo no processo.

Por isso, da mesma forma que é importante assegurar que o sistema de distribuição do vapor seja eficiente e efetivo, a recuperação do condensado é também

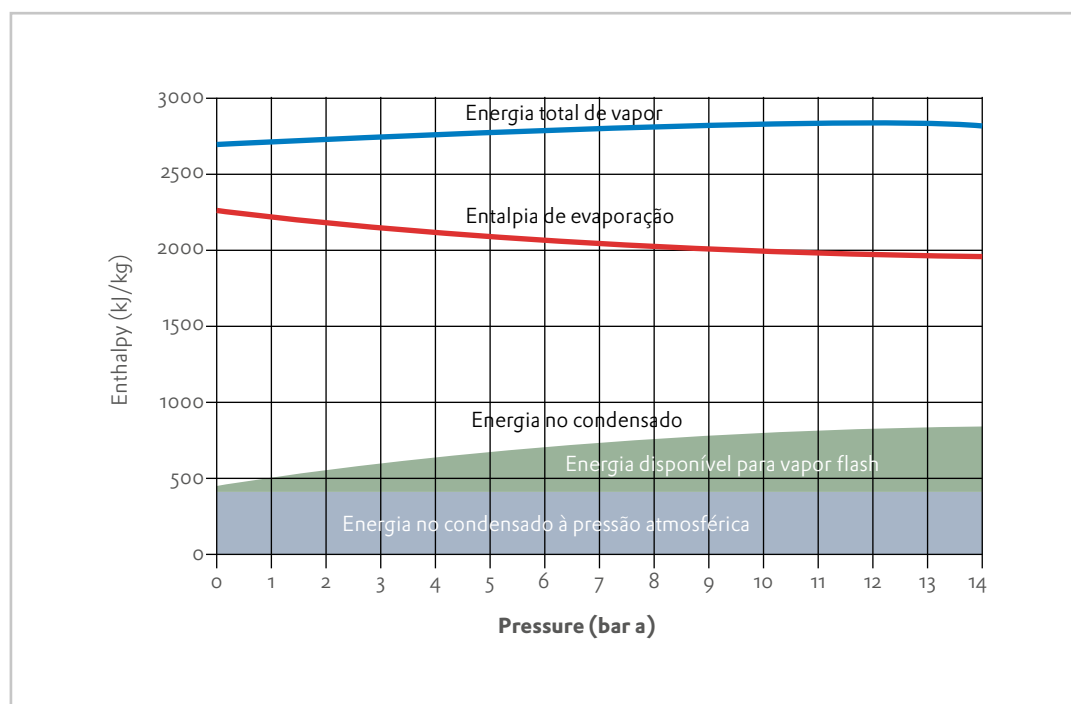
fundamental. Desperdiçar este condensado é algo que não faz qualquer sentido financeiro, ecológico ou técnico.

A seguir são apresentadas informações sobre duas operações essenciais: o retorno do condensado e a recuperação do vapor reevaporado. Alguns dos principais problemas e suas soluções serão discutidas aqui.

4.3.1 RETORNO DO CONDENSADO

Um sistema de recuperação do condensado, bem dimensionado, capaz de acumular condensado quente e devolvê-lo ao sistema de abastecimento da caldeira, pode cobrir seu próprio custo em pouco tempo. A figura 28 mostra os níveis de calor do vapor, enquanto a figura 29 indica a economia que se pode obter durante um ano quando se recupera o condensado.

Figura 28 - Níveis de calor do vapor.



Fonte: GE BETZ (2004).

Figura 29 - Economia pela recuperação de condensado.

Localização	Planta ABC	Economia de água e produtos químicos pelo retorno do condensado
1) Vazão de condensado	2.250 kg/h	Economia no custo anual de água = $\frac{1 \times 2 \times 5}{1.000 \text{ litros/ton}}$
2) Horas anuais de operação	8.760 h/ano	Exemplo A = $\frac{2.250 \times 8.760 \times 0.025}{1.000} = \text{US\$ } 10.348$
3) Custo de água e efluentes	US\$ 0,45/ton	Economia
4) Produtos químicos para tratamento de água (por tonelada de água)	US\$ 0,075/ton	anual de combustível = $\frac{1 \times 3 \times 8 \times (\text{calor específico}) \times 9}{10}$
5) Custo total da água (3+4)	US\$ 0,525/ton	Exemplo B = $\frac{2.250 \times 8.750 \times 70 \times 4,19 \times 0,15}{1.000} = \text{US\$ } 25,808$
6) Temperatura do condensado do retorno	80 °C	Economia pela recuperação de condensado:
7) Temperatura de água fria de reposição	10 °C	Exemplo A + Exemplo B = US\$ 36,156
8) Aumento de temperatura da água de reposição (6-7)	70 °C	
9) Combustível (óleo), custo	US\$ 0,15/lit	
10) Energia fornecida pelo combustível a 80% da eficiência da caldeira	33.600 kJ/lit	
11) Custo de vapor (aprox.)	US\$ 5,87/ton	

Fonte: GE BETZ (2004).

As cifras do exemplo são relativamente conservadoras e podem ser usadas para estimar a economia anual. O condensado é um recurso tão valioso que, mesmo a recuperação de pequenas quantidades, torna-se economicamente justificável. Os números constantes da figura 25 são para vazões de 2.250 kg por hora. A recuperação da descarga de apenas um purgador também é, muitas vezes, vantajosa, embora apresente economia em menor escala. Suponha que um purgador esteja trabalhando com apenas 45 kg/h de condensado em um sistema de operação contínua de processamento. Esta vazão de condensado equivale a 390 toneladas de água por ano.

O calor da água devolvida (condensado), em relação à água fria, pode chegar a 72 kcal/kg. A economia anual de calor, então, equivale a 28.080.000 kcal por ano – uma economia significativa de energia.

As objeções à recuperação são, muitas vezes, devido às perdas de calor quando se utiliza pequena quantidade de condensado. No entanto, no caso de linhas bem

dimensionadas e isoladas, estas perdas são pequenas e não causam condensações indesejáveis.

a) Dimensionamento de linhas retorno de condensado

Para facilitar a compreensão do tema dimensionamento de linhas de condensado, abordaremos este assunto em três seções: linhas de drenagem dos purgadores, linhas de descarga dos purgadores e linhas de retorno com bombeamento.

- **Linhas de drenagem para purgadores**

Na primeira seção, o condensado escoará da saída do dreno do equipamento consumidor de vapor para o purgador. O espaço preenchido pelo vapor no equipamento e o corpo do purgador terão a mesma pressão, então a gravidade é usada para induzir o escoamento. As linhas dos pontos de drenagem dos purgadores podem ser instaladas com um pequeno declive de 14 mm/m ou 1 mm em 70 mm, quando sua capacidade puder ser identificada na tabela 16. Para minimizar o risco de o vapor bloquear o fluxo de condensado, as linhas deverão ser curtas com purgadores instalados o mais perto possível do equipamento.

A vazão de condensado a ser considerada para determinar o diâmetro da tubulação não é, necessariamente, a vazão total normal do equipamento que está sendo drenado. Na partida do sistema, a taxa de condensação pode ser até de duas vezes a vazão de operação ou, em alguns casos, mais de duas vezes. Além disso, muitas vezes a linha para o purgador carrega também o ar que está sendo deslocado

pela entrada do vapor. Desse modo, o dimensionamento dessas linhas, através da tabela 16 (para um escoamento de condensado duas vezes maior do que a carga de operação), garante resultados satisfatórios.

Tabela 16 - Escoamento de água em tubos de aço (kg/h).

TUBO DE AÇO	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,4
1/2" 15mm	95	130	140	160	180	220
3/4" 20 mm	220	290	320	370	420	500
1" 25mm	410	540	600	690	790	940
1.1/4" 32mm	890	110	1300	1500	1700	2040
1.1/2 40mm	1360	1790	2000	2290	2590	3100
2" 50mm	2630	3450	3810	4390	4990	6000
2.1/2" 65mm	5350	6950	7730	8900	10150	12100
3" 80mm	8320	10900	1200	13800	25650	18700
4" 100mm	17000	22200	24500	28200	31900	38000

Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

Assim, uma vazão de operação de 2.000 kg/h será considerada com uma vazão de partida de 4.000 kg/h. A tabela 16 mostra que uma linha de 1 1/2" estaria subdimensionada e que uma linha de 2" seria a selecionada, localizada na coluna 0.8 mbar/m.

- **Linhas de descarga para purgadores**

Estas linhas devem transportar não somente o condensado e o ar, mas também outros gases incondensáveis e qualquer vapor reevaporado (*flash*), que é liberado pelo condensado quando sua pressão cai. Onde for possível, essas linhas devem ser inclinadas da mesma maneira (a mais ou menos 1/70) para um tanque de recuperação de vapor reevaporado, coletor de uma bomba de condensado ou mesmo diretamente ao tanque de alimentação da caldeira ou desaerador.

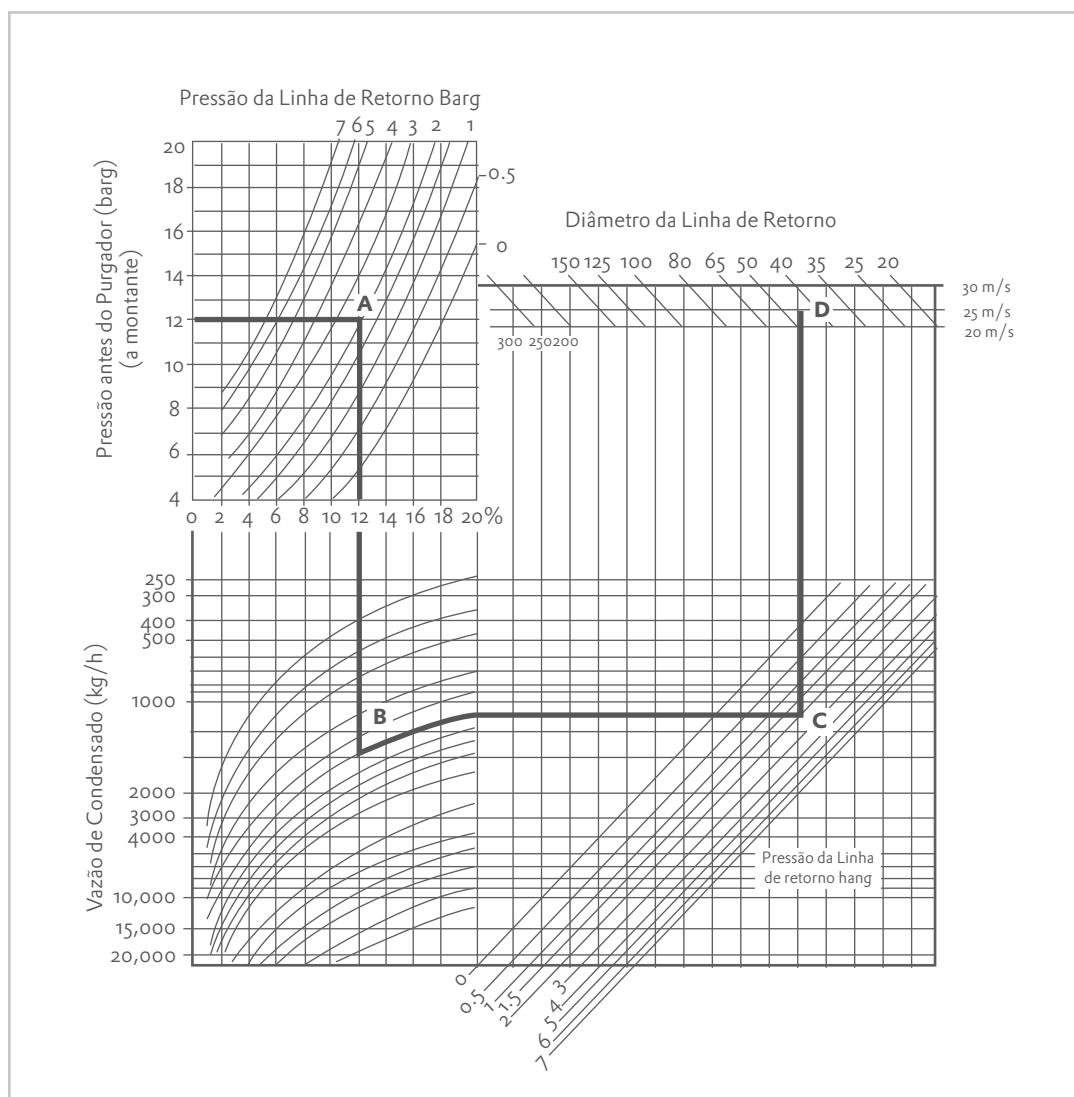
Na partida, o condensado estará relativamente frio e haverá pouco ou nenhum vapor reevaporado. Por outro lado, a taxa de condensação estará em seu ponto máximo. Além disso, qualquer ar descarregado através do purgador terá de escoar

pela linha junto com o condensado. Assim, as tubulações devem ter pelo menos diâmetro igual àqueles da entrada dos purgadores.

Para dimensionar corretamente essas linhas de descarga, é necessário saber não somente qual será a quantidade de condensado, mas também qual a quantidade de vapor reevaporado que será liberada. O diâmetro da linha então pode ser determinado, visando permitir uma velocidade adequada para o vapor reevaporado, e, muitas vezes, o pequeno volume de água pode ser ignorado.

Quando o condensado é procedente de uma fonte de pressão maior, a seleção de uma linha de descarga é facilitada pelo uso da figura 30.

Figura 30 - Gráfico de dimensionamento da linha de condensado para utilização quando a pressão nos purgadores está acima de 4 bar b.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

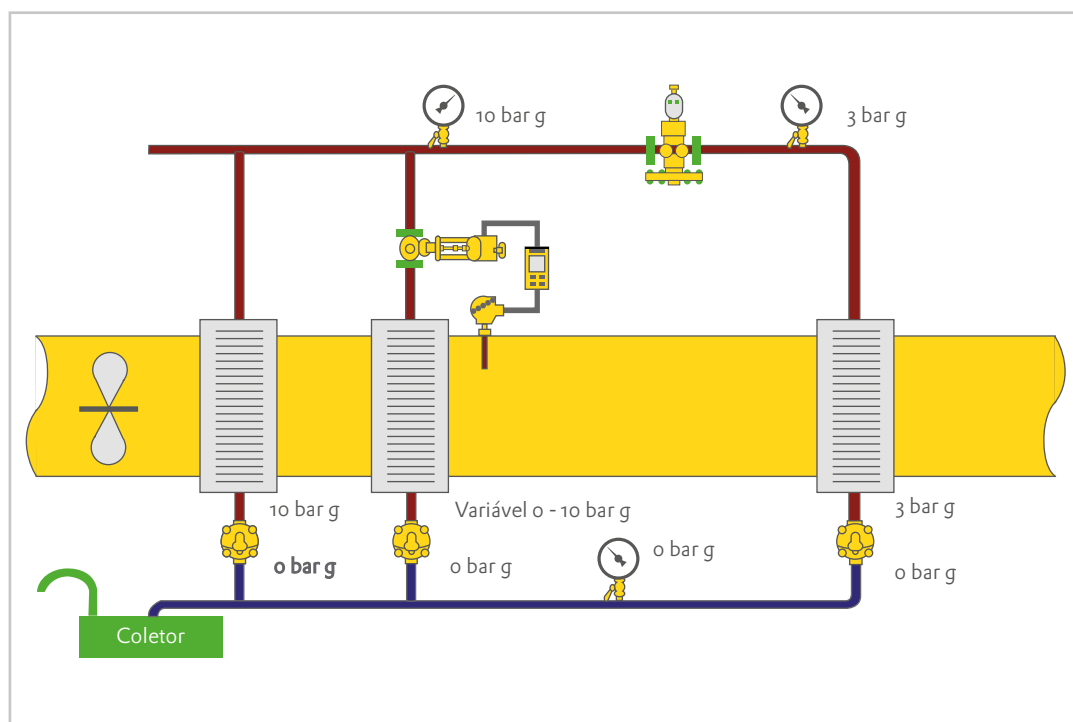
A porcentagem de vapor reevaporado pode ser encontrada na parte de cima do quadro, à esquerda, na intersecção das linhas da pressão a montante dos purgadores e pressão da linha de retorno (A). Desse ponto, uma vertical é traçada para cortar a linha horizontal que representa a vazão de condensado estabelecido. Esse ponto representa o peso de vapor reevaporado (B). De (B) nasce uma curva à direita que segue no sentido horizontal até encontrar a linha que mostra a pressão da linha de retorno (C). Este ponto representa o volume de vapor reevaporado e

uma vertical de (C) corta as linhas, mostrando as velocidades das linhas de retorno e os diâmetros necessários da tubulação (D).

- **Purgadores operando a pressões diferentes**

Nessas condições, é provável que ocorra a interferência da descarga do condensado de alta pressão com a descarga de outro purgador, operando a uma pressão menor. Na saída do purgador, a pressão é de uma linha de retorno comum mais a contrapressão resultante do vapor reevaporado que escoar ao longo dos ramais de descarga (ver figura 31).

Figura 31 - Condensado a partir de diferentes pressões, com pressão comum na linha de retorno.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

Se a tubulação para o escoamento do condensado e vapor reevaporado estiver subdimensionada, certamente será possível ocorrer aumento suficiente da contrapressão para restringir ou prevenir o escoamento de qualquer purgador que estiver operando com baixa pressão. Por outro lado, cada setor da tubulação deve

ser dimensionado para transportar vazões de condensado e o vapor reevaporado associados a velocidades aceitáveis. Nessa situação, haverá pequena elevação de pressão. Se o dimensionamento da tubulação for adequado, a descarga do purgador de alta pressão não interferirá na do purgador de pressão menor. A área total transversal das linhas de retorno será a mesma quer passe por um tubo grande quer passe em diversos tubos separados e menores.

As contrapressões, aplicadas sobre qualquer purgador de vapor pelo retorno ao qual está ligado, representam a soma de pelo menos três componentes. São eles:

- A pressão no fim da linha do retorno (atmosférica ou aquela do vaso dentro do qual a linha descarrega).
- A altura hidrostática necessária para elevar o condensado de uma linha geralmente de um purgador a um nível baixo até uma linha de retorno elevada. Uma elevação de 10,6 metros significa uma contrapressão de 1 bar de modo que uma elevação de 1 metro impõe 0,1 bar.
- Qualquer resistência de atrito (perda de carga) ao escoamento do condensado, ar ou vapor reevaporado.

As contrapressões reduzem as capacidades dos purgadores, mas isso somente fica perceptível quando existem pressões baixas a montante. E, mais importante, elas tornam mais difícil a eliminação do ar e podem criar controle irregular ou mesmo golpes de aríete em equipamentos de temperatura controlada.

- **Linhas de retorno com aplicação de bomba**

O vapor reevaporado, separado do condensado, pode ser usado em um sistema de recuperação de energia, ou pode ser liberado para a atmosfera. O condensado normalmente é bombeado para o tanque de abastecimento da caldeira ou para o desaerador. A linha de retorno somente transportará água, por isso, muitas vezes, aceita velocidades maiores do que aquelas das linhas de drenagem.

Isto reduz os diâmetros das linhas, embora as perdas, devido ao aumento do atrito (perda de carga), não possam ou não devam aumentar as contrapressões a

níveis em que as capacidades de vazão da bomba ficariam prejudicadas. É importante lembrar que o escoamento de condensado na linha de retorno com bombeamento é intermitente. A vazão instantânea de escoamento, no qual a bomba está descarregando, é mais alta que a vazão constante de condensado que entra no coletor.

Quando as linhas de condensado possuem comprimentos maiores do que 100 metros, a água dentro dos tubos deve vencer a inércia e ser acelerada até a velocidade total toda vez que a bomba descarregar, provocando uma elevação da pressão. A altura máxima de coluna de descarga contra a qual uma bomba de determinado tamanho pode recalcar o condensado pode ser verificada nas tabelas dos fabricantes dos equipamentos. A elevação atual na linha de retorno e a altura da coluna, que equivalem a qualquer contrapressão no coletor final, são deduzidas da altura máxima requerida. O saldo pode ser dividido por um fator de 4 e este valor usado para a perda de carga na linha de retorno à vazão máxima de escoamento.

Como exemplo, uma bomba deve fornecer 2.000 litros/h de condensado através de 300 metros de tubulação e contra uma elevação de 7,5 m, quando suprida de vapor a 7 bar. A bomba de 1.1/2" não tem a capacidade suficiente para isso, enquanto uma bomba de 2" fornecerá 2.000 litros/h contra uma coluna total de aproximadamente 14,5 metros.

Então:

- Altura máxima da:
- Coluna disponível = 14,5m
- Coluna estática = 7.5 m
- Coluna disponível para perdas = 7,0m

Coluna disponível para perdas de carga:

$$\Delta P = \frac{7,0}{4 \times 300} = 0,00583 \text{ m/m} = 0,572 \text{ mbar/m}$$

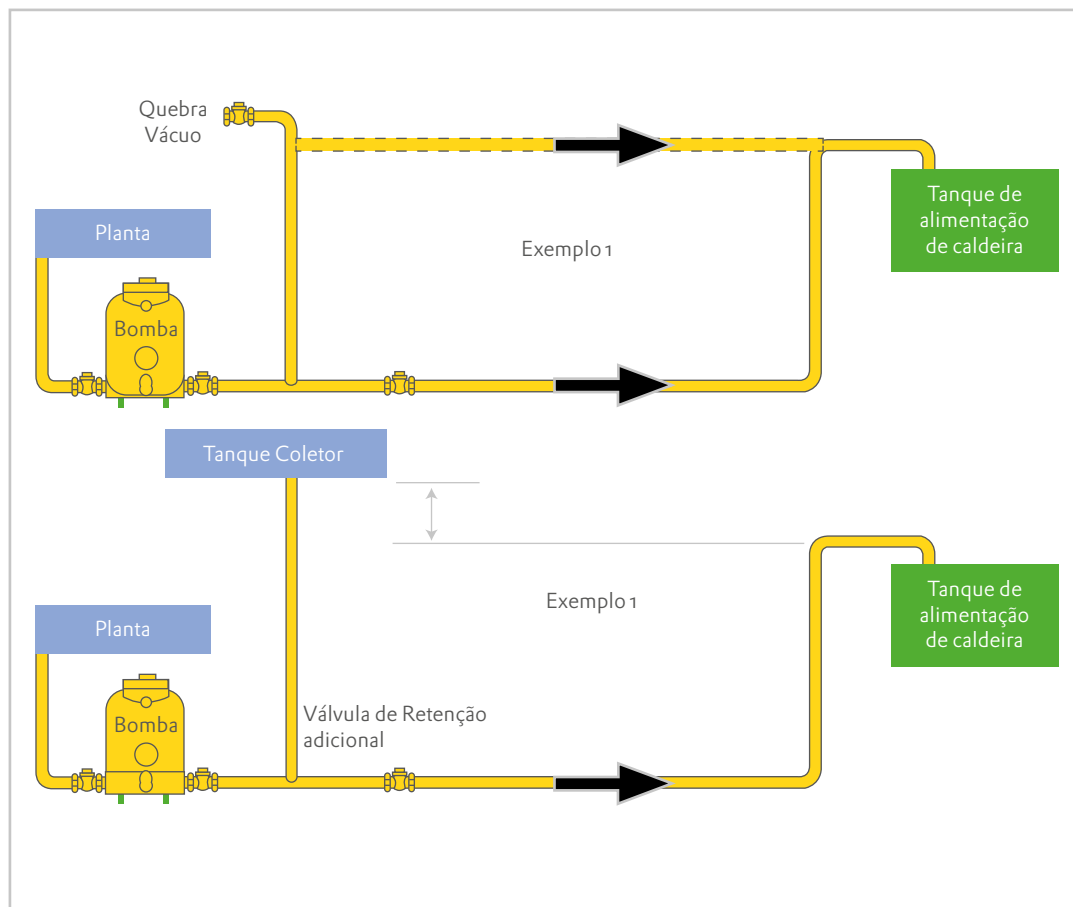
- Vazão instantânea de escoamento durante a descarga = 5.500 kg/h

- O diâmetro de linha necessário = 65 mm

O golpe de aríete, que é implícito nesse sistema, pode ser sério. Normalmente, isto pode ser evitado com o uso de uma segunda válvula de retenção a cerca de seis metros da bomba. Em alguns casos em que a linha de retorno é elevada a um nível superior logo depois de sair da bomba, um quebra de vácuo pode ser instalado no ponto alto.

Outra alternativa é colocar um tanque coletor ligado à linha de retorno logo depois da bomba, instalado em uma altura em que o escoamento por gravidade até o tanque de alimentação seja facilitado. Isto significa que a bomba somente precisa elevar o condensado do seu próprio coletor, em um nível baixo, para um segundo coletor, em um nível mais alto. A linha de retorno após a bomba poderá ser dimensionada para aceitar o escoamento contínuo do condensado na mesma velocidade do fluxo de condensado que segue em direção à bomba (ver figura 32).

Figura 32 - Linhas extensas de fornecimento de bomba.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

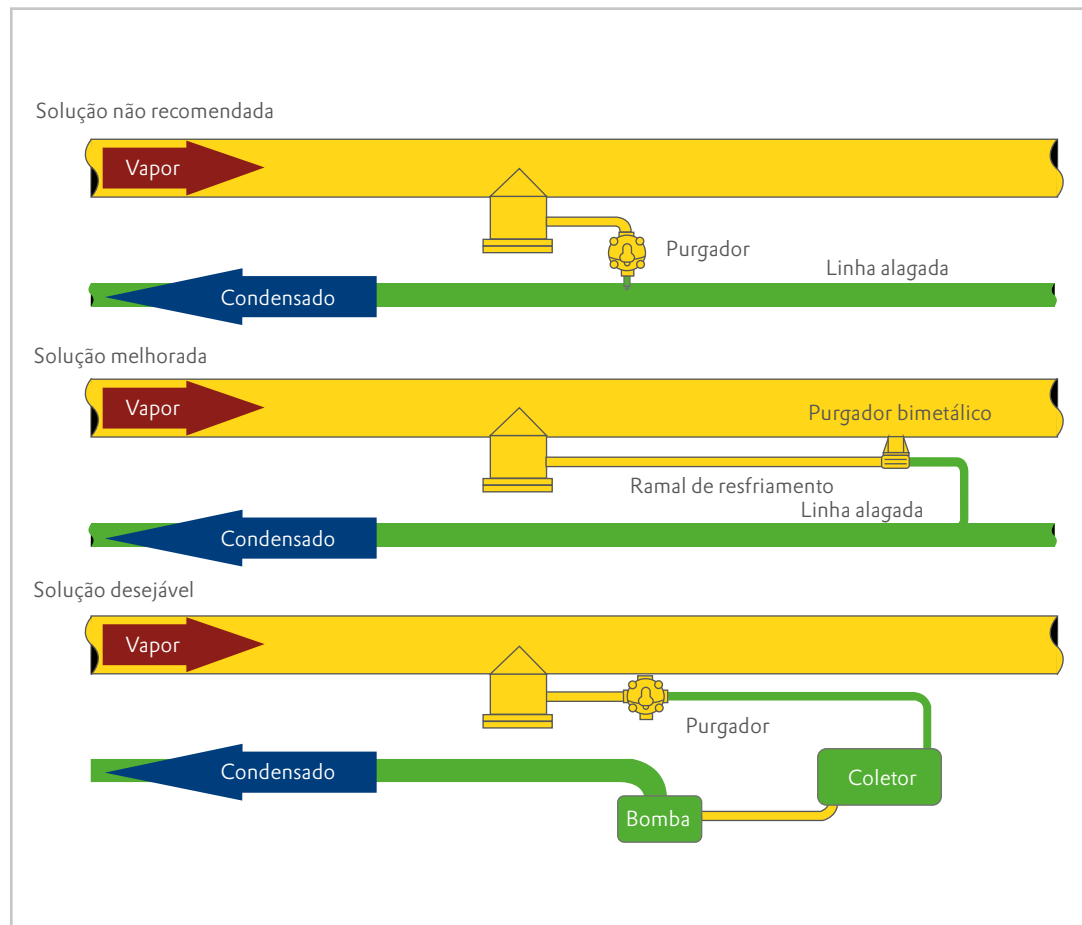
• Linhas de retorno inundadas

Desde que a tubulação seja dimensionada corretamente, ligar a descarga de qualquer número de purgadores a uma linha de retorno comum não causa problemas. Problemas podem ocorrer, entretanto, se o condensado for descarregado dentro da linha de retorno principal inundada. Isto acontece, muitas vezes, quando se drenam linhas de vapor (descarga dos purgadores às tubulações principais de retorno).

Sabendo que os purgadores de drenagens de linhas devem descarregar qualquer condensado, a escolha mais correta é utilizar um purgador que descarregue o condensado na temperatura mais próxima possível à temperatura do vapor para evitar a formação de golpes de aríete.

A melhor solução para o problema é evitar linhas alagadas e retomar, por gravidade, o condensado e o vapor reevaporado a um coletor próximo e bombeá-lo conforme mostra a figura 33.

Figura 33 - Linhas de retorno inundadas.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

Onde não for possível aplicar essa solução, uma segunda alternativa é usar um purgador que retenha o condensado até fazer com que ele fique sub-resfriado. Para evitar a inundação no tubo principal de vapor, é essencial o uso de uma bota de tamanho razoável para a acumulação do condensado, além de um braço (ou tubo-ramal), sem isolamento de resfriamento, entre 2 a 3 metros. Outra possibilidade é utilizar um purgador de boia por suas características de descarga contínua.

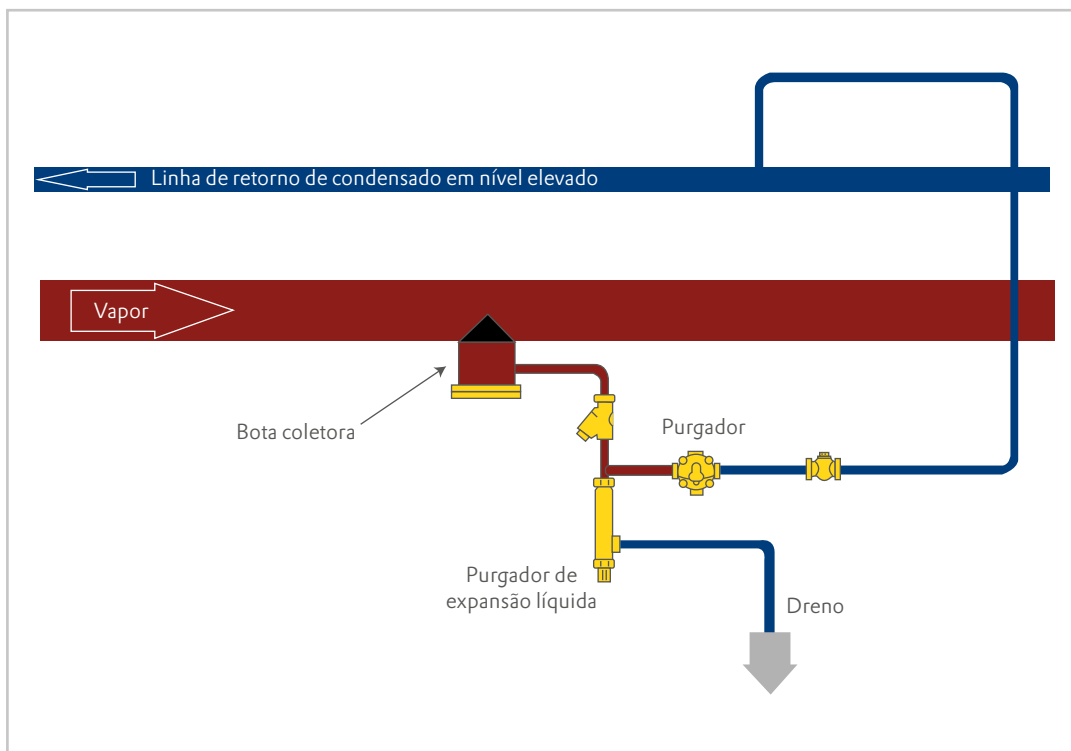
Ele pode descarregar condensado por um ramal de resfriamento no lado da saída do purgador, diminuindo a quantidade de vapor reevaporado. Muitas vezes, o escoamento constante do purgador pode ser absorvido pela linha inundada sem maiores problemas, especialmente se um difusor for instalado na entrada do tubo principal do condensado.

É importante destacar que essas são soluções paliativas. A solução mais recomendada será sempre a utilização de uma queda por gravidade do purgador ao coletor.

4.3.2 ELEVANDO O CONDENSADO

Muitas vezes, tenta-se elevar o condensado drenado pelo purgador até a linha de retorno usando a pressão antes do purgador. Contudo é preciso lembrar que cada 5,3 m de elevação no condensado significam uma contrapressão de 0,5 bar no purgador. Essa contrapressão reduz a pressão diferencial, que empurra o condensado através do purgador. Apesar disso, significativa redução de capacidade do purgador pode acontecer somente quando existem baixas pressões a montante do purgador. Na partida, as pressões do vapor são geralmente muito baixas e por períodos significativos. Dessa forma, é comum encontrar acúmulo de água antes do purgador. Uma vez que isto pode causar golpes de aríete na linha ou no purgador que está sendo drenado, deve-se drenar o condensado até que a pressão do vapor seja suficiente para vencer a contrapressão da linha de retorno. Muitas vezes, pode-se usar um purgador termostático de expansão líquida, descarregando condensado frio o qual se junta ao condensado quente, o que serve se a pressão do vapor for suficiente para empurrar o condensado através do purgador para a linha de retorno (figura 34).

Figura 34 - Drenagens de linha na partida da tubulação e retorno de condensado elevado.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

A linha de condensado do purgador para o retorno elevado deve ser ligada por uma conexão na parte superior da tubulação preferencialmente. Isto facilita a operação, pois, embora o tubo que sobe esteja cheio de água na partida, ele transporta grande quantidade de vapor reevaporado, oriundo do condensado quente sob pressão que passa através do purgador. Sendo muito menos denso, esse fluido reduzirá a contrapressão sobre o purgador e, muitas vezes, atenuará o ruído e os golpes de aríete comuns às descargas de purgadores das linhas de subida.

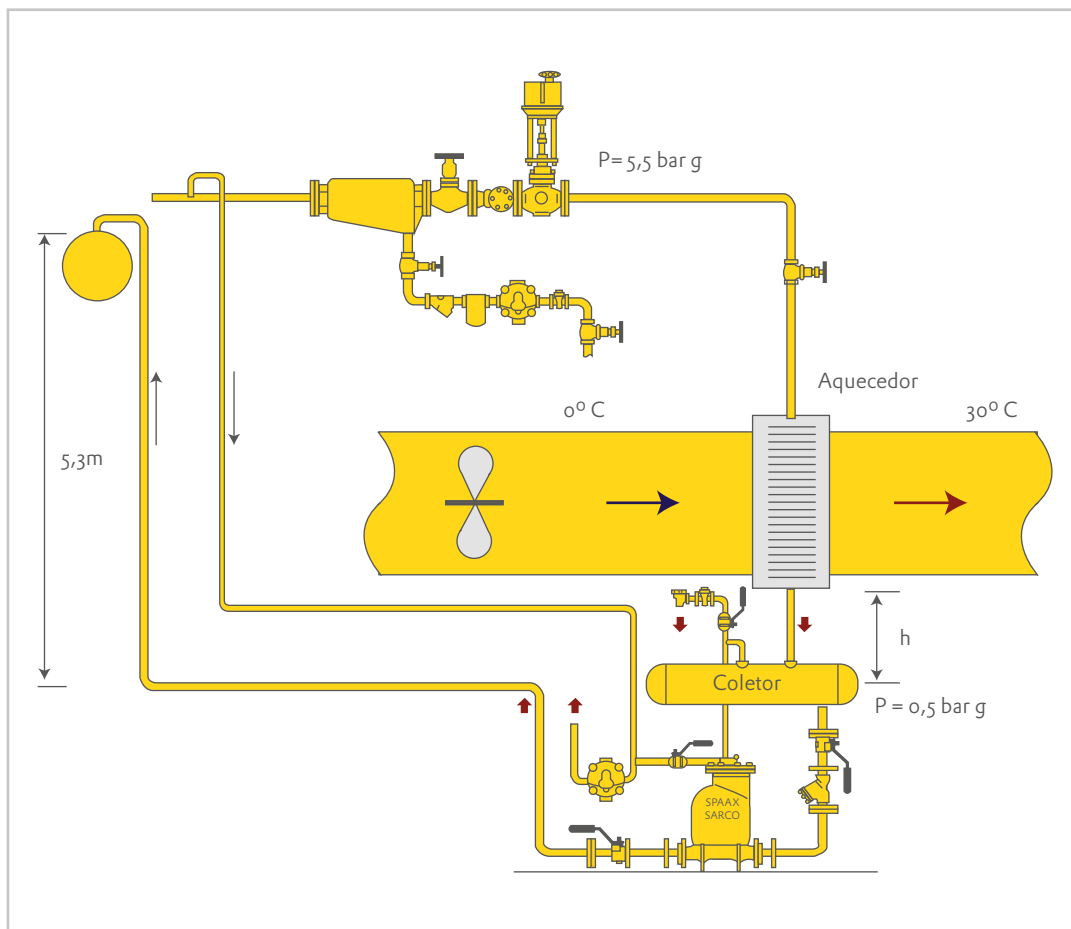
É recomendável instalar uma válvula de retenção na saída do purgador, especialmente quando a linha de descarga leva o condensado para um nível superior.

É importante observar que, quando a alimentação de vapor no equipamento é modulada por um sistema de controle de temperatura, muitas vezes, a pressão no

aquecedor e no purgador pode ser bem menor do que a pressão de alimentação ou de entrada, se o equipamento estiver trabalhando em cargas baixas. Assim, ela pode ser insuficiente para descarregar o condensado.

Observe a bateria aquecedora de ar representada na figura 35.

Figura 35 - Elevando condensado de aquecedores com temperaturas controladas.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

Para evitar problemas operacionais no sistema mostrado na figura 36, a recomendação é evitar a elevação do condensado diretamente pelo purgador. O purgador deverá ser instalado abaixo da saída do condensado da bateria, para fornecer uma coluna de gravidade. Um metro dará quase 0,1 bar e 0,5 m quase 0,05 bar. Assim, o condensado será drenado livremente para o coletor de uma bomba

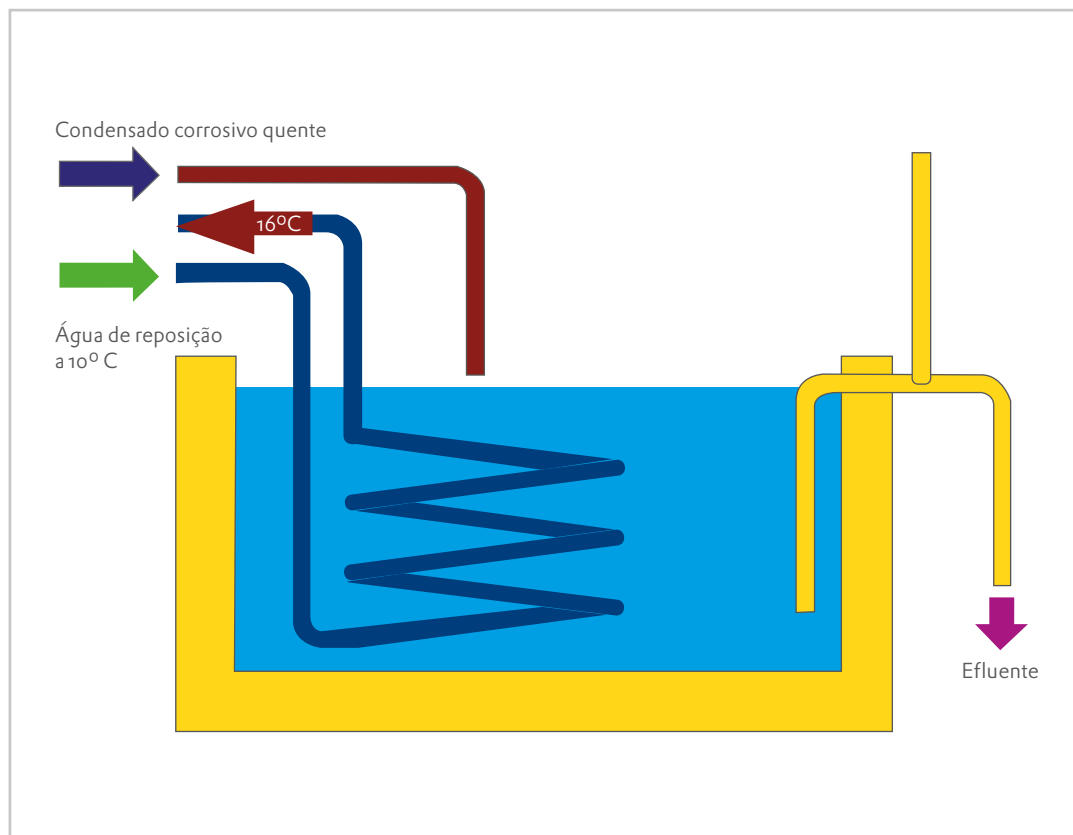
de retorno, e, por sua vez, a bomba poderá elevá-lo para a tubulação principal de retorno. Um quebra vácuo permitirá que a água caia para o purgador, mesmo quando a temperatura requerida do vapor estiver abaixo de 100 °C, pela admissão de ar no espaço de vapor. Sem a bomba, o parcial alagamento da bateria possibilitará golpes de aríete e corrosão.

No exemplo, o purgador deve ser capaz de passar 300 kg/h, com uma pressão diferencial de mais ou menos 5,5 bar e $(0,62 \times 300) = 186$ kg/h, apenas com a coluna de gravidade (h) que a instalação possibilitar.

4.3.3 CONDENSADO CONTAMINADO

Algumas vezes, ocorre o retorno de condensado de equipamentos onde existe a possibilidade de contaminação por líquidos de processos corrosivos. Outras vezes, pode tratar-se de condensado do vapor de descarga de um motor, contendo assim traços de óleo. Nos dois casos, torna-se impróprio o reaproveitamento desse condensado na caldeira. Contudo, embora contaminado, ele ainda carrega o mesmo calor sensível útil, da mesma maneira que o condensado limpo. É aconselhável recuperar esse calor ao máximo possível, e, em algumas circunstâncias, a água residual também poderá ser usada no processo.

Figura 36 - Aproveitamento do condensado contaminado.



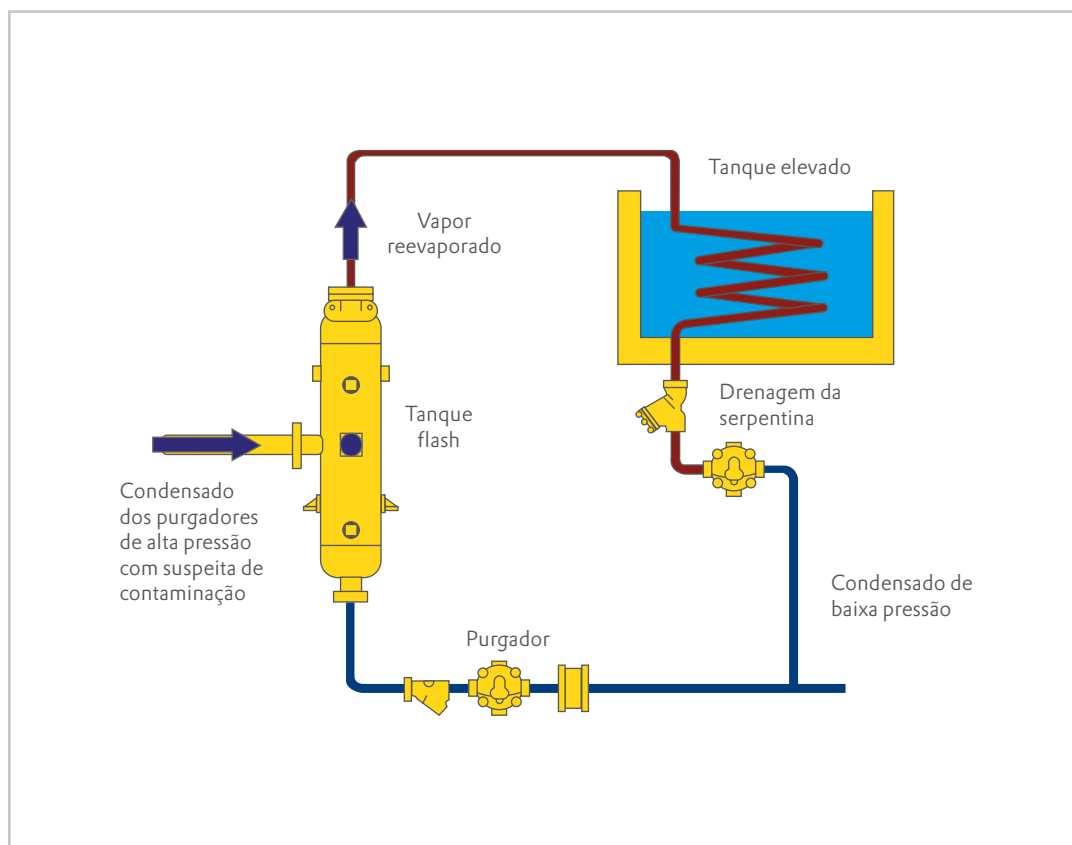
Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

A figura 36 mostra o exemplo de um trocador de calor onde se pode recuperar parte do calor sensível do condensado, antes que este seja descarregado como efluente. O condensado quente e contaminado é levado até um tanque, onde há um ladrão instalado de modo que a água resfriada no fundo do tanque sairá para o dreno. A água fria de alimentação para a caldeira passa por uma serpentina e ali ganha parte do calor da água que escoar pelo tanque no processo de resfriamento. Esta solução pode ser bastante eficaz se a temperatura da água de alimentação for aumentada em 6 °C pela recuperação da energia que teria sido desperdiçada, e aproximadamente 1% do custo do combustível será economizado.

Principalmente em processos de galvanização e revestimento metálico, não se pode confiar na pureza do condensado das serpentinas de aquecimento de vapor

dos tanques de solução ácida em razão da grande possibilidade de vazamento dessas serpentinas.

Figura 37 - Recuperação do calor de condensado contaminado.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

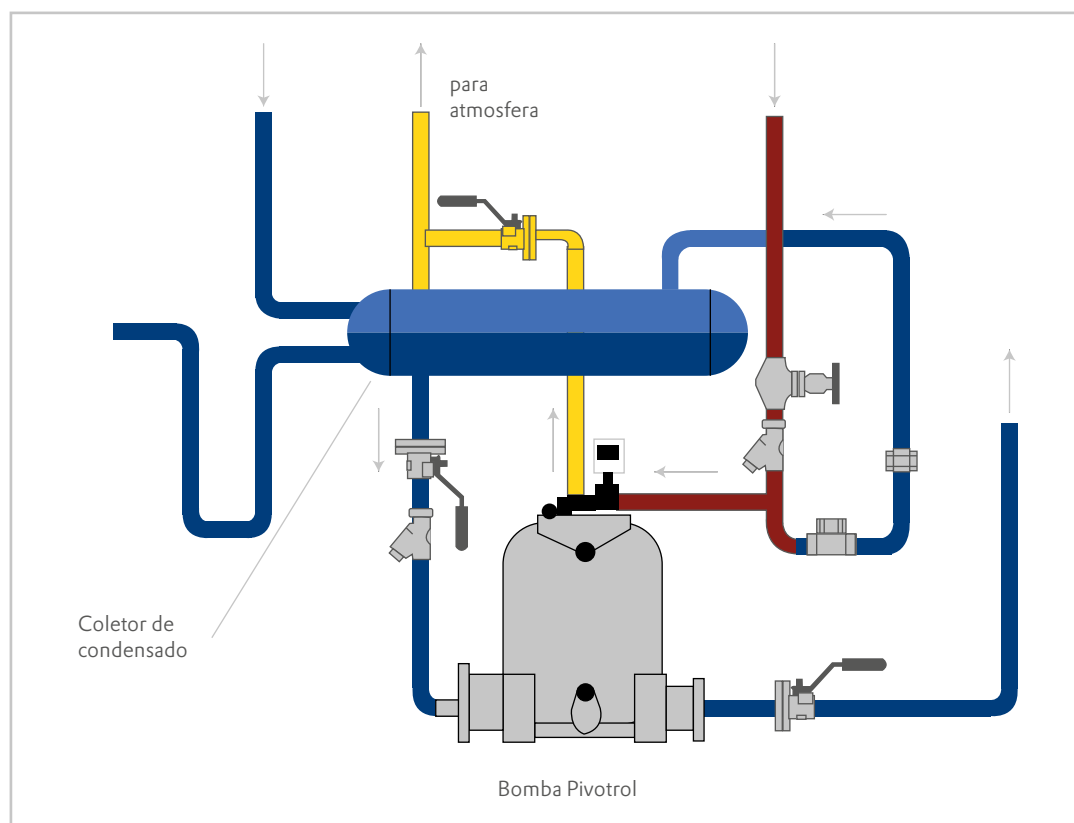
A figura 37 mostra como se pode economizar energia em situações assim. O condensado é levado para um tanque de reevaporação de vapor (tanque *flash*). O vapor reevaporado obtido ali é, em seguida, usado para alimentar uma serpentina que pré-aquece a água de reposição da caldeira. O condensado de baixa pressão da serpentina é então aproveitado, junto com aquele proveniente do tanque de vapor reevaporado, nos tanques de efluente quente. Em alguns casos, pode ser mais eficaz simplesmente descarregar o condensado (e o vapor reevaporado) dos tanques do processo de revestimento metálico diretamente nos tanques de

efluente quente. Uma solução semelhante pode ser aplicada onde houver caldeiras alimentadas com óleo combustível pesado vindo de tanques aquecidos. O condensado gerado em tanques aquecedores de óleo pode ter sido contaminado por vazamentos nas serpentinas, assim, muitas vezes, é drenado como efluente. Da mesma forma, o vapor reevaporado desse condensado pode pré-aquecer a água de reposição com ganhos satisfatórios.

4.3.4 BOMBEAMENTO DE CONDENSADO

Quase sempre é necessário bombear o condensado previamente acumulado em um tanque para um ponto mais alto – o tanque de alimentação da caldeira, por exemplo. Um dos modos de elevar o condensado é utilizar-se de uma bomba auto-operada, conforme a figura 38 apresenta um exemplo de sua instalação típica.

Figura 38 - Instalação típica.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

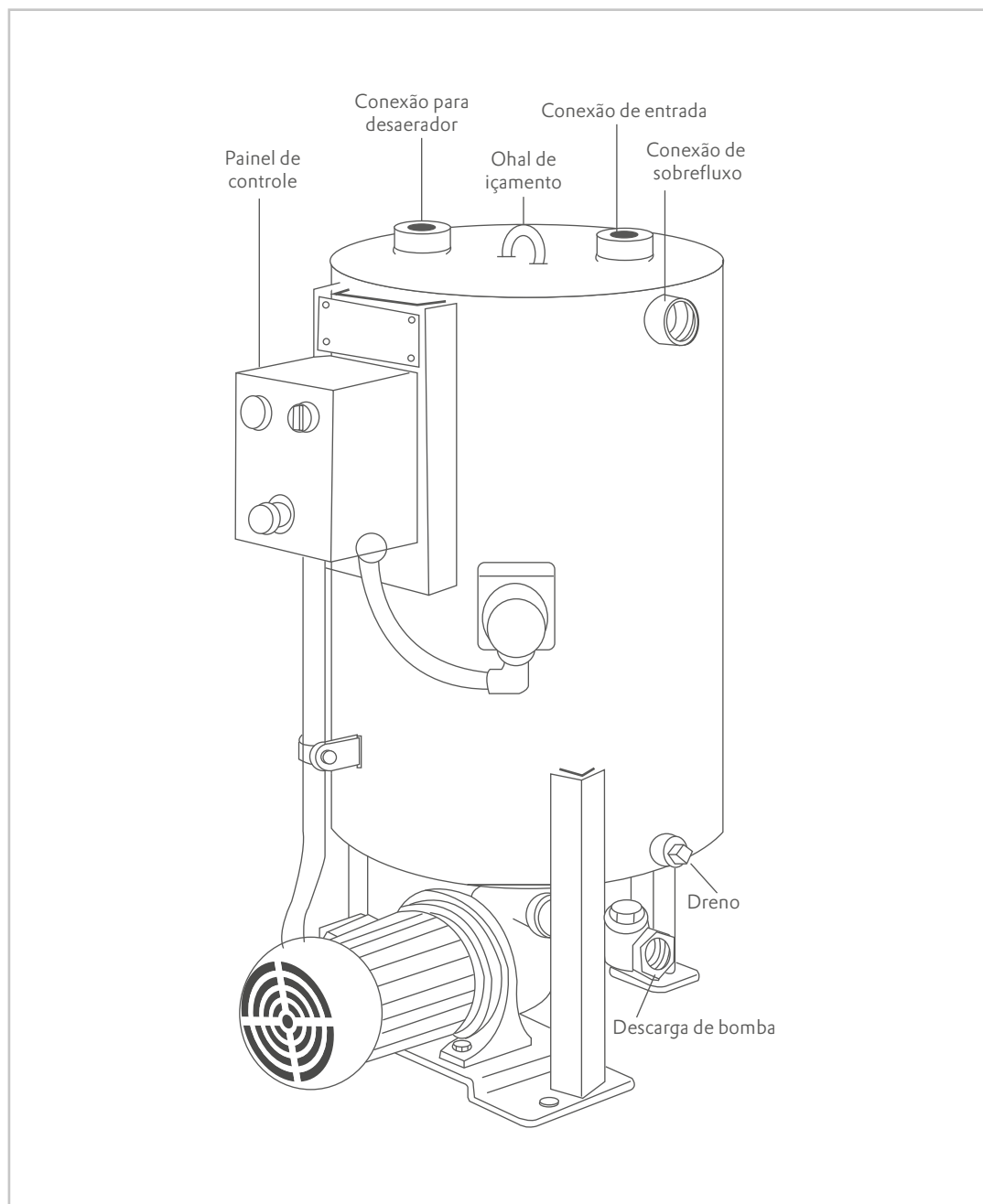
Instaladas de maneira correta, as bombas auto-operadas trabalham durante longos períodos sem apresentar problemas de cavitação e podem bombear inclusive condensados em ebulição. Por não possuírem motores, não são afetadas pela umidade e continuarão trabalhando mesmo completamente submersas – um risco muito comum em poços de inspeção e outras aplicações semelhantes.

Uma vez que se bombeia uma quantidade regular de condensado a cada ciclo, com as auto-operadas, torna-se relativamente fácil calcular a vazão de escoamento pela contagem dos ciclos. A bomba auto-operada possui um contador na parte superior da tampa para isso, portanto, pode ser usada também como medidor da vazão de condensado de uma área ou fábrica.

O segundo modo de elevar o condensado baseia-se no uso de bombas elétricas. Esta solução exige o emprego de um grande reservatório trabalhando em conjunto com uma bomba centrífuga (figura 39). O reservatório deve possuir um controle de nível que assegura que a bomba manterá o nível de condensado dentro dos limites predeterminados. Contudo, o uso das bombas centrífugas pode causar problemas quando essas são obrigadas a trabalhar com condensado quente. Nessas condições, o condensado a altas temperaturas pode transformar-se em vapor reevaporado (*flash*), que reduzirá drasticamente a capacidade da bomba. E o choque das bolhas de vapor com o rotor poderá causar grandes prejuízos com vibração e erosão.

As bombas centrífugas normalmente utilizadas não são projetadas para trabalhar em condições de baixa coluna líquida de sucção. Ao mesmo tempo, não são construídas com materiais de alta resistência para reduzir as vibrações e garantir que os selos mecânicos operem sob ótimas condições.

Figura 39 - Unidade de recuperação de condensado com bomba elétrica.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

4.3.5 VAPOR REEVAPORADO

O vapor reevaporado (*flash*) forma-se pela diminuição da pressão nas descargas de condensado quente.

Em qualquer sistema onde se pretenda atingir a eficiência máxima (e esta deve ser a meta para todos os sistemas), o vapor reevaporado precisa ser separado do condensado para aproveitamento posterior. Cada quilo de vapor reevaporado aproveitado desta maneira é um quilo que deixa de ser fornecido diretamente pela caldeira, e um quilo que não será liberado para a atmosfera.

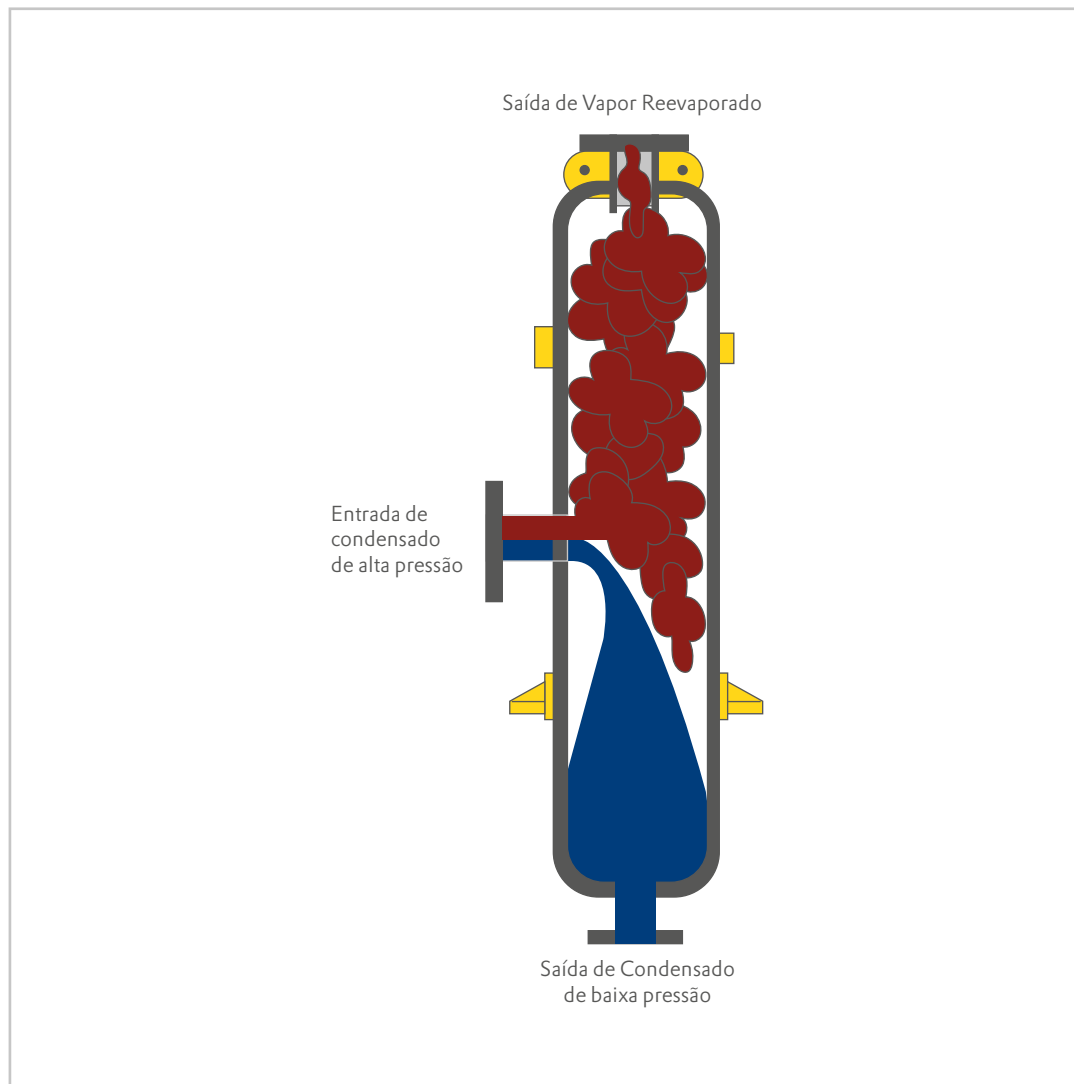
Os benefícios ambientais e econômicos que tornam a recuperação do vapor reevaporado obrigatória são similares aqueles que determinam a recuperação do condensado.

Quem pretende fazer uso do vapor reevaporado é preciso conhecer primeiro qual a quantidade disponível. Esta quantidade pode ser facilmente obtida por meio de tabelas especiais. É importante lembrar que essa quantidade depende do tipo de purgador. Se o condensado for resfriado abaixo da temperatura de saturação, a quantidade de vapor será menor.

a) Dimensionamento de tanques para recuperação de vapor reevaporado

Para que se possa aproveitar o vapor reevaporado do condensado a pressões baixas, é preciso primeiro separar o vapor do condensado, usando um tanque de vapor reevaporado (tanque *flash*). Trata-se de um tanque vertical (figura 40) dotado de uma entrada para o condensado.

Figura 40 - Tanque de reevaporação.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

O diâmetro do tanque deve ser escolhido de modo que o vapor escoe ao máximo de 3 m/s. Esta velocidade é suficientemente lenta para que a queda das gotas de água possa se dar através do vapor em um escoamento contrário para o fundo do tanque.

É necessário que o tanque reserve uma altura adequada acima da entrada para assegurar uma separação perfeita. O diâmetro do tanque deve ser ainda suficientemente grande para deixar que o condensado passe através dele sem que o

fluxo do líquido seja turbulento demais. Nos casos onde há pequenas diferenças de pressão entre os purgadores, é possível registrar-se grandes quantidades de condensado para pequenas quantidades de vapor reevaporado. Se o diâmetro do tanque for dimensionado considerando-se apenas a velocidade do vapor, isto levará à escolha de um tanque pequeno demais. Dessa forma, deve-se escolher o maior dos dois diâmetros indicados.

As recomendações referentes à altura dos tanques são dadas na lista de dimensões (tabela 17), junto com as medidas das saídas do condensado.

Tabela 17 - Dimensões de tanques de vapor reevaporado.

TAMANHO	DIÂMETRO	ALTURA	SAÍDA DO CONDENSADO	ALTURA DA ENTRADA	ENTRADA E SAÍDA DE VAPOR REEVAPO-RADO	ESCOAMENTO MÁXIMO DE CONDENSADO KG/H	ESCOAMENTO MÁXIMO DE VAPOR KG/H
150	150	110*	40	282	65	900	225
200	200	110*	40	290	100	2250	450
300	300	1150*	50	307	125	4500	900
380	380	1260*	50	330	150	9000	1400
	460	1200	50	400	175**	12700	2050
	500	1400	65	450	200**	15900	2400
	600	1400	65	450	225**	20400	3500
	760	1400	80	450	300**	34000	5600
	920	1500	80	500	350**	50000	8200

Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

A entrada e a saída do vapor reevaporado podem ser escolhidas de modo que a velocidade do vapor não ultrapasse 15 m/s. Deve-se lembrar de que, quando o tanque de vapor reevaporado é aplicado a uma purga de caldeira, a concentração de sólidos dissolvidos na água da caldeira pode criar arraste e espuma no tanque. Para reduzir a possibilidade de arraste de gotas de água junto com o vapor reevaporado, é comum aplicar um tanque de tamanho maior do que o normalmente usado para operações com condensado normal.

b) Cuidados para o bom aproveitamento do vapor reevaporado

Para que todo o vapor reevaporado seja aproveitado, é preciso observar alguns requisitos básicos.

- **Suficiente vazão de condensado**

Para tornar a recuperação economicamente produtiva, deve-se possuir uma quantidade suficiente de condensado proveniente de processos com pressões mais altas para permitir que o vapor reevaporado possa ser liberado. Os purgadores de vapor e o equipamento que estão drenando devem funcionar corretamente enquanto recebem a contrapressão aplicada pelo sistema de recuperação. É preciso atenção particularmente quando se está recuperando vapor do condensado de equipamentos com controle de temperatura. Com baixas cargas do processo, a pressão do espaço do vapor do equipamento será diminuída pela ação da válvula de controle. Se ela ficar próxima ou mesmo abaixo da pressão do vapor reevaporado, a recuperação desse condensado se torna inviável.

- **Aplicação adequada**

O vapor reevaporado de baixa pressão exige uso adequado. O consumo de vapor de pressão baixa deve ter um fornecimento que seja sempre igual ou maior que o vapor reevaporado disponível. O fornecimento irregular pode ser compensado com o uso de uma válvula de redução de pressão. Por outro lado, se o fornecimento de vapor reevaporado exceder a demanda, a sobra pode ser conduzida ao refugo com uma válvula de alívio ou, de preferência, com um controle auto-operado da pressão a ser aliviada. Assim, em um processo, é possível usar o vapor reevaporado do condensado do próprio processo, mas neste caso só se obtém economia significativa durante a operação de aquecimento. Quando não há necessidade de aquecimento, o sistema de recuperação torna-se sem efeito. Onde for possível, a melhor solução é usar o vapor reevaporado do condensado do processo para preaquecimento do produto. Com isso, o fornecimento e a demanda ficarão provavelmente mais constantes.

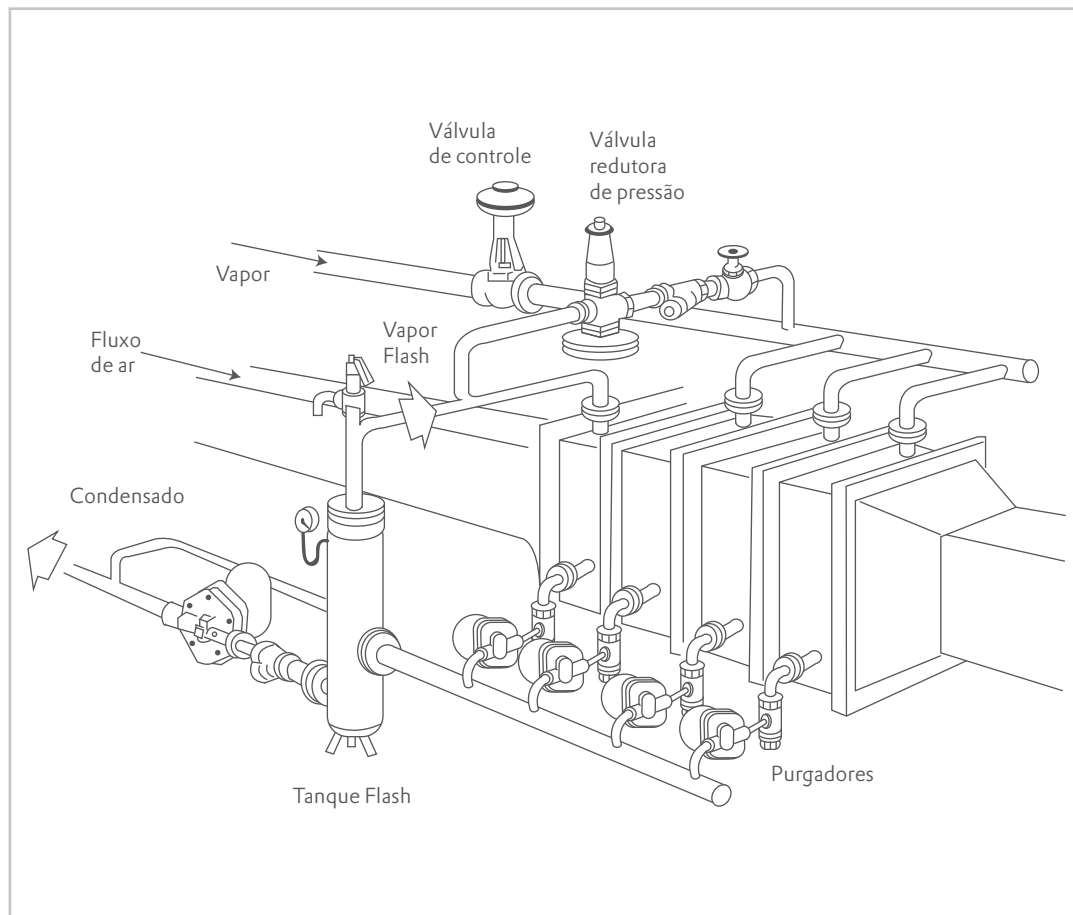
- **Proximidade do ponto de drenagem**

É preciso selecionar uma aplicação para o vapor reevaporado sempre próxima da fonte de condensado de alta pressão. A tubulação para o vapor de baixa pressão apresenta diâmetros maiores, sendo, portanto, mais custosa. Ainda mais, a perda de calor que ocorre nas tubulações de grandes diâmetros reduz as vantagens obtidas pela recuperação do vapor evaporado e, em alguns casos, pode inviabilizar sua utilização.

c) Controle da pressão do vapor reevaporado

Depois que esses cuidados básicos foram atendidos, o próximo passo é determinar a forma de controle da pressão do vapor reevaporado. Quando o fornecimento e a demanda são equilibrados e, particularmente, se a carga de vapor com pressão baixa está no mesmo equipamento em que se produz condensado de alta pressão, a solução mais simples é levar o vapor reevaporado através de uma tubulação diretamente para sua carga sem qualquer suplemento (figura 41).

Figura 41 - Bateria de aquecimento de ar multiestágios.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

A figura 41 mostra a aplicação de vapor reevaporado recuperado de uma bateria de aquecimento de ar multiestágios, que fornece ar a altas temperaturas para determinado processo. O condensado dos setores de alta pressão é reevaporado e o vapor de baixa pressão é usado para pré-aquecer o ar frio que entra na bateria. Se as condições do local permitir, o tanque de vapor reevaporado e os purgadores das serpentinas de baixa pressão deverão estar localizados abaixo das saídas do condensado para obter uma coluna hidrostática capaz de empurrar o condensado através dos purgadores. Além disso, uma válvula quebra vácuo deve ser instalada na linha de vapor reevaporado e a drenagem dos purgadores deve ser feita por gravidade.

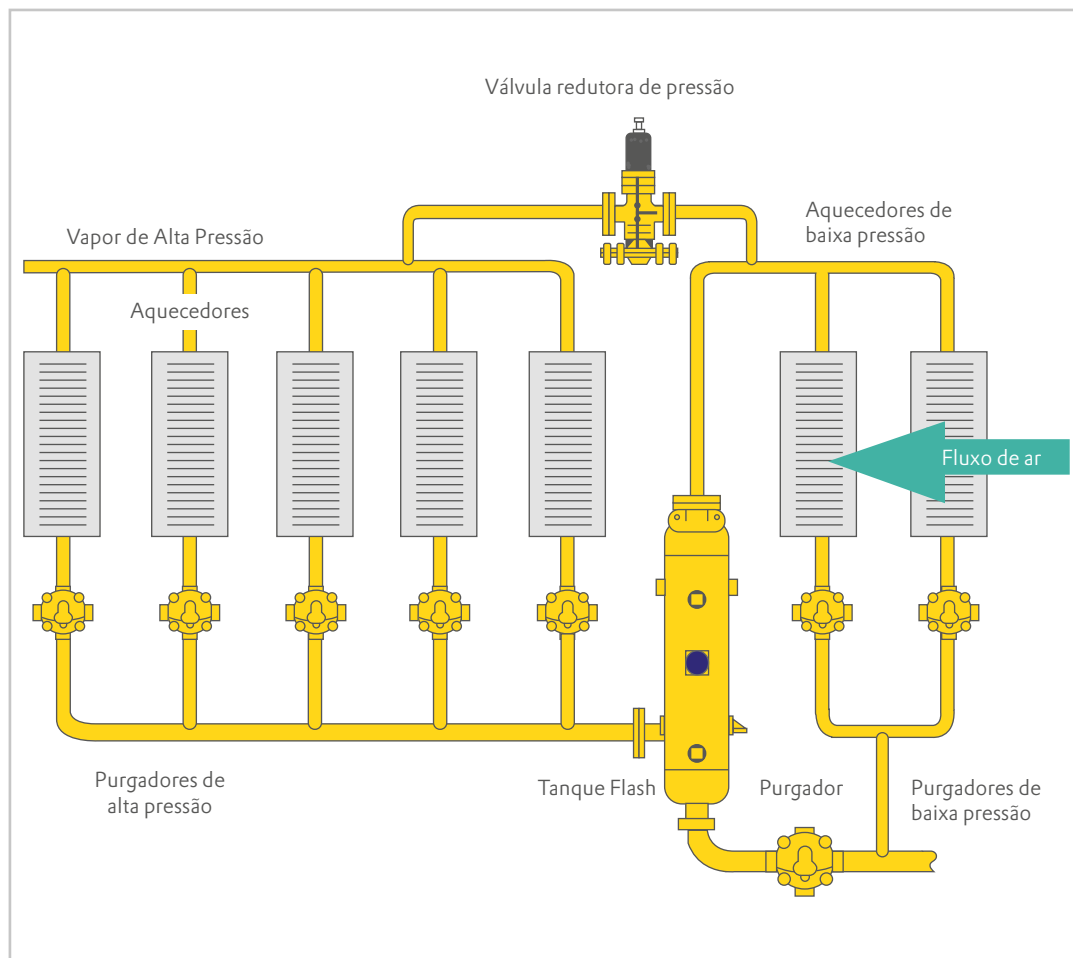
Uma alternativa é complementar o vapor reevaporado com vapor vivo, de modo a manter a pressão em um nível positivo. Para evitar o problema do superaquecimento, a válvula de redução de pressão pode incorporar um sistema de controle de temperatura, ou uma válvula *on-off* alimentada através de um termostato, para desligar o vapor suplementar quando não existe carga.

Outra solução para o problema é implantar um fornecimento suplementar de vapor a partir da linha principal. Isso vai garantir o fornecimento de vapor extra para pressurizar a seção de preaquecimento, exceto quando o escoamento, através da válvula de controle principal, se reduzir a pequenas quantidades de vapor. Como antes, se o consumo na área de baixa pressão for menor do que o fornecimento de vapor reevaporado, então uma válvula de alívio terá de ser instalada, para que o vapor reevaporado excedente possa ser descarregado.

d) Fornecimento e demanda de vapor reevaporado coordenados

Esta é a solução que representa a recuperação máxima disponível do vapor reevaporado. A bateria de aquecimento de ar mencionada acima se enquadra neste caso. É possível aplicar soluções similares em muitas outras situações, entre elas, o aquecimento de cilindros secadores e processos com injeção direta de vapor.

Figura 42 - Diversos aquecedores alimentados com vapor de alta pressão.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

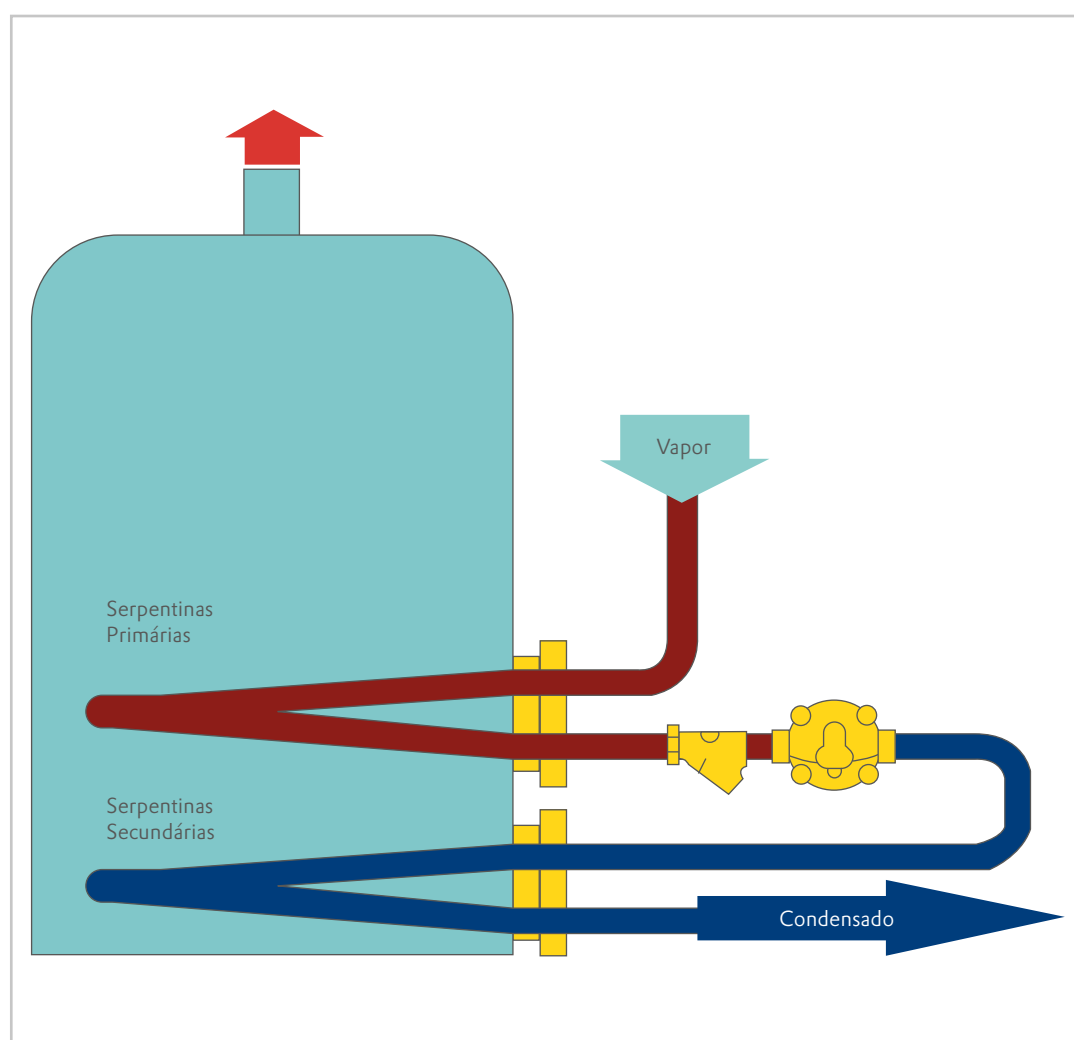
A figura 42 mostra um sistema onde diversos aquecedores são alimentados com vapor de alta pressão. O condensado de cerca de 90% dos aquecedores é acumulado e levado a um tanque de recuperação de vapor reevaporado. Essa operação fornece vapor de baixa pressão aos 10% restantes dos aquecedores.

Nesses 10% de unidades supridas com vapor a uma pressão menor, há uma menor troca de calor, que pode ou não afetar o desempenho do sistema. Se o rendimento dos aquecedores for inadequado, é preferível ampliar a capacidade de aquecimento para aproveitar o benefício da utilização de vapor reevaporado do que o desperdício do vapor reevaporado disponível.

Às vezes, para aproveitar esse vapor, é necessário usá-lo em mais de um aquecedor, mesmo que não seja suficiente para alimentar os dois. Normalmente, é melhor ligar os dois aquecedores ao fornecimento de vapor reevaporado, em vez de jogar para a atmosfera o vapor evaporado em excesso e não usado por um aquecedor.

Os dois aquecedores juntos deverão baixar a pressão do vapor reevaporado até mesmo abaixo da pressão atmosférica. Assim, o fornecimento de vapor reevaporado pode ser compensado por intermédio de uma válvula redutora de pressão.

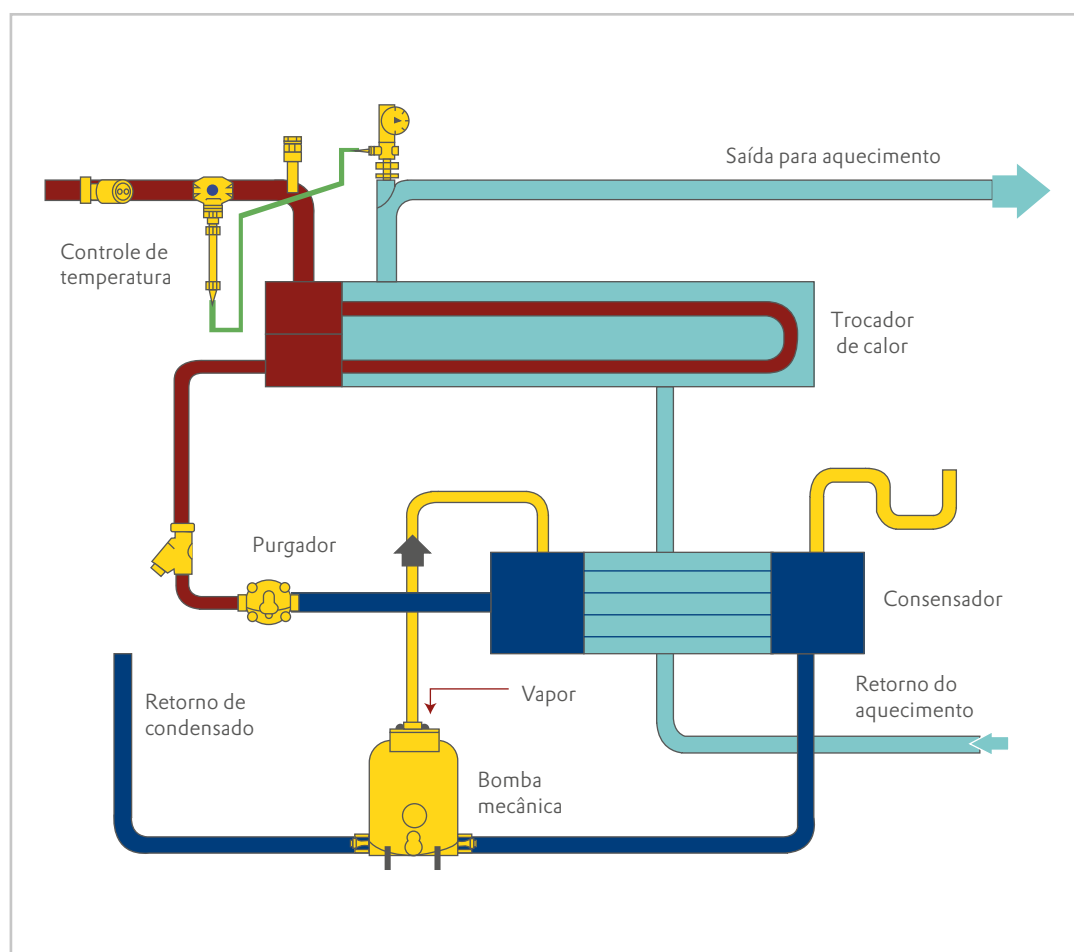
Figura 43 - Serpentina secundária de vapor reevaporado.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

Um exemplo ainda mais simples, em que o fornecimento e a demanda são equilibrados, é o tanque de armazenamento de água quente aquecido por vapor. Alguns desses equipamentos incorporam uma serpentina secundária, instalada na parte inferior, próximo do ponto onde a água fria entra. O condensado e o vapor reevaporado do purgador da serpentina primária são transferidos diretamente para a serpentina secundária. Ali o vapor reevaporado se condensa aquecendo a água de abastecimento. A solução está na figura 43.

Figura 44 - Conjunto trocador de calor e condensador de vapor *flash*.

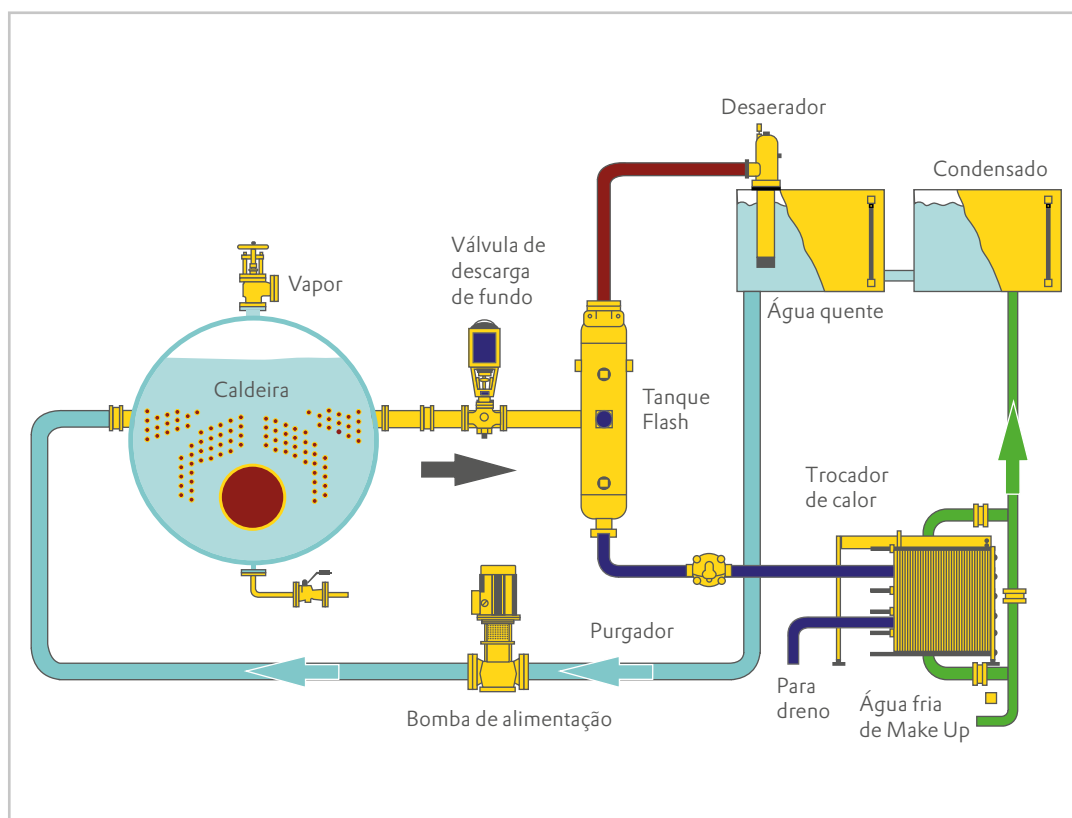


Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

A figura 44 mostra uma extensão desta ideia. Um conjunto trocador-condensador é usado com um trocador normal vapor/água, drenando através de um purgador de boia para um trocador de casco e tubo. A unidade é instalada em série com o trocador de calor, de modo que possa preaquecer a água de retorno do sistema. Isto reduz a demanda para vapor vivo. O espaço do vapor do preaquecedor encontra-se à pressão atmosférica e todo o ar é ventilado por um simples sifão "U". Uma bomba é usada para elevar o condensado até a linha de retorno de modo que é possível reduzir os custos de energia nessa operação.

e) Fornecimento de vapor reevaporado e demanda não coordenados

Figura 45 - Típico sistema de recuperação de calor para descarga contínua em caldeiras.



Fonte: SPIRAX DARCO (2017).

A solução mostrada na figura 45 é um exemplo de recuperação de vapor reevaporado em que o fornecimento e a demanda nem sempre estão em harmonia. O condensado proveniente do equipamento de processo libera vapor reevaporado, mas a única aplicação que se pode encontrar para esse vapor é aumentar com ele o fornecimento de vapor para instalação de aquecimento de determinada área ou ambiente. Ele pode ser útil durante o período de inverno, desde que a carga de aquecimento exceda a disponibilidade de vapor reevaporado.

Embora seja possível obter economia de vapor durante o inverno, justificando assim o custo do equipamento recuperador de vapor reevaporado, esta solução ainda não é a ideal. Às vezes, o vapor reevaporado em excesso pode somente ser descarregado na atmosfera, e, para essa operação, uma válvula de alívio torna-se então mais adequada do que uma válvula de segurança, que apresenta normalmente uma ação de *pop* ou *on-off*.

Em outros casos, durante o verão, pode ser preferível desviar o vapor reevaporado através de uma válvula ou registro manual diretamente ao tanque de abastecimento da caldeira ou ao receptor de condensado. Todavia, a menos que uma grande quantidade adicional de água seja requerida, o vapor reevaporado do tanque continuará a ser descarregado para a atmosfera.

f) Aplicações para a descarga de caldeira

O retorno do vapor reevaporado ao tanque de abastecimento da caldeira ou desaeador e a necessidade de uma porção relativamente alta de fornecimento de água de *make-up* para condensar o vapor evaporado sugerem alternativa para recuperação de energia. Trata-se da recuperação do vapor oriundo das descargas contínuas da água das caldeiras para controlar o nível de sólidos totais dissolvidos (STD).

O sistema descarrega parte da água da caldeira proporcional à quantidade igual de água de reposição tratada. Esta água de descarga mantém a pressão e temperaturas altas quando sai da caldeira e, portanto, permite a recuperação do vapor reevaporado. Depois de passar pelas válvulas de controle de descarga, a água

à pressão baixa é levada até um tanque de recuperação de vapor reevaporado. Ali, o vapor reevaporado liberado é separado da água, tornando-se útil para o aquecimento em outros pontos do processo. Este vapor, muitas vezes, pode ser usado em um desaerador, ou ainda pulverizado dentro do tanque de abastecimento da caldeira, onde ajuda a aquecer a água de reposição.

g) Condensação por pulverização

Finalmente, há casos onde o vapor reevaporado está disponível a baixas pressões, mas não existe quantidade adequada para fazer uso deste vapor. Para não descarregar o vapor reevaporado como refugo, muitas vezes, pode-se utilizar a solução mostrada na figura 46.

Se a água de condensação, não tiver a mesma qualidade, deve ser armazenada separada da água do receptor, conforme se vê nas linhas pontilhadas da figura 46.

h) Demanda de geração de condensado

Devemos considerar ainda o volume de condensado gerado nas indústrias. Como dito anteriormente, o condensado possui grande quantidade de energia térmica disponível, mantendo sua temperatura em níveis iguais às do vapor saturado na pressão a qual está sendo descarregado. Atualmente, encontramos um cenário nacional em que a maioria das indústrias ainda não faz o reaproveitamento das águas condensadas. Menos de 10% de nossas indústrias recuperam mais de 60% da vazão total de vapor produzido.

Além do aspecto relativo à recuperação da energia, o lançamento de condensados deve respeitar os limites legais estabelecidos para a proteção ambiental dos corpos receptores. Em atendimento às normas regulamentares de proteção ao meio ambiente, as quais regem o controle de despejos industriais, o lançamento desses em qualquer coletor deverá atender às condições tais que não venha atacar ou causar danos ao coletor ou ao meio ambiente. Como o condensado de vapor é uma água de alta qualidade, o mesmo não poderá ser descartado diretamente no meio ambiente devido à sua alta temperatura, já que despejos dessa natureza somente poderão ser descartados a uma temperatura máxima de 40 °C, em cumprimento ao Decreto nº 8.648, de 8 de setembro de 1976, que aprova o regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a “prevenção e o controle da poluição do meio ambiente”.

Com relação ao reúso desse condensado, reitera-se que sua recuperação é imprescindível e pode ser viabilizada em diferentes sistemas e processos.

Além da geração de condensado nas operações de utilidades, as operações industriais geram condensados em sistemas de concentração de soluções e reatores de reações exotérmicas, entre outros.

4.3.6 ÁGUAS CONDENSADAS NA INDÚSTRIA

a) Sucroalcooleira

Um bom exemplo seria os condensados de vapor vegetal gerados na concentração do caldo clarificado que entra no sistema de evaporadores de múltiplo efeito com 85% de água e deve ser concentrado pela evaporação da água até aproximadamente 40% de água. Estima-se que, nesta evaporação, sejam retirados e condensados cerca de 550 litros de água por tonelada de cana processada.

Outra alternativa existente consiste em recuperar águas condensadas que são as geradas nas colunas barométricas ou dos multijatos. Os vapores que saem do último estágio do múltiplo efeito são condensados em condensadores barométricos de contracorrente, corrente paralela, ou multijatos. Em média, gastam-se 45 litros de água para se condensar 1 Kg de vapor nessa operação e consomem-se, em média, 15.000 litros de água por tonelada de cana para condensação do vapor.

b) Polpa de celulose

Outra indústria grande consumidora de vapor e, conseqüentemente, grande produtora de águas condensadas é a de produção de polpa de celulose. Seu processo de produção tipo Kraft (polpa de sulfato), consome em média 6.500 kg de vapor por tonelada de polpa seca produzida, a qual é obtida a partir da digestão de aproximadamente duas toneladas de madeira.

c) Têxtil

O universo de variações na composição dos tecidos gerados (proporção de fibras naturais com fibras sintéticas) proporciona uma faixa muito grande de consumo de energia térmica com possibilidade de recuperação de condensado rico em energia e grande volume de água condensada. Considerando uma produção têxtil de médio porte, seu consumo médio de energia térmica é em torno de 15 t/h

de vapor, sendo possível a recuperação de 90% deste volume em termos de água condensada.

d) Óleos vegetais

Processo industrial com grande consumo de vapor tanto na extração como no refinamento. Podemos estimar um consumo médio de 250 kg de vapor por tonelada de semente processada. Considerando uma produção de médio porte com 2.000 t/dia de semente processada, teríamos um consumo médio de vapor de 20 t/h em que 80% desta produção poderá ser recuperada em forma de água condensada, considerando as operações unitárias no processo que utilizam consumo de vapor direto.

Considerações finais

A partir desses exemplos e em tantos outros processos industriais que utilizam vapor em suas plantas como fluido de aquecimento e para produção de energia elétrica, pode-se concluir que recuperação da energia residual contida nas águas condensadas de vapor, bem como o reúso do volume gerado a partir da condensação do vapor são práticas que contribuem com a melhoria da competitividade da indústria, ao mesmo tempo que aumentam a eficiência energética e promovem o uso racional dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

GE BETZ, Tratamento de Águas Industriais, 2002.

LYLE, Oliver. The efficient use of steam. [S.l.]: Her majesty's stationery office, 1947.

SPIRAX DARCO. The steam and condensate loop. Disponível em: <<http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/introduction/the-steam-and-condensate-loop.aspx>>. Acesso em 20 abr. 2017.

Manual de tratamento de águas residuárias industriais. SABESP.



5

ASPECTOS INSTITUCIONAIS DO GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

Percy Soares Baptista Neto
Anicia Aparecida Baptistello Pio

Coordenador da Rede de Recursos Hídricos da Indústria (CNI). Administrador, com Mestrado no PPGA-UFRGS, estágio Doutoral no CIRED-CNRS (França) e especialização em Economia do Meio Ambiente na Universidade de Alcalá de Henares (Espanha).

Mestre em Recursos Hídricos pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e especialista do Departamento de Meio Ambiente da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp).

5.1 INTRODUÇÃO

De todos os recursos naturais existentes, a água é, sem dúvida, aquele que mais influenciou e continua direcionando a evolução da humanidade, como condicionante das grandes transformações do planeta e responsável pela atual configuração política e pela ocupação socioeconômica.

Desde os primórdios da civilização humana, os aglomerados humanos sempre estiveram às margens de rios e regiões costeiras, tendo, nas correntes de água, sua principal fonte de alimento e transporte. As primeiras civilizações, tidas como civilizações hidráulicas, foram reconhecidas pelo nome dos rios perto dos quais se instalavam: a Mesopotâmica, que em grego significa “entre rios”, era a civilização dos rios Tigres e Eufrates; a Egípcia é lembrada como a civilização do Nilo, entre tantas outras.

O crescimento das atividades comerciais, especialmente na Grã-Bretanha e também na Europa, nos séculos XVIII e XIX, deveu-se à melhoria dos sistemas de transporte por rios e depois com a construção de grande número de canais navegáveis e portos que permitiram a expansão do comércio ultramarino. Os cursos d'água tiveram papel preponderante na interiorização da colonização das Américas. O rio da Prata foi a via da colonização espanhola. Na América portuguesa, os rios Paraíba do Sul, Doce, Amazonas e São Francisco viabilizaram boa parte da produção primária exportadora, conforme os ciclos econômicos que acompanharam o país.

Os cursos d'água tiveram papel preponderante, também, para dar impulso a um dos principais acontecimentos que alteraram, de forma significativa, a civilização ocidental – a Revolução Industrial, ao se constituir na força motriz necessária para movimentar as máquinas que caracterizaram o processo de industrialização, condicionando, por conseguinte, as oficinas a se localizarem nas margens dos cursos d'água.

Nos últimos três séculos, embora a indústria tenha conseguido substituir, de maneira direta, a água por outras fontes de energia, ainda não conseguiu encontrar

alternativas para a maioria das utilizações dentro das suas plantas. Com toda a evolução tecnológica existente, os processos de transformação de matéria-prima ainda dependem fundamentalmente deste insumo básico, de baixo custo e com relativa abundância.

No entanto as crises de água, cada vez mais frequentes, demonstram para os setores produtivos a necessidade de se dispor de boas informações climáticas, hidrológicas e relacionadas às demandas de água, bem como o conhecimento e o envolvimento com os sistemas de gerenciamento de recursos hídricos. Esses são fatores essenciais para conhecer e avaliar o grau de exposição a riscos das empresas e o desenvolvimento de planos de contingência para minimizar os impactos quando ocorrem situações críticas.

O conhecimento sobre a institucionalidade da gestão das águas complementa o técnico no desenho da definição de estratégias corporativas de gerenciamento de recursos hídricos. A análise dos riscos físicos, regulatórios e operacionais é importante na previsão do grau de estabilidade e previsibilidade no fornecimento e nos respectivos preços do insumo água.

O presente capítulo abordará o atual arcabouço institucional-legal a partir dessa perspectiva. Parte-se de breve recuperação histórica do regramento do uso e da conservação das águas. Na sequência, são apresentadas informações sobre o estágio atual da implementação da Política Nacional e de algumas Políticas Estaduais de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Finalmente, é feita breve análise sobre os desafios persistentes para a consolidação das Políticas e do Sistema como fator-chave para a conformação das estratégias corporativas de gerenciamento das águas.

5.2 GÊNESE DA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

O primeiro regramento dos usos das águas de abrangência nacional é o Código das Águas de 1934, elaborado em uma década de profundas transformações no Estado brasileiro, que também deu origem a Consolidação das Leis Trabalhistas, ao Código Mineral, entre outros diplomas que conferiram o arcabouço legal necessário ao processo de industrialização que se iniciava no país. Especificamente, o Código das Águas proporcionou o ambiente institucional para alavancar o aproveitamento dos potenciais hidrelétricos do país.

Dessa forma, foram criadas as condições de aprofundar a exploração de uma fonte abundante e barata de energia que sustentaria o ciclo de industrialização e do crescimento econômico que se iniciava. O setor de geração hidrelétrica se consolidou e atualmente é um dos principais trunfos do país nas negociações climáticas. Desde então, o tema água sempre esteve presente nas Constituições do Brasil.

O período entre 1967 e a promulgação da Lei nº 9.433/97 são ricos em acontecimentos que desencadearam um conjunto de mudanças mais ousado na forma de o Estado brasileiro fazer a gestão de suas águas. O Departamento Nacional de Águas e Energia, criado em 1965, era a referência na administração da água e, em 1969, ao assumir as atribuições do Conselho Nacional de Energia Elétrica, tornou-se Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (Dnaee), ficando com a atribuição de executar o Código de Águas.

Observa-se que a preocupação do regramento dos usos e da conservação das águas é bem mais antigo no ambiente normativo do país do que a Política Ambiental, que emerge em 1973 com a criação da Secretaria Especial de Meio Ambiente (Sema), vinculada ao Ministério do Interior, onde foi gestada a grande maioria das normatizações e legislações afetas ao meio ambiente.

Entre as novas experiências da época, esteve a criação, em nível nacional, do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH), em 1978, e, em

decorrência deste, a criação de uma série de Comitês Executivos de Estudos Integrados de Bacia Hidrográfica (CEEIBHs). O conceito de múltiplos usos e do envolvimento de todos os setores usuários da água na gestão das bacias, ainda embrionário, começava a ocupar espaço na constelação das políticas públicas do país.

A finalidade dos CEEIBHs era promover a integração dos planos e estudos setoriais relacionados à água, em desenvolvimento nas respectivas bacias hidrográficas. Eram constituídos por órgãos e entidades e do poder público, grandes usuários dos setores públicos e, com raras exceções, dos municípios. Essa experiência representou avanço significativo na integração dos interesses que se sobrepunham sobre os recursos hídricos, mesmo restritos às esferas de governo e coordenados pelo setor elétrico, principal usuário da água.

O contexto de redemocratização do país, em que se inseriu a elaboração e a promulgação da Constituição Federal de 1988, refletiu na gestão dos recursos hídricos no Brasil. A determinação expressa da Constituição de 1988 para que a União institua o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) é o marco principal. Os Estados, no exercício de sua autonomia, ficaram com atribuição de deliberar sobre a organização administrativa das águas do seu domínio e participar do Singreh. Mesmo com o caráter nacional do sistema, a União deve respeitar a forma de organização administrativa adotada por estados e Distrito Federal, em respeito à sua autonomia federativa, constitucionalmente garantida.

Nos anos que seguiram a promulgação da Constituição Federal, os estados ocuparam um papel central na estruturação do novo modelo de gerenciamento de recursos hídricos. Em São Paulo, Ceará, Rio Grande do Sul, entre outros, consolidaram-se órgãos gestores, Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos e comitês de bacia. Os múltiplos usos e o diálogo entre sociedade, usuários e governos e a descentralização na gestão dos recursos hídricos começava a tomar forma.

No mesmo período, no contexto internacional, a Conferência de Dublin de 1992, preparatória para a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Cnumad), a Rio-92, estabeleceu quatro princípios fundamentais

para a gestão sustentável da água, assim sistematizados: *i)* a água doce é um recurso finito e vulnerável, essencial para a manutenção da vida, para o desenvolvimento e para o meio ambiente; *ii)* o seu gerenciamento deve ser baseado na participação de usuários, planejadores e formuladores de políticas, em todos os níveis; *iii)* as mulheres desempenham papel essencial na provisão, no gerenciamento e na proteção da água; e *iv)* o reconhecimento do valor econômico da água.

A importância estratégica deste insumo foi oficialmente reconhecida na *Conferência Internacional sobre Água e Desenvolvimento Sustentável, de 19 a 21 de março de 1998*, organizada em parceria com o Conselho Mundial da Água. A Declaração de Paris de 1998 explicita que a água é tão essencial ao desenvolvimento sustentável quanto à vida. Outra premissa básica, considerada no direcionamento dos trabalhos, foi a confirmação de que a água é um bem com valores econômico, social e ambiental, que estão inter-relacionados e se compensam mutuamente.

No Brasil, após um longo debate no Congresso Nacional, foi promulgada a Lei nº 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh). Os objetivos, os princípios e os fundamentos que passariam a guiar a gestão das águas no país estavam em estreita consonância com os debates internacionais, especialmente com o modelo francês de gestão dos recursos hídricos.

Um dos avanços do novo modelo foi sua desvinculação do setor elétrico, incorporando os princípios da gestão integrada e uma perspectiva de múltiplos usos, conforme apontam (CARRERA-FERNANDEZ; GARRIDO, 2003 p. 468):

Não se pode questionar a importância da energia elétrica como setor estratégico da economia brasileira. No entanto, deve-se também reconhecer que essa importância foi bem mais acentuada na época em que o país iniciava o desenvolvimento de sua indústria, o segmento que mais consome energia.

União e estados avançaram na implementação do aparato para administrar as águas de seu domínio, esbarrando em tensões corporativas e em ambientes

políticos externos muitas vezes instáveis. É fundamental reter da análise da gênese da Política Nacional de Recursos Hídricos que qualquer análise, avanço ou ajustes dessa política e de seus instrumentos está estritamente relacionada ao contexto político-econômico em que a mesma se inscreve. Compreender e acreditar na viabilidade de uma reflexão sobre a política de água e os seus desafios sem considerar os fatores externos a ela, em especial o contexto político e econômico do país, gera distorções e, provavelmente, soluções pouco efetivas.

5.3 GESTÃO DESCENTRALIZADA E PARTICIPATIVA

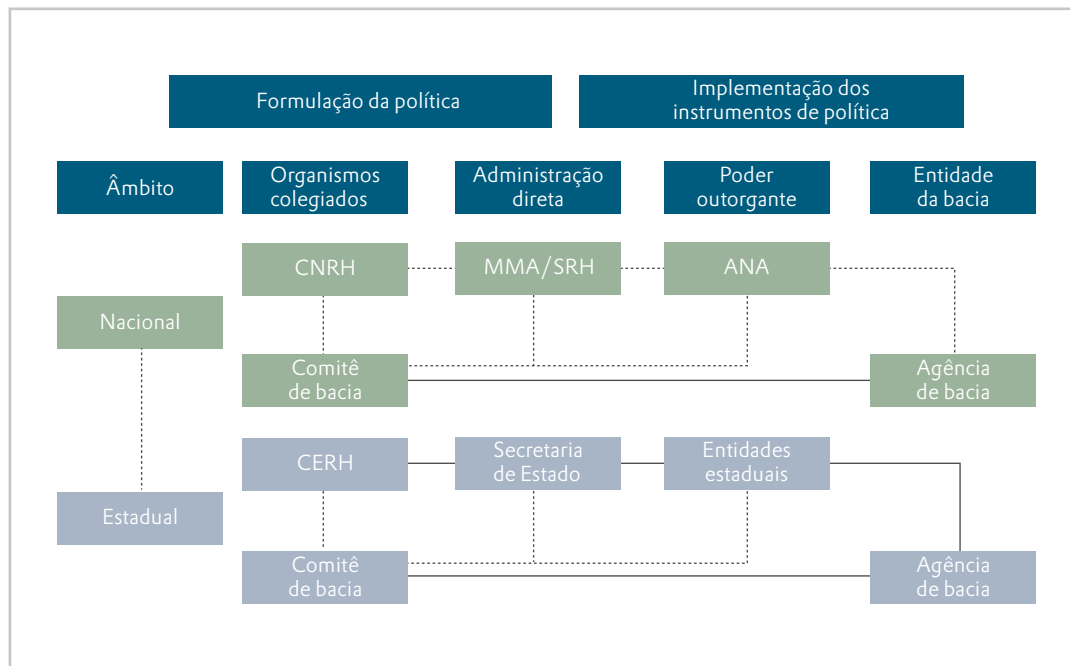
Desde a Constituição de 1988, a União passou a reestruturar a gestão de águas e a implementar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

O novo modelo foi estruturado de forma a contemplar a gestão participativa, na qual todos os *stakeholders* envolvidos devem participar das discussões e decisões relacionadas, de forma descentralizada no âmbito das unidades de planejamento e gestão que são as bacias hidrográficas.

Para tanto, a chamada **Lei das Águas**, criou os colegiados deliberativos, ou seja, os Comitês de Bacias Hidrográficas e o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), instância máxima do Singreh – instalado em junho de 1998, que ganhou visibilidade e destaque, reunindo lideranças estaduais, representantes dos setores usuários da água e de organizações da sociedade civil que atuam na agenda de recursos hídricos.

Em síntese, a estrutura atual do Singreh pode ser resumida na figura 47.

Figura 47 - Organograma da Política Nacional de Recursos Hídricos.



Fonte : MMA (2017), disponível em: <http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/sistema-nacional-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos>.

Para o adequado funcionamento e operacionalização do Sistema a Política Nacional de Recursos Hídricos, este conta com um conjunto de instrumentos, nos termos do art. 5º da Lei nº 9.433/97, conforme segue:

- os Planos de Recursos Hídricos;
- o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- a cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- a compensação a municípios (VETADO);
- o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Destes, destaca-se uma inovação na gestão das águas – a cobrança pelo uso dos recursos hídricos do país, instrumento econômico até então previsto no Código de Águas, mas nunca regulamentado. O rateio de custos das obras de uso múltiplo,

de interesse comum e coletivo foi vetado, deixando uma lacuna com relação à implementação de infraestruturas hídricas.

O Singreh e os seus instrumentos estão sendo implantados paulatinamente e regulamentados por meio de resoluções do CNRH. Construídas a partir de inúmeras reuniões e discussões nas Câmaras Técnicas do Conselho, as resoluções do CNRH orientam o ritmo da implementação dos instrumentos e do sistema e garantem uma harmonia, e não padronização, na aplicação dos instrumentos nas diferentes bacias hidrográficas.

Importante para compreender a dinâmica de implementação da Política de Recursos Hídricos e do funcionamento do Singreh é a relação entre os instrumentos e as competências deliberativas dos colegiados, conforme o quadro 4.

Quadro 4 - Instrumentos/Colegiados do SINGREH.

INSTÂNCIAS INSTRUMENTOS	COMITÊS DE BACIA	CONSELHO NACIONAL
Planos de Recursos Hídricos.	Aprova os planos de bacia (orienta a aplicação dos demais instrumentos).	Aprova o Plano Nacional.
Enquadramento dos cursos d'água.	Propõe ao CNRH.	Aprova.
Cobrança pelo uso da água.	Propõe mecanismos e valores ao CNRH.	Aprova.

Fonte: desenvolvido por Gemas CNI.

Observa-se que as instâncias colegiadas possuem poder deliberativo efetivo sobre instrumentos estratégicos para a gestão das águas das bacias hidrográficas. Nesse contexto, o diálogo com os órgãos gestores de recursos hídricos, responsáveis pela outorga de autorização para o uso das águas, é essencial. Considerando esse contexto, a Confederação Nacional das Indústrias (CNI) e as federações de indústria, além de terem uma efetiva participação como representantes, incentivam

e mobilizam o setor industrial a participar e acompanhar os colegiados de recursos hídricos.

A criação da Agência Nacional de Águas (ANA), por meio da Lei nº 9.984/2000, complementou o arcabouço da gestão de recursos hídricos no país, resultante das diretrizes políticas do projeto de modernização do estado adotado pelo país no final da década de 1990 e início de 2000. A regulamentação da delegação das competências de agência de bacia – Lei nº 10.881, de 2004, e a atribuição de competências à ANA para regulação dos perímetros públicos de irrigação, de obras de infraestrutura hídrica de múltiplos usos e de alguns aspectos da Política Nacional de Segurança de Barragens são relevantes para compreender o ambiente institucional do gerenciamento dos recursos hídricos. Mesmo sem estar prevista na estrutura inicial do Singreh, a ANA foi criada em um contexto de reformulação do aparelho do Estado brasileiro que previa uma divisão de funções entre a formulação de políticas e a regulação de mercados. A gestão das águas passaria a ter no núcleo estratégico do Estado, no MMA, uma estrutura para dar apoio à formulação de políticas públicas a serem deliberadas pelo CNRH. As atribuições da ANA estão vinculadas à implementação dos instrumentos da política em rios de domínio da União e o apoio à formação dos Comitês de Bacia Hidrográfica desses corpos de água (art. 4º da Lei nº 9.984/2000), além dos demais aspectos supracitados.

Como a água é um bem público inalienável, o ambiente do Singreh não se caracteriza por um mercado a ser regulado. Soma-se a esse aspecto o fato de estarem previstas na Lei nº 9.433/1997 agências técnicas de suporte aos comitês de bacia na gestão de recursos hídricos. A confusão de papéis tornou a ANA um híbrido entre uma superagência de águas, nos moldes preconizados no sistema francês, e uma agência reguladora conforme previa o modelo de reestruturação do Estado brasileiro, mas sem mercado para regular. Criou-se um ente de gestão forte, com recursos técnicos e financeiros importantes. A Agência passou a ter influência fundamental na formulação e adequação da política nacional e estaduais de águas.

Merece destaque o fato de a lei de criação da ANA prever um acréscimo de 0,75% à Compensação Financeira pela Utilização dos Recursos Hídricos (CMPFRH) a título

de cobrança pelo uso da água. Esse mecanismo, associado à decisão de não contingenciamento desses recursos desde 2012, garantiu uma receita firme, segura e importante ao gerenciamento das águas do Brasil. Isso possibilitou à ANA implementar programas de longo prazo que contribuiriam, sobremaneira, na consolidação da gestão das águas. Por outro lado, o setor elétrico, importante usuário, passou a não compor a cobrança pelo uso da água no âmbito das bacias hidrográficas, impactando o financiamento da implementação dos planos de bacia.

Os estados também avançaram aperfeiçoando suas leis ou mesmo editando legislações específicas para administrar as águas de seu domínio. Os conselhos estaduais de recursos hídricos atuaram na regulamentação dos instrumentos das políticas estaduais. A criação de comitês de bacia e rios do domínio dos estados ganhou força, sendo responsáveis por importante processo de mobilização social para a gestão dos recursos hídricos. Em linhas gerais, a grande maioria dos estados segue o modelo adotado pela União, mas sem uma capacidade institucional semelhante. Essa dinâmica tem acarretado significativo desbalanceamento de meios e recursos no âmbito do Singreh. A discrepância entre a vultosa estrutura organizacional da ANA, frente às limitações dos órgãos estaduais, prejudica o integral funcionamento do Singreh. Programas como o Pró-Gestão e o Pró-Comitês endereçam esforços para superar esses desafios, mas os potenciais efeitos perversos dos mesmos devem ser analisados com cautela e visão estratégica.

A regulamentação da legislação federal relacionada à gestão de recursos hídricos manteve nebulosa a definição de competências entre estados e União, mas caracterizou-se por preconizar um modelo inovador frente à estrutura segmentada do Estado brasileiro. A descentralização e a participação assumidas como princípios da gestão de recursos hídricos proporcionaram explicitar inúmeros obstáculos de aparência “técnica e burocrática” para o efetivo compartimento de poder com a sociedade. A análise desse movimento é de fundamental importância, visto que o modelo preconizado na PNRH nem sempre está condizente com as lógicas de cooperação e de resolução de conflitos nas situações em que se pretende aplicá-lo.

A implantação completa da Política Nacional de Recursos Hídricos ainda configura-se em um desafio para o Estado brasileiro. As ações empreendidas até o presente momento provocaram transformações em lógicas historicamente estabelecidas da gestão das águas. Em algumas situações específicas, o aparato legal auxilia a resolução de conflitos no uso da água, em outras, são necessárias soluções alternativas, como as associações de usuários da água de infraestruturas hídricas. Inovações, como as alocações negociadas de água, os marcos de alocação de água, as regras de restrição de uso associadas à medição dos níveis dos cursos de água e reservatórios, passaram a ser experimentadas com maior vigor a partir das prolongadas estiagens no Nordeste desde 2012 e da crise vivenciada na região Sudeste em 2014/2015 com repercussões relevantes.

O Brasil, seguindo uma tendência internacional, possui uma política de gestão de recursos hídricos bastante completa, com espaços para a articulação de políticas setoriais nos seus diferentes níveis de atuação: nacional, estadual e bacias hidrográficas. Mesmo assumindo a PNRH como marco de referência, considera-se que a gestão pública das águas é mais ampla do que o previsto na legislação de recursos hídricos. A gestão pública das águas será compreendida pela interface de um conjunto de ações de diversas políticas públicas, setoriais e transversais, que tem no aumento da disponibilidade quali-quantitativa de água seu fim.

Para o setor industrial, é importante que a disponibilidade de água considere os múltiplos usos. A gestão dos recursos hídricos deveria garantir disponibilidade de água para atender aos diferentes elos das cadeias produtivas, o fornecimento de energia a partir da hidroeletricidade e o bom funcionamento dos modais de transporte hidroviário, bem como a manutenção das atividades pesqueira e os requisitos ambientais. Além disso, nesse contexto, é essencial um serviço de saneamento eficiente, que reduza sistematicamente suas perdas de água e o aporte de efluentes não tratados nos corpos hídricos, bem como fornece a água em condições e preços estáveis e razoáveis ao contingente de pequenas e médias empresas ligadas às redes públicas de abastecimento de água.

Além desse desafio particular, o estudo da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico sobre a Governança dos Recursos Hídricos no Brasil aponta um conjunto de desafios para consolidar a gestão descentralizada participativa das águas, das quais destacamos: *i)* a efetividade dos Planos de Recursos Hídricos; *ii)* a dificuldade de articulação transversal entre políticas públicas; *iii)* o distanciamento dos municípios do gerenciamento dos recursos hídricos; e *iv)* as capacidades limitadas de implementação de ações dos comitês de bacia e entidades delegatárias, frente às políticas setoriais.

5.4 REPRESENTAÇÃO DO SETOR INDUSTRIAL NOS SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

O novo modelo de gerenciamento dos recursos hídricos tem por mérito a possibilidade de participação da sociedade civil nas discussões e definições da gestão pública, cujos fóruns principais de debates são os comitês de bacias hidrográficas.

O Comitê de Bacia Hidrográfica é, por definição, um colegiado deliberativo, no qual tem assento os Poderes públicos, os usuários de água e a sociedade civil organizada, com paridade de participação e de voto. Sua principal atribuição é a aprovação de um Plano de Recursos Hídricos para a bacia hidrográfica, no qual são estabelecidas as prioridades de ações, programas, projetos, obras e serviços para recuperação e preservação da qualidade e da quantidade dos recursos hídricos, bem como a identificação dos investimentos necessários.

Entre as inovações da legislação, além dos colegiados deliberativos, foi implantado o conceito do poluidor – pagador e do usuário – pagador, prevendo-se a arrecadação de recursos financeiros por meio da instituição da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, objetivando a promoção do uso racional da água, controlando perdas e desperdícios e combatendo a poluição, bem como a obtenção dos recursos financeiros necessários à execução dos planos de recursos hídricos.

Nesse contexto, o Comitê de Bacia Hidrográfica assume papel estratégico ao aprovar o Plano de Bacia e, principalmente, ao estabelecer os valores a serem cobrados dos setores usuários, que poderão ser diferenciados por bacia hidrográfica, por segmento, por usuário e por finalidade de uso, entre outros critérios. Esse novo arcabouço institucional acarreta sérias implicações aos setores produtivos, em especial à questão da outorga de direitos de uso e à correspondente cobrança pelo uso da água.

Ocorre que, por ser um modelo recente, que se encontra em fase de implantação, a sociedade civil e os setores usuários de recursos hídricos ainda não internalizam os conceitos, a sistemática de funcionamento e, principalmente, os reflexos e impactos econômicos decorrentes. Por ser um sistema pioneiro, os setores envolvidos estão em processo de capacitação de seus representantes, em todos os seus aspectos:

- Legais: para o conhecimento da legislação e discussão da regulamentação decorrente.
- Técnicos: para a compreensão das questões de demanda, disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos.
- Administrativo: competência e o papel dos órgãos gestores e dos colegiados.
- Econômico – financeiros: para o cálculo dos valores a serem cobrados e os impactos nos setores usuários.

Tanto a CNI quanto as Federações de Indústria desenvolvem programas de capacitação dos representantes do setor industrial para uma participação consistente e mais efetiva nos colegiados – conselhos e comitês de bacias e suas respectivas câmaras técnicas, bem como fomentam as participações desses representantes nas discussões dos colegiados de recursos hídricos (comitês de bacia e conselhos) e, dessa forma, contribuem para melhor qualificação da gestão dos recursos hídricos no país.

A participação do setor industrial nos Sistemas Nacional e Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos está em pleno processo de avanço, numa postura de estreita cooperação nos colegiados, discutindo e buscando soluções para a

construção de um modelo de desenvolvimento que contemple os princípios de sustentabilidade social, econômica e ambiental.

O setor considera que o grande mérito desse novo paradigma é o compartilhamento das decisões no âmbito dos colegiados, pois permite a participação da sociedade civil organizada e, em especial, dos setores usuários nas deliberações decorrentes, seja na priorização das ações, programas e intervenções necessárias, seja na definição dos valores de cobrança pelo uso da água a serem estabelecidos. Reconhecendo essa importância e o desafio que esse modelo impõe à sociedade, o setor industrial passou a organizar a sua participação no Singreh por meio da Rede de Recursos Hídricos da Indústria, coordenada pela Confederação Nacional da Indústria.

Atualmente, o setor industrial conta com mais de 500 representações em colegiados de recursos hídricos, considerando o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, conselhos estaduais e distrital, comitês de bacia de rios do domínio da União e dos estados e respectivas câmaras técnicas. Esse grande contingente de técnicos e dirigentes do setor industrial, envolvido cotidianamente na gestão das águas do país, demonstra o reconhecimento e o apoio do setor ao modelo de gestão estabelecido. Dessa forma, indústria aporta conhecimento técnico, capacidade de articulação e reconhecimento político aos colegiados de recursos hídricos, fortalecendo-os como espaços privilegiado para debater e encaminhar as soluções relacionadas aos usos e à conservação das águas.



6

ANEXO

Documentos de referência integrantes do Programa de Prevenção à Poluição (IPPC), que podem ser acessados no site: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>

- Unidades de combustão de grande porte (Large Combustion Plants LCP);
 - Refinarias (Mineral Oil and Gas Refineries REF);
 - Produção de ferro e aço (Production of Iron and Steel IS);
 - Indústria de processamento de metais ferrosos (Ferrous Metals Processing Industry FMP);
 - Indústria de processamento de metais não ferrosos (Non Ferrous Metals Industries NFM);
 - Fundições e forjarias (Smitheries and Foundries Industry SF);
 - Tratamento de superfície de metais e plásticos (Surface Treatment of Metals and Plastics STM);
 - Industrias de cimento, óxidos de cal e magnésio (Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries CLM);
 - Manufatura do vidro (Glass Manufacturing Industry GLS);
 - Indústria de manufatura cerâmica (Ceramic Manufacturing Industry CER);
 - Indústria química de grande porte (Large Volume Organic Chemical Industry LVOC);
 - Indústria de química fina (Manufacture of Organic Fine Chemicals OFC); 309
-

- Produção de polímeros (Production of Polymers POL);
- Indústria de cloro-alkali (Chlor-Alkali Manufacturing Industry CAK);
- Indústria química de grande porte – Amônia, ácidos e fertilizantes (Large Volume Inorganic Chemicals

– Ammonia, Acids and Fertilisers Industries LVIC-AAF);

- Indústria química inorgânica de grande porte – sólidos e outras tipologias (Large Volume Inorganic

Chemicals – Solids and Others industry LVIC-S);

- Produção de especialidades químicas (Production of Speciality Inorganic Chemicals SIC);

- Sistemas de tratamento de efluentes e gases no setor químico (Common Waste Water and Waste Gas

Treatment/Management Systems in the Chemical Sector CWW);

- Indústrias de tratamento de resíduos (Waste Treatments Industries WT);

- Incineração de resíduos (Waste Incineration WI);

- Gestão de atividade de curtimento, resíduos de rocha e mineração (Management of Tailings and

Waste-Rock in Mining Activities MTWR);

- Indústria de celulose e papel (Pulp and Paper Industry PP);

- Indústria têxtil (Textiles Industry TXT);
- Curtimento de couros e peles (Tanning of Hides and Skins TAN);
- Matadouros e indústrias de subprodutos animais (Slaughterhouses and Animals By-products Industries SA);
- Indústrias de bebidas, alimentação e produtos lácteos (Food, Drink and Milk Industries FDM);
- Criação de aves e suínos (Intensive Rearing of Poultry and Pigs IRPP);
- Tratamento de superfície com solventes orgânicos (Surface Treatment Using Organic Solvents STS);
- Sistemas industriais de resfriamento (Industrial Cooling Systems ICS);
- Emissões oriundas de estocagem (Emissions from Storage EFS);
- Eficiência energética (Energy Efficiency ENE).

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Diretoria de Relações Institucionais – DRI

Mônica Messenberg Guimarães
Diretora

Gerência Executiva de Meio Ambiente e Sustentabilidade – GEMAS

Shelley de Souza Carneiro
Gerente-Executivo

José Quadrelli Neto
Percy Soares Baptista Neto
Rafela Aloise de Freitas
Equipe Técnica

Diretoria de Comunicação – DIRCOM

Carlos Alberto Barreiros
Diretor de Comunicação

Gerência Executiva de Publicidade e Propaganda – GEXPP

Carla Gonçalves
Gerente-Executiva de Publicidade e Propaganda

Walner Pessoa
Produção Editorial

Diretoria de Serviços Corporativos – DSC

Fernando Augusto Trivellato
Diretor de Serviços Corporativos

Área de Administração, Documentação e Informação – ADINF

Maurício Vasconcelos de Carvalho
Gerente Executivo de Administração,
Documentação e Informação

Alberto Nemoto Yamaguti
Normalização

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP

Departamento de Meio Ambiente - DMA

Nelson Pereira dos Reis
Diretor Titular

Anicia Aparecida Baptistello Pio
Gerente

Priscila Rocha
Cláudia Gomes
Equipe

CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REÚSO DE ÁGUA - CIRRA

Ivanildo Hespanhol
Diretor Presidente

Alexandre Magno Barbosa Moreira
Anicia Aparecida Baptistello Pio
Carlos Filartiga
Ivanildo Hespanhol
Luana Lisboa
Percy Soares Baptista Neto
Simone May
Zeila Piotto
Autores

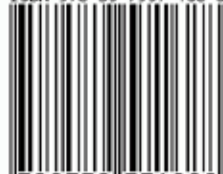
Maria de Lourdes P. Santos
Organização

AMR Design
Projeto Gráfico e Diagramação

Danúzia Queiroz
Revisão gramatical



ISBN 978-85-7957-168-8



9 788579 571688

Apoio:



Realização:



Confederação Nacional da Indústria

CNI. A FORÇA DO BRASIL INDÚSTRIA