O CUSTO DA ÁGUA LIMPA

LEVANTAMENTOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Tradução do Eng.º MAX LOTHAR HESS

INTRODUÇÃO

Os levantamentos de despejos industriais têm por finalidade descrever as fontes e a quantidade de poluentes produzidos por dez tipos de industrias escolhidas. O objetivo dêsses levantamentos é o de aparelhar a indústria e as autoridades governamentais com informações sôbre custos e possibilidades relativas a uma ação efetiva em tôrno dos problemas de poluição industrial das águas. São fornecidas informações sôbre os custos e a eficiência dos métodos possíveis de redução dos despejos líquidos através da alteração de métodos de produção, pela intensificação de vários métodos de tratamento e pelo aumento da utilização de resíduos na obtenção de subprodutos ou a reutilização da água nos processos de fabricação. São também descritas modificações de métodos de produção e de tratamento empregados no passado e a serem aplicados no futuro.

É possível que as informações contidas nesses levantamentos não sejam diretamente aplicáveis na avaliação do custo ou da carga poluidora de uma determinada indústria. Entretanto, espera-se que êsses levantamentos, fornecendo um quadro generalizado para a análise das situações individuais de cada fábrica, poderão estimular os esforços da indústria para encontrar métodos mais eficientes de reduzir os seus despejos do que os geralmente empregados hoje em dia.

1. ALTOS-FORNOS E ACIARIAS

SUMARIO DO RELATÓRIO

O ferro gusa é produzido no alto-forno, utilizando como matérias primas minério de ferro, coque e calcário. O aço é produzido numa grande variedade de processos, tais como os fornos de revérbero, os fornos básicos de oxigênio, os fornos elétricos e o conversor de Bessemer. Os processos modernos de produção de aço utilizam grandes porcentagens de sucata de aço, além de gusa e vários elementos formadores de ligas.

O aço fundido é moldado em lingotes e transportado aos laminadores primários onde são obtidos perfis semi-acabados, tais como barras, tarugos e placas. As placas e os tarugos podem ser obtidos diretamente por meio dos modernos processos de fundição contínua. Os produtos semi-acabados são levados a laminadores secundários onde sofrem ulterior transformação em outras formas como chapas, fitas, vigas, laminados para estruturas, trilhos e tubos. No decorrer da laminação são necessárias operações de limpeza para remover as películas de óxido, impurezas e óleo. As operações de limpeza compreendem lavagem com água, jato de abrasivos, decapagem ácida e o uso de detergentes e solventes.

Tradução autorizada para a Organização Panamericana de Saúde, pelo Ministério do Interior dos Estados Unidos da América do Norte — Superintendência Federal de Contrôle da Poluição das Águas.

Uma determinada fábrica poderá fornecer como seu produto final ferro ou aço produzido em qualquer estágio de fabricação. Entretanto, há muitas fábricas que prosseguem no acabamento dos produtos secundários por meio de tratamento a frio, galvanização, estanhagem, eletrodeposição, têmpera, polimento etc. As grandes siderúrgicas operam fornos de coque, produzindo coque metalúrgico a partir da hulha, uma vez que essa matéria prima é empregada em quantidades muito grandes.

Em quase tôdas as operações siderúrgicas resultam despejos líquidos de significado sanitário. Os resíduos das siderúrgicas são compostos principalmente de sólidos suspensos, óleos, águas quentes, ácidos residuários, soluções para eletrodeposição e substâncias químicas orgânicas dissolvidas. Uma peculiaridade dos despejos líquidos das siderúrgicas, em comparação com outros resíduos industriais, é a vazão enorme dos efluentes.

O principal despejo líquido do alto-forno é a água utilizada na lavagem dos gases que deles saem, a fim de libertá-los de sólidos suspensos. Despejos semelhantes resultam das instalações de sinterização que normalmente fazem parte do departamento de altos-fornos. Êstes resíduos são produzidos principalmente em conseqüência das operações necessárias ao contrôle da poluição do ar. Entretanto o gás de altos-fornos precisa ser purificado a fim de permitir o seu uso como combustível. O principal poluente é o material sólido suspenso na água residuária. Durante a fabricação do aço originam-se águas residuárias na operação da lavagem dos gases expelidos, a fim de evitar a poluição do ar. Êstes despejos líquidos são semelhantes às águas de lavagem do gás de alto-forno e são produzidas principalmente nos fornos modernos de fabricação de aço.

As máquinas de fundição contínua e os laminadores a quente produzem águas residuárias que contêm sólidos em suspensão, óleos e sujidades. As operações de limpeza produzem despejo líquidos contendo óleos saponificados, impurezas substâncias alcalinas e resíduos de solventes. O despejo mais importante da operação de limpeza é o líquido residuário da decapagem, que é composto de soluções de vários ácidos e dos sais de ferro oriundos dêsses ácidos. O problema de mais difícil solução quanto às águas residuárias dêsse tipo de indústria reside nas soluções residuárias da decapagem.

Os efluentes das operações de acabamento do aço contêm óleos emulsificados e sólidos suspensos, resultando principalmente da laminação a frio e da estiragem. As operações de tratamento de superfície, especialmente a eletrodeposição de estanho, além da galvanização e cromeação, produzem águas residuárias contendo metais em solução.

A fonte principal de poluição reside nas águas de lavagem. Os despejos das usinas de coqueificação têm sua origem nos resíduos das colunas de destilação de amônia, nas operações de apagamento do coque, na águas de decantação de óleos leves e nos efluentes da lavagem com ácido; contêm fenóis, cianetos, amônia e cloretos. Essas substâncias podem aparecer algumas vêzes nas águas de lavagem de gás de alto-forno, quando as águas residuárias da usina de coqueificação são utilizadas para apagar o coque.

Durante o ano de 1964 a indústria siderúrgica norte-americana teve um consumo bruto de 14.500.000 m³ de água. A quantidade bruta de água utilizada, incluindo a recirculação e a reutilização, foi de quase 21.000.000 m³. O total de água recuperada foi de 42,1%. A recirculação de água de refrigeração é avaliada em 52,2% e a reutilização de água de processo de 18,1%. O emprêgo da água pela indústria siderúrgica está resumido no quadro seguinte, relativo ao ano de 1964. Os volumes são dados em milhões de m³.

Processo de fabricação	Água de processo	Água de refrigeração
Altos-fornos	1.045	2.220
Fornos de revérbero	4	1.860
Fornos básicos de oxigênio	30	140
Fornos elétricos	4	240
Laminadores a quente e semelhantes	1.775	1.775
Laminadores a frio e semelhantes	1.000	—
Usinas de coqueificação da hulha	23	2.400
Usos sanitário, caldeiras etc.	—	960
Sopradores, condensadores etc.	—	7.400
	3.881	16.995

A tendência geral da indústria do aço é em direção do emprêgo de subprocessos que produzam produtos de pêso unitário menor, em velocidades cada vez maiores, com uma quantidade mínima de operação manual. As unidades de fabricação em geral tendem a produzir os maiores tamanhos a fim de conseguir economias de escala.

O progresso na implantação da tecnologia moderna de processamento pode ser observada nos dados seguintes, relativos aos usos passados e projetados para o futuro de subprocessos selecionados, expressos em porcentagem de usinas que empregam cada um dêles.

Subprocesso	1950	1963	1967	1972	1977
Conversor de Bessemer	10,3	6,0	4,3	2,0	0
Fornos de revérbero	49,1	41,7	39,6	35,0	30,0
Fornos básicos de oxigênio (1)	0	7,3	13,7	25,0	35,0
Fundição em lingotes	49,9	49,9	51,1	50,0	40,0
Fundição contínua (1)	0	1,3	7,9	15,0	25,0

(1) **Tecnologia mais moderna.**

Problemas particularmente difíceis de serem resolvidos com relação aos despejos líquidos provêm de determinados subprocessos da indústria do aço, especialmente alguns dos métodos mais modernos de produção que são orientados para produções em alta velocidade e em grandes volumes. As águas de lavagem de gás de fornos de produção de ferro-manganês contêm partículas de tamanho menor do que um micron e que são extremamente difíceis de serem removidos por sedimentação. Êste tipo de forno produz também efluentes que contêm concentrações de cianetos maiores do que aquelas provenientes de águas residuárias de fornos de produção de ferro. Os despejos dos fornos básicos de oxigênio contêm partículas finamente divididas que são difíceis de tratar.

As águas residuárias de fornos de revérbero têm composição semelhante. As partículas extremamente finas contidas nas águas residuárias das fábricas mais modernas de produção de fitas a quente não podem ser separadas com rapidez suficiente em decantadores comuns e conferem coloração negra ou vermelha aos efluentes, mesmo que estejam contidas em pequenas concentrações. Os efluentes de laminadores a frio contêm óleos solúveis que necessitam de um tratamento muito difícil para sua remoção. Tais emulsões são particularmente estáveis quando se empregam detergentes na operação de laminação.

Os efluentes de usinas de coque apresentam problemas de contrôle de poluição muito difíceis de serem resolvidos. Os fenóis e cresóis podem ser reduzidos por processos relativamente simples, más é extremamente difícil reduzí-los até um ponto aceitável para o lançamento, na maioria dos casos.

Uma característica geral da indústria do aço relativa aos efluentes, que tornam os problemas de difícil solução, é o fato de se apresentarem em grandes volumes. A maioria dos demais casos de descargas de efluentes industriais não é da magnitude encontrada na indústria do aço. É difícil tratar um efluente com vazão de 600 a 1.600 litros por segundo. Não existe uma classificação das siderúrgicas, por tamanho, que seja aceita por todos. Baseada na análise de dados disponíveis, as categorias seguintes parecem razoáveis. Os dados indicam a porcentagem das usinas incluídas em cada categoria, em 1967.

Tamanho da indústria	Porcentagem de indústrias	Ton. de ling. prod./ano
Pequena ...	53,9	Menos do que 1.000.000
Média	15,2	1.000.000 a 2.000.000
Grande	30,9	Mais do que 2.000.000

Os níveis tecnológicos da indústria siderúrgica podem ser descritos de acôrdo com a prevalência relativa que certos subprocessos em uma usina determinada. Nem todos os subprocessos podem ser categorizados com facilidade. Os subprocessos considerados característicos do nível tecnológico são apresentados no quadro seguinte:

Subprocesso	Nível tecnológico
Fábrica de barras	Antigo e típico
Usina de sinterização ...	Típico e avançado
Fornos básicos de oxigênio	Avançado
Fundição contínua	Avançado
Estanhagem por imersão a quente	Antigo
Estiragem a frio	Típico e avançado
Desgazeificação a vácuo ..	Avançado
Fornos abobadados de coque	Antigo

Em seguida é dada a porcentagem de indústrias siderúrgicas, de acôrdo com o nível tecnológico e o tamanho da indústria, baseada nas mencionadas considerações e suposições.

NÍVEL TECNOLÓGICO

Tamanho da Indústria	Antigo	Típico	Avançado
Pequeno	32,0	54,7	13,3
Médio	30,0	55,7	14,3
Grande	27,9	34,9	37,2
T o t a l	30,4	48,7	20,9

As quantidades de resíduos, em quilogramos, produzidos por tonelada de lingote por dia, relativos à indústrias operando a vários níveis tecnológicos estão resumidos no quadro seguinte.

NÍVEL TECNOLÓGICO

Resíduo	Antigo	Típico	Avançado
Sólidos em suspensão	52	62	92
Fenóis	0,035	0,032	0,032
Cianetos	0,015	0,014	0,016
Fluoretos	0,016	0,016	0,016
Amônia	0,041	0,039	0,049
Lubrificantes	1,54	1,66	1,18
Ácidos livres	1,52	1,77	1,70
Ácidos combinados ..	5,65	6,6	6,3
Emulsões	0,166	0,207	0,58
Metais solúveis	—	0,040	0,041

Os volumes de águas residuárias produzidos por tonelada de lingote por dia estão resumidos abaixo para indústrias situadas em vários níveis tecnológicos.

Nível tecnológico	Volume de águas resid. em m^3/t
Antigo	41,4
Típico	42,0
Avançado	57,8

Na produção de ferro os subprocessos alternativos limitam-se às variações nos altos-fornos e sua operação, assim como, ao uso de sinterização. Não é provável que sejam adotados nos E.U.A., ao menos em extensão significativa, processos tais como a redução direta para substituir o alto-forno. Os subprocessos alternativos na fabricação do aço são o forno de revérbero com injeção de oxigênio e o forno básico de oxigênio. O forno elétrico tende a ser utilizado apenas para preencher alguns requisitos da fabricação de aços especiais e não é comumente utilizado como alternativa para a fabricação de aço.

A fundição contínua é uma alternativa em substituição às operações sucessivas de moldagem de lingotes, reaquecimento, laminação de barras e laminação de chapas ou tarugos. Operações de laminação a quente são recìprocamente alternativas, principalmente quanto ao tamanho e velocidade da instalação. Os métodos de condicionamento e de semi-acabamento do aço podem ser considerados como alternativas e incluem raspagem, esmerilhamento, polimento manual e máquinas de polimento a quente. As películas de óxido podem ser removidas do aço por meio de decapagem com ácido sulfúrico ou ácido clorídrico, ou pelo uso de jato de abrasivos. Essas técnicas podem ser consideradas como subprocessos alternativos.

A estanhagem pela imersão a quente e os processos eletrolíticos são optativos um em relação ao outro e também em relação à eletrodeposição do cromo. Os processos de imersão a quente e de galvanização eletrolítica são subprocessos alternativos.

A maioria das demais operações de fabricação do aço não têm subprocessos alternativos claramente definidos. De maneira geral pode-se afirmar que os subprocessos representativos das tecnologias mais modernas de operações de aciaria produzem maiores quantidades de águas residuárias do que os métodos de fabricação mais antigos. Esta característica das tecnologias modernas deve-se ao fato de que estão predominando os produtos mais leves, além do fato de que a indústria tende a produzir em maiores velocidades de fabricação. O volume de resíduos líquidos é proporcional à superfície do produto de aço exposto durante a laminação e acabamento, estando também em proporção com as áreas da interface gás/líquido nas operações de fabricação de ferro e de aço. As tecnologias mais modernas tendem a maximizar essas áreas e dessa maneira a gerar maiores cargas de resíduos. Entretanto, via de regra as novas instalações geralmente incorporam estações de tratamento de seus despejos e as descargas realmente verificadas dessas fábricas não são necessàriamente maiores nas indústrias modernas. Exceções a êstes casos geralmente são encontradas na fundição contínua e na limpeza com jato de abrasivos.

Êstes subprocessos mais recentes constituem alternativas à moldagem de lingotes etc., assim como à decapagem, respectivamente, e produzem menor quantidade de resíduos. Os altos-

fornos estão tornando-se cada vez maiores e cada vez mais freqüente o emprêgo de instalações de sinterização, devido à necessidade de maiores índices de produção e devido à degradação da qualidade dos minérios disponíveis. A sinterização reduz as perdas de material pulverulento através dos gases queimados dos altos-fornos, porém aumenta a carga total poluidora da usina. Os fornos básicos de oxigênio estão sendo construídos para substituir os fornos convencionais de revérbero. Entretanto os fornos de revérbero continuarão a ser empregados com injeção de oxigênio. Os fornos elétricos aumentarão lenta, porém constantemente, independentemente do crescimento da capacidade dos fornos básicos de oxigênio.

A fundição contínua ainda se encontra na infância nos Estados Unidos, porém está sendo colocada em operação comercial com freqüência cada vez maior. As grandes inversões necessárias às instalações de moldagem de lingotes, de fornos de reaquecimento e de laminadores primários não permitirá a adoção em grande escala dessa técnica no futuro próximo. Essa técnica não pode ser completamente substituída por outras operações em qualquer caso presentemente.

As usinas de laminação de chapas a quente estão se tornando maiores e mais rápidas e estão aptas a laminar chapas de calibre cada vez mais fino, devido à demanda de maior produção e às exigências do mercado de chapas delgadas. O polimento a quente está sendo usado com freqüência cada vez maior devido à exigência do mercado de produtos de melhor qualidade. O ácido clorídrico está sendo substituído pelo ácido sulfúrico a fim de se conseguir decapagem mais rápida e para produzir uma superfície de melhor aspecto no produto. A limpeza com jato de areia ou de granalha tem sido usada limitadamente para substituir a técnica de decapagem em virtude das inversões já aplicadas nas instalações de decapagem e em virtude das limitações de disponibilidade de máquinas.

A estanhagem e a galvanização eletrolítica substituem os processos de imersão a quente pelo fato de se conseguir maior produção com os processos mais modernos, assim como pela economia de metal depositado por unidade de superfície. Pelo menos um produtor está usando experimentalmente, em base comercial, a cromeação em lugar de estanhagem. O mercado potencial reside na indústria de material para enlatamento.

Os principais resíduos dessa indústria podem ser descritos em têrmos gerais como contendo sólidos em suspensão, óleos lubrificantes, ácidos, metais solúveis, emulsões e produtos químicos das usinas de coqueificação. Essas substâncias aparecem nos efluentes em várias combinações, dependendo das operações particulares de fabricação nas quais os despejos são produzidos. Por exemplo, os sólidos suspensos aparecem combinados com produtos químicos da usina de coqueificação nas águas de lavagem de gás de alto-forno. Aparecem sòzinhos nos efluentes das tôrres de lavagem de gás dos fornos básicos de oxigênio, aparecem combinados com óleos lubrificantes nos efluentes de laminadores a quente e com emulsões nos efluentes de laminadores a frio. Os processos de tratamento e a eficiência dêsses métodos de tratamento variam conforme a origem das águas residuárias e as combinações nas quais elas ocorrem.

Os sólidos em suspensão nas águas de lavagem de gás de altos-fornos e das usinas de sinterização podem ser removidos por sedimentação simples e por coagulação e sedimentação. Ambos os métodos permitem recirculação da água residuária. Um tratamento semelhante pode ser empregado para remover sólidos suspensos da laminação a quente, porém deve-se prever um tanque para a remoção de óleo flutuante. Os sólidos suspensos podem ser removidos dos efluentes de laminadores a frio por vários métodos de sedimentação, porém as emulsões presentes devem ser removidas antes da decantação.

Podem ser empregados separadores magnéticos para remover êsses sólidos sem ter que levar em consideração a emulsão. Os óleos e lubrificantes geralmente são removidos pela retenção durante um tempo adequado para permitir que o óleo assome à superfície, de onde êle é eliminado. Para a eliminação total dêsse óleo é necessário submeter o resíduo a um tratamento químico, resultando em absorção do óleo pelos flocos formados. As emulsões têm que ser quebradas a fim de permitir a separação do óleo e sua subida a superfície, de onde é removido. A quebra da emulsão é especialmente necessária na presença de detergentes que agem como estabilizadores de emulsões.

Os despejos ácidos podem ser dispostos em poços profundos, podem ser mantidos afastados dos efluentes através de técnicas de regeneração, ou podem ser tratados por neutralização com reagentes alcalinos. Nenhuma dessas técnicas é aplicada ao tratamento de águas ácidas de lavagem, as quais, embora diluída, contêm de 15 a 25% do ácido usado na decapagem. A disposição em poços profundos é limitada tanto pelas disposições legais vigentes no local para a disposição dos resíduos, em alguns casos, assim como por considerações de ordem geológica ou de outra natureza. Entretanto essa técnica está sendo usada cada vez mais freqüentemente, e muitas vêzes constitui-se na disposição mais eco-

nômica dos despejos ácidos. Os processos de recuperação de despejos ácidos, embora tècnicamente viáveis, não têm sido usados extensivamente, devido ao seu custo relativamente elevado. A recuperação de ácido clorídrico é tècnicamente mais fácil e mais econômica do que a de outros ácidos. A neutralização requer menos inversão de capital do que os processos de regeneração. O lôdo resultante não tem valor comercial e as despesas para sua disposição em lagoas são elevadas. A terra empregada para a acumulação do lôdo em lagoas geralmente se torna inadequada para um uso posterior.

Os metais solúveis encontrados nas águas de lavagem do tratamento superficial podem ser dispostos em poços profundos e por métodos de permuta iônica. A combinação dêsses efluentes com resíduos ácidos e neutralização subsequente, seguido da disposição em lagoas, é outro tratamento possível. Os compostos químicos presentes nos efluentes de usinas de coqueificação da hulha são freqüentemente reduzidos pelo seu uso no apagamento do coque incandescente; entretanto alguns dêsses materiais aparecerão nas águas de lavagem dos gases de alto-forno. Pode-se empregar a disposição pela injeção em poços profundos, assim como é possível reduzi-los através de tratamento biológico. Êste apresenta boa eficiência na remoção dêsses materiais dos efluentes.

As instalações de tratamento devem ser operadas apropriadamente a fim de se conseguir realizar uma redução efetiva de materiais poluentes. Muitas indústrias têm em funcionamento estações de tratamento de despejos industriais eficientemente operadas e sujeitas ao contrôle rigoroso quanto à atuação dos operadores. Outras, entretanto, freqüentemente confiam essas instalações a mãos inábeis, conseguindo desta forma resultados precários, mesmo que as instalações tenham sido construídas apropriadamente. Na determinação da carga poluidora de determinados processos de produção é da maior importância levar em conta a extensão da prática da recirculação da água de processo, assim como o grau de redução da poluição do ar, através da lavagem dos gases. Os despejos líquidos não podem ser eliminados pela recirculação da água de processo. Os processos de produção de aço gerariam pequenas quantidades de águas residuárias ou mesmo não as produziriam se não fôsse necessário lavar com água os gases resultantes. As soluções imprestáveis provenientes da decapagem de metais e os resíduos das usinas de coqueificação podem ser descarregadas nas rêdes urbanas de esgotos e tratadas em conjunto com os despejos domésticos. Esta técnica não é muito empregada pela indústria. Os ácidos podem atacar o material das tubulações dos coletores, assim como podem inibir os processos biológicos das estações depuradoras de esgotos. Os sulfatos podem causar corrosão nos coletores de concreto de determinados tipos. Os despejos da coqueificação da hulha podem inibir os processos de tratamento de esgotos em virtude da toxidez dos fenóis e cianetos. Os resíduos da decapagem têm que ser parcialmente neutralizados antes de sua descarga nos coletores municipais e a sua vazão tem que ser regularizada em relação aos volumes de esgotos aos quais são juntados. Os despejos de usinas de coqueificação devem ser adicionados controladamente a fim de não interferir com os processos de tratamento de depuração. A recuperação e utilização de subprodutos faz parte das operações de tratamento em certas indústrias de produção do aço.

Neste tipo de indústria não se consegue a recuperação e a utilização de subprodutos com o fito de obter algum material de valor comercial a partir das substâncias que compõem as águas servidas, e provàvelmente não serão desenvolvidos processos para obtê-los. A explicação disto reside no fato de que a fabricação do aço se enquadra na chamada indústria pesada, em que tanto as matérias primas empregadas, quanto os produtos manufaturados, são de baixo preço por unidade de pêso. Não tem sentido empreitar processos dispendiosos na recuperação dêste tipo de material.

Os sólidos em suspensão removidos da água de lavagem do gás de alto-forno, assim como a carepa de laminação são aglutinados por sinterização e reutilização na fabricação de gusa ou de aço. Os óleos recuperados das soluções empregadas nos laminadores a frio são reutilizados na laminação ou então são vendidos para terceiros. O ácido regenerado das soluções para decapagem volta para os tanques originais.

Alguns outros subprodutos são recuperados durante a limpeza de colunas de lavagem de gás, com o que se consegue reduzir a carga poluidora muito adiante do ponto de lançamento dos efluentes. Na remoção da amônia do gás da coqueificação da hulha com ácido sulfúrico, obtém-se sulfato de amônio. O fenol é recuperado dos fornos de coque pela recirculação do vapor ou pela extração com solventes. Algumas indústrias recuperam sulfato ferroso do líquido de decapagem. Uma ou duas indústrias conseguem fornecer êste líquido à indústria química ou à de pigmentos.

Durante os oito anos que medeiam entre 1955 e 1963, a produção de aço nos E.U.A. cresceu de 125 para 155 milhões de toneladas anuais. No decorrer dêsse período, a indústria inverteu perto de 1,42 bilhões de dólares por ano, redu-

zidos os preços aos vigentes em 1965. Esta importância foi aplicada na construção de fábricas e na aquisição de equipamentos. Estima-se que o valor de reposição de fábricas e equipamentos, em 1968, montava a 60 bilhões de dólares, correspondente à média de cêrca de US$ 387 por tonelada anual de lingotes. O valor do equipamento mais antigo, usado na produção de material mais pesado por unidade, alcança perto de 2/3 dêste valor médio, enquanto que os equipamentos mais modernos, produzindo produtos de pêso unitário menor, excede em 1/3 aquêle valor.

O valor de reposição das instalações de tratamento de despejos industriais construídas em 1966 está avaliado em 865 milhões de dólares, ou seja, 1,44% do valor total invertido em fábricas e equipamentos.

Afirma-se que o custo das estações de tratamento de despejos de siderúrgicas construídas mais recentemente, ascende a 6% do custo total da indústria. Informa-se que o custo das instalações de tratamento em uma siderúrgica integrada que emprega altas taxas de recirculação de água com um mínimo de tratamento, está situado em tôrno de 4,5% da inversão total nas unidades de produção.

Os custos de operação das estações de tratamento de despejos industriais, assim como os das instalações para os processos de fabricação podem ser considerados em têrmos de despesas diretas e indiretas. Despesas diretas compreendem mão-de-obra, supervisão, manutenção e suprimento; despesas indiretas compreendem amortização, despesas gerais, impostos e prêmios de seguro. Tomando por base uma indústria de tamanho médio, as porcentagens estimadas de indústrias que empregam determinado tipo de tratamento de resíduos, a produção anual de 120 milhões de toneladas de lingotes de aço e as quantidades de despejos citados neste trabalho, as despesas anuais desembolsadas pela indústria siderúrgica para o tratamento de despejos, em 1966, foram as seguintes:

Parcela do custo	Valor em 1966	Por tonelada de lingote
Direto	US$ 90.104.240	US$ 0,667
Indireto	53.815.670	0,398
Créditos	53.601.860	0,397

O custo de mão-de-obra de operação na indústria do aço alcança aproximadamente 54% do valor total da manufatura, sendo êste cêrca de US$ 78,50 por tonelada de lingote, base de 1966. O valor dos materiais, suprimentos, fretes e outros serviços montou a aproximadamente US$ 60,50 por tonelada de lingote, o que representa despesas diretas de operação e manutenção de US$ 102,90 por tonelada de lingote, base 1966. As despesas diretas para o tratamento dos despejos industriais são desta maneira estimados em cêrca de 0,65% das despesas diretas de produção.

Os custos médios de tratamento não podem ser aplicados a determinadas indústrias sem a consideração cuidadosa de todos os fatores envolvidos. O custo de coleta e transporte dos resíduos até o local do tratamento pode ser desprezível em uma fábrica e pode exceder todos os demais custos em outra. A idade da indústria e especialmente a existência de área disponível para o tratamento são fatôres importantes a serem considerados nos custos da depuração. De maneira geral, o custo do tratamento é 135% da média em siderúrgicas antigas, com pouco espaço disponível, enquanto que nas indústrias modernas êste valor pode ser reduzido para 70%.

Avalia-se a vida econômica das unidades de fabricação de uma indústria em 26 anos. A vida real de qualquer unidade de produção é muito difícil de ser definida, uma vez que algumas instalações são recondicionadas muitas vêzes antes de serem abandonadas definitivamente por obsolescência. (*) A vida real de cada uma das partes da instalação é extremamente variável. Uma instalação de neutralização do ácido poderá durar 10 anos, enquanto que um retentor de carepa de um laminador poderá alcançar 50 anos.

As estimativas de cargas poluidoras, volumes de despejos, métodos de produção e de tratamento, bem como os custos constantes do presente relatório são considerados descritivos. Não deve ser esquecida a extrema heterogeneidade dêste tipo de indústria. Cada indústria do gênero tem suas peculiaridades e as diferenças encontradas podem ser de importância crítica na caracterização dos problemas de água e de despejos.

(*) A vida média das estações de tratamento de despejos industriais é de 15 anos.

LEVANTAMENTOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

2. AUTOMÓVEIS E PEÇAS

SUMARIO DO RELATÓRIO

As indústrias de automóveis e conexos ocupam-se principalmente com a manufatura de carros, caminhões e ônibus, embora a maior parte das companhias produtoras de automóveis também esteja interessada na fabricação de outros produtos não relacionados com os veículos. Essas atividades não relacionadas com a produção de automóveis não são consideradas dentro do escopo dêste relatório.

Do número total de automóveis produzidos nos E.U.A., mais de 99% o são por 5 fábricas, que são a General Motors, a Ford Motor, a Chrysler, a American Motors e a Kaiser Jeep. A produção de caminhões e ônibus é distribuída entre um número maior de fabricantes, porém representando, em média, cêrca de 16% do número total de veículos produzidos nos Estados Unidos.

As operações de produção de veiculos podem ser classificadas, em geral, em produção de peças, montagem da carroçaria e montagem final. (*)

Cada um dos cinco fabricantes de automóveis citados possui suas próprias linhas de montagem final e de montagem de carroçarias. Os principais fabricantes também incorporam um certo número de fábricas de peças, embora certa quantidade de auto-peças seja manufaturada por indústrias independentes.

O escopo do presente relatório é de avaliar as necessidades de contrôle da poluição de uma parte da indústria de automóveis, a saber, as operações de montagem final, de montagem da carroçaria e a preparação das principais partes da carroçaria (operações de estampagem).

Além disso, são prestadas informações generalizadas e sôbre a ordem de grandeza da parte da indústria de veiculos correspondente a peças e acessórios. A avaliação total não foi possivel em virtude da complexidade desta parte da indústria e o tempo pôsto à disposição para completar o estudo.

A fim de simplificar esta apresentação, serão discutidas separadamente (1), aquelas operações associadas com a preparação das partes principais da carroçaria (estampagem), a montagem da carroçaria e a montagem final e (2) as mesmas operações associadas à produção de peças e acessórios.

ESTAMPAGEM, MONTAGEM DA CARROÇARIA E MONTAGEM FINAL

Para a produção de automóveis essas operações de estampagem, montagem de carroçarias e montagem final são totalmente executadas em fábricas de propriedade das cinco emprêsas já citadas. Para a produção de caminhões e ônibus existe um número adicional de produtores. As cinco companhias de automóveis já citadas possuem um total de 225 indústrias em operação (o número total exato varia de tempos em tempos). Dêste total, 25 podem ser consideradas como produzindo partes importantes da carroçaria (estampagem) e 68 podem ser encaradas como linhas de montagem (quer seja montagem de carroçarias ou montagem final ou operações combinadas de ambos). As restantes 132 fábricas são indústrias de peças que não estão no escopo da primeira parte do presente estudo. Além dos números citados existe um grande número de indústrias de peças de automóveis que não são de propriedade das cinco principais indústrias fabricantes de veículos. Por êste motivo êste relatório ocupar-se-á primeiramente com as necessidades de contrôle de poluição de 25 das maiores fábricas de peças de carroçaria (indústrias de estampagem) com as 68 linhas de montagem de automóveis e, ainda, com as operações semelhantes de produção de caminhões e ônibus.

O método de produção de caminhões e ônibus é semelhante ao método de produção de

(*) **As expressões montagem final e montagem de veículos são usadas de forma intercambiável.**

automóveis. Assim sendo, a discussão que seguirá, em geral será pertinente a ambos.

Na operação de estampagem para a produção das partes principais da carroçaria, o metal (normalmente chapas ou tiras de aço) é primeiramente cortado em tamanhos apropriados, sendo depois estampado na forma desejada, usando grandes prensas hidráulicas. No decorrer da operação de estampagem, normalmente são soldadas umas às outras as partes das peças estampadas.

Da operação de estampagem, as partes são enviadas à seção de fabricação de carroçaria. Na terminologia convencional da indústria, a carroçaria se refere à parte do alojamento do passageiro que fica atrás da parede corta-chamas, e a expresão não inclui as partes da extremidade dianteira tais como os paralamas dianteiros e o capô. Na linha de montagem da carroçaria esta é primeiramente construída com as partes metálicas estampadas (esta parte da fábrica de carroçarias é chamada de oficina de carroçaria) e depois é tratada e pintada (oficina de pintura). Em seqüência a essa operação, as peças de acabamento exterior e interior são adicionados na oficina de acabamento. As partes de acabamento externo e interno são produzidas em fábricas de peças.

Terminadas as operações de montagem da carroçaria, esta é transferida, em estado completo, para a linha de montagem final. Primeiramente faz-se a montagem do chassi, das rodas, do motor, da transmissão etc. Estas parte são produzidas em outra instalação. Em seguida êste chassis é montado e acoplado com a carroçaria já montada. Finalmente são adicionadas as partes da frente (paralamas, capô etc.) O capô, os paralamas etc. são estampados em uma instalação convencional de estampagem e são normalmente pintados na linha de montagem final.

As seções de estampagem são separadas das linhas de montagem final e da carroçaria. Na Ford e na Chrysler as linhas de montagem da carroçaria e de montagem final são normalmente combinadas. Na General Motors, a montagem da carroçaria geralmente é executada pela Divisão Fisher de carroçarias enquanto que a montagem final é executada em uma das divisões de montagem. Algumas vêzes as linhas de montagem da carroçaria e de montagem final estão localizadas na mesma área, caso em que são consideradas como uma indústria única. Em outros casos a linha de montagem da carroçaria e a linha de montagem final são operadas em locais separados.

RESÍDUOS SIGNIFICATIVOS

A. Instalação de Estampagem

Estas operações não produzem resíduos líquidos significativos por si mesmas. Nestas operações são utilizadas apenas pequenas quantidades de água. São usadas grandes quantidades de óleos (tanto lubrificantes quanto hidráulicos) e freqüentemente alguma parte dêstes vai ser encontrada invariàvelmente no sistema coletor de esgotos. O teor de óleo nos efluentes dessa parte da fábrica pode variar consideràvelmente em virtude da origem dos mesmos, que provêm de um grande número de pontos na indústria, e pelo fato de que a sua introdução no sistema coletor é de natureza múltipla. O material extraível por solventes pode variar de 50 miligramos por litro até vários milhares de miligramos por litro. A vazão de águas poluídas de processo, como já foi citado acima, é bastante baixa, variando de aproximadamente 8.000 até uns 40.000 litros por dia.

Nas operações de soldagem são utilizadas grandes quantidades de água de refrigeração. Emprega-se a recirculação de água em grande escala, de tal maneira que na maior parte das vêzes a descarga de água de refrigeração se restringe à purga do sistema de refrigeração. Esta descarga, entretanto poderá representar a parte mais importante dos despejos dessa indústria. Em instalações típicas de estampagem a descarga do sistema de refrigeração pode variar de 100 litros por minuto até 600 litros por minuto. A água da casa de fôrça (purga de caldeiras, descarga de instalações de tratamento de água para caldeiras etc.) também pode representar uma fonte de poluentes.

B. Linhas de montagem

As águas residuárias descarregadas das linhas de montagem final, das linhas de montagem de carroçarias ou de operações combinadas de ambos são do mesmo tipo geral. Estas águas podem ser definidas como despejos líquidos orgânicos, contendo sólidos em suspensão. Êstes materiais têm sua origem principalmente na seção de pintura e nas operações de polimento das pinturas.

Além dessas substâncias podem ser encontrados metais pesados, tais como o zinco e o cromo que se originam nas operações de tratamento das superfícies metálicas. Pode haver também presença de água de refrigeração e da casa de fôrça, porém a quantidade, em comparação com a descarga total da indústria, será

consideràvelmente menor do que as que provêm da seção de estampagem.

Em virtude das águas residuárias serem principalmente de natureza orgânica e por conterem sólidos em suspensão, elas apresentam certa semelhança com os esgotos sanitários, porém normalmente o teor de matéria orgânica (medido em têrmos de demanda bioquímica de oxigênio e de demanda química de oxigênio) e de sólidos suspensos, via de regra é mais alta do que a que é encontrada em esgotos tìpicamente domésticos.

Os processos dos quais resultam despejos líquidos são essencialmente uniformes através de tôda a indústria. No momento não se esperam processos novos que contribuam significativamente para aumentar a carga poluidora no futuro. Um processo novo, a saber, a pintura eletrostática, poderá resultar no futuro em uma redução da carga poluidora. Em uma operação tipica de pintura, emprega-se uma cortina de água a fim de reter as partículas de excesso de tinta que de outra forma poderiam sair do gabinete de pintura e causar poluição ambiental. A água dessa seção é reutilizada numerosas vêzes e depois descarregada e representa uma fonte importante de poluentes, principalmente de matéria orgânica e de sólidos em suspensão. Na pintura eletrostática há pouca perda por dissipação no ar, de tal forma que muitas vêzes é possível dispensar totalmente a cortina de água, eliminando desta forma esta fonte de poluentes. Parece que esta técnica não será muito empregada, no futuro próximo, como substituição do equipamento existente, mas provàvelmente será tentada a sua aplicação quando forem construídas novas instalações. Desta forma, provàvelmente não haverá uma contribuição significante na pintura de carroçarias na próxima década; mais tarde talvez se torne cada vez mais importante.

Em geral os processos que produzem despejos líquidos são uniformes em tôda extensão desta indústria; ùltimamente não houve modificação notável nesses processos e provàvelmente não haverá alterações significativas durante a próxima década, exceção feita da pintura eletrostática já referida. Igualmente não haverá distinção entre os processos empregados em indústrias pequenas e grandes, estando a diferença baseada principalmente na velocidade de produção e no número de horas de trabalho por dia.

Nesta base foram investigadas as quantidades médias de despejos produzidos por 100 carros, na montagem de carroçarias e na montagem final, sendo os resultados resumidos no quadro seguinte, para os itens pertinentes.

	kg/100 carros
Demanda química de oxigênio (DQO)	457
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	146
Cromo Hexavalente (CrO_4)	2,03
Cromo Trivalente (CrO_4)	0,94
Zinco (Zn)	0,52
Sólidos em suspensão	160

A vazão encontrada foi de 765 litros/100 carros. Os dados acima podem ser extrapolados para uma produção total de automóveis, no ano de 1963, de pouco mais de 7.600.000 unidades.

	Toneladas em 1963
Demanda química de oxigênio (DQO)	31.100
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	11.400
Cromo Hexavalente (CrO_4)	160
Cromo Trivalente (CrO_4)	70
Zinco (Zn)	40
Sólidos em suspensão	13.200

O volume total de despejos líquidos, durante 1963, foi de 60.000.000 m^3.

Êstes dados, multiplicados pelo fator de 1,16, ficarão compreendendo também a produção de caminhões e ônibus, obtendo-se o quadro seguinte:

	Toneladas em 1963
Demanda química de oxigênio (DQO)	36.000
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	13.300
Cromo Hexavalente (CrO_4)	186
Cromo Trivalente (CrO_4)	86
Zinco (Zn)	45
Sólidos em suspensão	15.700

Volume de águas residuárias: 70.000.000 m^3.

Embora não conste dêste resumo, no corpo do relatório foram feitas extrapolações para os anos de 1968-1972 e 1977.

Como já foi chamada a atenção em outro lugar dêste resumo, os dados que aqui figuram não incluem as operações da seção de estampagem. Com relação a estas o volume total de águas residuárias durante o ano de 1963 montou em aproximadamente 170.000 m^3.

PROCESSOS DE TRATAMENTO

A. Instalações de estampagem

Os processos de tratamento de resíduos das instalações de estampagem são de vários tipos. No caso de não ser necessário submeter ao tra-

tamento as águas provenientes da refrigeração, da casa de fôrça e de outros, e se fôr possível coletar os despejos separadamente, então o processo de tratamento se restringirá aos despejos concentrados e consistirá usualmente de um tanque de retenção de óleo e talvez um decantador para os sólidos em suspensão. Estas unidades poderão ser operadas descontinuamente. Por outro lado, se fôr necessário tratar a água de refrigeração que é proveniente da casa de fôrça ou se não fôr possível segregar os despejos concentrados dos diluídos, devem ser previstas unidades de decantação e de rentenção de óleo no final das rêdes de coleta de esgotos. A eficiência na remoção de sólidos em suspensão está compreendida entre 85 e 95%. Os mesmos limites se aplicam à retenção de óleo.

B. Linhas de montagem

As instalações típicas do tratamento dos despejos provenientes de linhas de montagem compreenderão clarificação química seguida de um processo convencional de tratamento biológico, como poderá ser o de lôdos ativados. Deve ser prevista uma instalação para redução de cromo hexavalente, ao passo que o cromo trivalente e outros metais pesados serão removidos durante a operação de precipitação química. A remoção de metais pesados, incluindo cromo, é pràticamente total. Normalmente a eficiência da remoção de matéria orgânica medida em têrmos de demanda química de oxigênio e de demanda bioquímica de oxigênio está entre os limites de 80 e 95%, enquanto que os sólidos em suspensão são removidos na proporção de 85 a 95%.

Podem ser empregadas algumas variantes dos métodos expostos, sendo essas técnicas detalhadamente descritas no corpo do relatório.

Uma vez que as águas residuárias de linhas de montagem são bàsicamente de natureza orgânica, elas poderão ser enviadas às estações de tratamento de esgotos municipais. Entretanto, via de regra é necessário um ajuste de pH e a remoção dos metais pesados, incluindo o cromo. Os teores de demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio e sólidos em suspensão são comumente mais elevados do que os teores encontrados em esgotos sanitários convencionais.

Como conseqüência, normalmente, prevê-se um pré-tratamento a fim de eliminar o excesso de sólidos em suspensão (alguma parte do material orgânico será removido junto com êstes sólidos). Após tal pré-tratamento, geralmente as indústrias preferem descarregar os efluentes nos sistemas municipais de coleta de esgotos, onde isso fôr possível, em lugar de ter o seu próprio tratamento biológico secundário dentro da indústria.

RESUMO DOS CUSTOS

Foram estudados os custos de capital e de despesas de operação para as intalações de estampagem e para as linhas de montagem. Os custos relativos às instalações de estampagem geralmente são independentes do tamanho dessa instalação, enquando que os custos das linhas de montagem estão em função do tamanho. No caso de linhas de montagem estas foram classificadas em pequenas, médias e grandes.

A informação obtida está resumida nos Quadros 1 e 2.

PEÇAS E ACESSÓRIOS

Nos E.U.A. existem aproximadamente 1700 indústrias de peças e acessórios. Elas produzem uma multiplicidade de peças por meio de uma grande variedade de processos. Não houve tempo suficiente para o levantamento completo das informações desta parte da indústria.

Revendo as peças componentes de um automóvel e as águas residuárias resultantes das operações de sua fabricação, esta indústria foi arbitràriamente dividida em duas categorias baseadas nas características dos despejos produzidos. A divisão é a seguinte:

A. Despejos contendo óleos em quantidades expressivas

Nas operações de usinagem o óleo é introduzido na água em conseqüência de operações de limpeza. Além disso os sistemas de óleo emulsionado devem ser periòdicamente descartados e limpos. São produzidas pequenas quantidades de fosfatos, metais, álcalis e sólidos durante essa operação.

O principal poluente das operações de fundição em coquilha é o óleo contido nas águas de refrigeração. Outro poluente é o constituído pelas aparas e sólidos resultantes da operação de esmerilhamento. Durante a operação de esmerilhamento são utilizados dispositivos de lavagem do ar a fim de remover as partículas suspensas; essa água tem que ser descartada periòdicamente.

Os principais poluentes da fabricação de rodas são os óleos. O óleo solúvel é utilizado como lubrificante e como agente de refrigeração durante as operações de repuxo. Êstes óleos têm que ser descartados periòdicamente.

QUADRO 1

CUSTOS DE CAPITAL (US$)
Base: 1966

Linhas de montagem	Custo	Número de fábricas	Total	Subtotais
Pequenas	$ 500,000	8	$ 4,000,000	
Médias	$ 835,000	48	$ 40,080,000	
Grandes	$ 1,370,000	12	$ 16,440,000	$ 60,520,000
Custo do sistema de coleta separada de despejos em 30 fábricas a US$ 300.000 por fábrica			$ 9,000,000	
				$ 69,520,000
Menos: Crédito pela dispensa de sistemas secundários [2]			$ 8,964,000	
				$ 60,556,000
Menos: Crédito por fábricas já instaladas			$ 14,500,000	
Total das linhas de montagem				$ 46,056,000
				$ 46,056,000
Instalações de estampagem				
Estimativa dos custos de capital:				
Caso I (v. nota de rodapé)	$ 150,000	7 [1]	$ 1,050,000	
Caso II	$ 175,000	6 [1]	$ 1,050,000	
Caso III	$ 50,000	6 [1]	$ 300,000	
Caso IV	$ 60,000	6 [1]	$ 360,000	
Custo do sistema de coleta separada de despejos				$ 2,760,000
em 11 fábricas a US$ 300.000 por fábrica			$ 3,300,000	
				$ 6,060,000
Menos: Crédito pelos sistemas já instalados			$ 600,000	
Total para instalações de estampagem				$ 5,460,000
Total para operações de estampagem e montagem				$ 5,460,000
Multiplicado por 1,16 para inclusão de caminhões				$ 51,516,000
e ônibus				$ 59,759,000
Somar 30% [3]			$ 18,000,000	$ 77,759,000

[1] Admitido 25% das instalações em cada categoria
[2] Admitido que 60% não os necessitarão em cada categoria

Custos secundários:	pequenas	$ 105,000	×	4.8 *	=	$ 504,000
	médias	$ 200,000	×	28.8 *	=	$ 5,760,000
	grandes	$ 375,000	×	7.2 *	=	$ 2,700,000
						$ 8,964,000

* N.º de fábricas
[3] Edifício de Contrôle, preparação do terreno, projeto e supervisão da construção

NOTA — Caso I: Tratamento dos despejos combinados, sem separação prévia de óleo; caso II: idem, com separação de óleo; caso III: tratamento só dos despejos concentrados, sem separação de óleo; caso IV: idem, com separação de óleo.

B. Despejos isentos de quantidades expressivas de óleo

O principal poluente originado pela fundição de metal em moldes de areia é constituído pelos sólidos em suspensão. Os despejos podem apresentar problemas de demanda bioquímica de oxigênio e de côr em vários graus de magnitude, provindo da matéria orgânica utilizada como aglutinante da areia e do breu empregado.

Os principais poluentes originados no processo de eletrodeposição são os álcalis, ácidos, cianetos e metais pesados tais como o cobre, o níquel e o cromo.

QUADRO 2

CUSTOS DE OPERAÇÃO
(300 dias por ano)
Base: 1966

Linhas de montagem	Custos US$/ano	Número de fábricas	Total	Subtotal
Pequenas	$ 47,900	8	$ 383,200	
Médias	$ 80,000	48	$ 3,873,600	
Grandes	$ 149,400	12	$ 1,792,800	
				$ 6,049,600
Mais: Custo estimativo para lançar o efluente secundário nos coletores municipais			$ 5,472,000	
				$ 11,521,600
Menos: Economia no custo da energia secundária			$ 500,000	
Total para linhas de montagem				$ 11,021,600
				$ 11,021,600
Instalações de estampagem				
Estimativa do custo de operação:				
Caso I	$ 14,700	7	$ 102,900	
Caso II	$ 17,700	6	$ 106,200	
Caso III	$ 7,050	6	$ 42,300	
Caso IV	$ 7,800	6	$ 46,800	
				$ 298,200
Total para instalações de estampagem				$ 298,200
Total para operações de montagem e de estampagem				$ 11,319,800
Multiplicado por 1.16 para inclusão de caminhões e ônibus				$ 13,130,000

			gal/dia
Pequenas	4.8	1×10^6	4.8×10^6
Médias	28.8	2×10^6	51.6×10^6
Grandes	7.2	4×10^6	28.8×10^6
Vazão total para a rêde pública			91.2×10^6 a $ 0.20/1000 gal = $ 18,240/dia = $ 5,472,000/ano

Os principais poluentes da fabricação de radiadores são ácidos e metais pesados, tais como cobre e zinco. A operação de laminação de metais produz descargas de óleo, caso seja utilizado; a operação de pintura gera descargas de sólidos e de solventes.

Os principais poluentes produzidos pela fabricação de baterias de acumuladores são ácido sulfúrico e chumbo. Descargas ácidas são originadas na operação de carga inicial. O chumbo provém da produção de pasta de sulfato de chumbo e da manipulação geral.

Os poluentes originados na fabricação de aparelhos condicionadores de ar são ácidos, metais pesados, como o alumínio, além de cromatos e fluoretos.

Os resíduos descarregados nas operações de peças feitas de plástico, provêm da pintura e da eletrodeposição de metais. Os despejos contêm sólidos, solventes, cobre, ácidos, níquel e cromo.

O poluente mais importante da fabricação de peças de borracha é constituído pelos sólidos em suspensão. Durante a vulcanização pode haver descargas de pequenas porções de matéria orgânica.

As quantidades e concentrações de poluentes originados na manufatura de pára-brisas são inexpressivas.

Os processos de tratamento dêsses resíduos, em linhas gerais, são os seguintes:

DESPEJOS CONTENDO ÓLEOS

Caso possa ser coletado separadamente o óleo solúvel, a instalação de tratamento poderá ser dividida em duas instalações paralelas. Uma das instalações consistirá em tanques de operação descontínua para a retenção e quebra das emulsões, seguida de precipitação química e decantação. A segunda das instalações seria um sistema de fluxo contínuo, incluindo ajuste de pH seguido de precipitação química e decantação.

Uma alternativa do processo seria uma unidade descontínua para a quebra de emulsões, cujo efluente seria misturado aos demais despejos da fábrica para ajuste final de pH e sedimentação coadjuvada por coagulantes.

DESPEJOS ISENTOS DE ÓLEO

Resíduos com sólidos e DBO

As instalações para tais despejos consistiriam de uma lagoa para a sedimentação dos sólidos, dimensionada de maneira a reduzir a carga da DBO através da reaeração natural.

Resíduos da galvanização

Instalações aplicáveis ao tratamento de despejos da eletrodeposição compreenderiam destruição dos cianetos, redução do cromo, ajuste de pH e remoção de metais pesados, através da precipitação com hidróxidos.

Outros resíduos isentos de óleo

A instalação seria de um tipo em que parte dos despejos requeresse pré-tratamento e o restante necessitasse de ajuste de pH e decantação.

Foram elaborados estudos de custos de operação e de capital para indústrias representativas.

Estima-se o montante do capital aplicado nos setores de peças e acessórios em aproximadamente US$ 185.000.000, sem considerar o crédito relativo às instalações existentes. Os custos de operação estão em tôrno de US$ 10.000.000 a 15.000.000 por ano.

LEVANTAMENTOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

3. FÁBRICAS DE PAPEL

ESCOPO DO RELATÓRIO

Êste levantamento de despejos industriais cobre a indústria de papel assim como a indústria integrada de celulose e papel nos E.U.A.. As principais áreas de discussão são as seguintes: os processos fundamentais de manufatura e os resíduos líquidos e gasosos gerados em cada operação, utilização e reutilização de água de processo, quantidades de despejos e suas características, práticas de redução de despejos (incluindo tanto o tratamento dos despejos como o processo dentro da fábrica) a eficiência dêsses processos e os custos do tratamento de despejos. Foram feitas projeções ou estimativas para as modificações, desenvolvimento e práticas de operação que serão prevalentes em 1977 para cada uma das áreas de discussão.

RESUMO DO RELATÓRIO

Processos Fundamentais, Subprocessos e os Despejos Resultantes

As indústrias integradas de celulose e papel são discutidas antes como uma operação unificada do que como operações separadas, uma vez que o tratamento das águas residuárias depende das medidas internas de redução das mesmas, assim como das quantidades totais de despejos e suas características. A fabricação de celulose compreende os processos fundamentais de preparação da madeira, separação da celulose, peneiração, lavagem, concentração e alvejamento, enquanto que os processos fundamentais nas fábricas de papel compreendem preparação da massa, operação das máquinas de papel, tratamento final e acabamento.

A preparação da madeira principia pelo transporte das toras do armazém às máquinas de descascamento. Geralmente efetua-se esta operação transportando as toras por meio de uma ponte rolante a um transportador de esteiras ou a um canal de transporte de toras. A tora é imersa em água antes de ser transportada ao canal (onde aparecem grandes quantidades de águas residuárias), e a água servida é reutilizada após a remoção de areia e cascas. A casca pode ser removida da tora na máquina de descascamento por vários processos: mecânicos, químicos (não aplicados comumente), e descascamento de toras longas (tecnologia moderna). A casca removida aumenta os problemas de disposição de resíduos sólidos. Até o presente momento a aplicação mais freqüente dêsse resíduo é a incineração para recuperação de calor, além da fabricação de composto agrícola e recuperação de subprodutos. A tora descascada é enviada à seção de facas onde é cortada em cavacos de tamanho adequado, a fim de permitir a penetração do líquido de cozimento durante a operação de digestão. Os resíduos da preparação da madeira consistem de casca, líquidos solúveis removidos durante o processo de lavagem e areia. O corte mecânico em cavacos é o método praticado com mais freqüência, porém já foi desenvolvido outro método que ainda não encontrou aceitação generalizada. É um processo em dois estágios, no qual a tora é primeiramente comprimida perpendicularmente à fibra e depois cortado através da fibra. Os cavacos resultantes de todos os métodos têm que ser limpos e separados a fim de assegurar que sòmente vão alimentar o digestor os cavacos de tamanho uniforme.

A produção de celulose, que é o processo em que a madeira e outras plantas fibrosas são convertidas em fibras adequadas para o uso na fabricação do papel, é correntemente executada através de quatro processos diferentes, chamados comumente de: mecânico, químico, sulfato e sulfito. A pasta mecânica é fabricada por meio de uma pedra de esmeril. Pequenos blocos da tora são premidos contra a pedra esmeril na presença de água. Êste tipo de polpa serve para jornais, para papel higiênico de baixa qualidade e para papelão. Muito embora quantidades significantes de águas residuárias sejam geradas nas operações de resfriamento, limpeza e lubrificação do esmeril e para transportar a polpa, a tecnologia moderna introduziu a reutilização da água no processo, o que reduziu significativamente a quantidade de água residuária descarregada no sistema coletor de esgotos. As águas residuárias produzidas contêm restos de polpa e materiais solúveis.

No processo de polpa química a tora inteira é cozinhada antes de ser desfibrada. A polpa assim produzida tem melhores propriedades de drenagem e maior resistência do que a polpa mecânica. Além disto êste processo de fabricação de celulose permite melhor utilização das matas, maior versatilidade no tipo de fibras e maior flexibilidade quanto aos tipos de polpa produzida. As águas servidas no processo de polpa química são originadas nas mesmas fontes que as do processo de polpa mecânica e mais adicionalmente há despejos do poço de imersão onde as toras são mergulhadas para livrá-las das substâncias químicas indesejáveis.

O processo do sulfato (Kraft), que utiliza soluções alcalinas para dissolver a lignina e outras partes não celulósicas da madeira (a lignina é a substância que cola as fibras de celulose umas às outras) tem a vantagem de produzir uma celulose de alta qualidade e de propriedades predeterminadas. O processo de digestão pode ser executado por qualquer um dos três métodos seguintes: produção direta ou indireta em lotes e produção direta em lotes contínuos. As técnicas contínuas encontraram aceitação geral em fábricas novas, enquanto que a aplicação da digestão indireta decresceu.

A digestão contínua tende a produzir uma polpa de qualidade mais uniforme, as perdas de calor são reduzidas (aparecem quando o digestor tem que ser resfriado para receber a carga) elimina os picos de demanda de vapor e reduz a corrosão.

A maior parte das fábricas modernas tem tendência a aplicar êsse método, embora seja caracterizado pela desvantagem de não suportar bem variações no processo e causar perdas de celulose no início da operação. A produção de celulose Kraft é um processo cíclico no qual são recuperados os reagentes químicos do licor de cozinhamento. Por ser essa recuperação exeqüível e prática, a reutilização da água pode ser praticada com a intenção de minimizar as perdas de reagentes.

As principais fontes de resíduos líquidos da produção de celulose Kraft com recuperação de reagentes são as descargas dos digestores, os vazamentos de lixívia negra, respingos, extravasamentos, sistema de resfriamento e de sêlo da bomba de circulação, evaporadores de múltiplos efeitos, lavagem de resíduos de cal, lavagem dos filtros de lixívia e a lavagem dos fornos de cal e de gás. Há também três áreas principais de poluição potencial do ar: o sistema de descarga do digestor, os evaporadores de múltiplos efeitos e os fornos de recuperação.

O processo ácido de produção de celulose ao sulfito é baseado na digestão dos cavacos de madeira numa solução aquosa contendo bissulfito metálico e um excesso de anidrido sulfuroso. Na tecnologia antiga empregava-se bissulfito de cálcio e não se reutilizava a água nem se recuperavam os reagentes. Com a entrada em vigor de regulamentos rigorosos aplicados à composição dos efluentes, muitas fábricas procuraram substituir o cálcio por uma base que fôsse mais adequada à recuperação dos reagentes e à reutilização da água. As fábricas mais modernas estão empregando bissulfito de magnésio, ou de amônio, ou de sódio. Todos êles têm a vantagem de produzir uma lixívia residual que permite a recuperação de reagentes assim como a aplicação de técnicas de reutilização da água. Na tecnologia mais antiga, na qual não se recuperava a lixívia do cozinhamento, eram geradas quantidades consideráveis de águas residuárias, em virtude de o processo ser essencialmente de um tipo em que havia utilização de todos os componentes uma única vez. A tendência moderna caminha em direção a sistemas de recuperação destinados principalmente a reduzir as cargas de poluentes. Nas indústrias em que se pratica a recuperação, as águas residuárias são geradas de respingos, vazamentos, extravasamentos e na preparação da lixívia de cozinhamento. Êstes despejos líquidos têm elevadas concentração de DBO e sólidos em suspensão. As águas residuárias do processo de fabricação de celulose ao sulfito de base solúvel resultam de descargas dos digestores, de condensados com impurezas, dos chuveiros dos lavadores de gás, da preparação de ácidos, das perdas de reagentes, bem como provêm dos fornos de recuperação. As fontes de resíduos gasosos estão nas válvulas de segurança do digestor, nas emissões gasosas dos evaporadores e no forno de recuperação.

O processo semiquímico produz celulose de cavacos pela utilização de um tratamento químico suave, a fim de amolecer os cavacos e ao mesmo tempo favorecer a separação mecânica das fibras. Embora o rendimento de celulose (80%) seja muito mais elevado do que aquêle alcançado pelo tratamento químico completo (45-50%), a resistência e a flexibilidade é muito mais baixa. Há duas variantes de produção de celulose semi-química, que são processo do sulfito neutro (NSSC) e o processo Kraft (KSC), que necessitam de menos reagentes e de tempo de cozinhamento menor do que o processo normal de celulose Kraft. Embora a celulose Kraft semiquímica e a celulose Kraft normal possam ser produzidas pelo mesmo equipamento e pelas mesmas instalações, o sistema de recuperação das

lixívias residuárias do KSC é geralmente combinado na fábrica de celulose Kraft a que pertence. O processo NSSC consiste no uso de sulfato de sódio como agente de cozinhamento, utilizando carbonato de sódio como tampão. Recentemente foram desenvolvidas técnicas de recuperação para êste processo. Além disso, caso o NSSC seja uma parte mais limitada da operação do que a operação de produção de Kraft, as lixívias residuárias do NSSC podem ser recuperadas no sistema de recuperação pertencente ao Kraft e a lixívia de cozinhamento do NSSC pode ser completada com reagentes novos. Os despejos da fabricação de celulose semiquímica com recuperação de reagentes, contêm lixívia negra residuária (com elevada concentração de DBO e sólidos em suspensão) descargas de digestores, condensado evaporado e restos da preparação de lixívia.

A madeira e outros produtos vegetais fibrosos não são a única fonte de celulose, uma vez que também há demanda para trapos e bagaço de cana. Embora qualquer processo de obtenção de celulose química possa ser aplicável ao uso de bagaço, o processo de Kraft ou de soda, modificado com adição de enxofre, usualmente dará os melhores resultados.

Uma vez que é possível usar papel velho na fabricação, geralmente a fábrica de celulose possui instalações de destintamento. Os reagentes químicos utilizados, o processo seguido e o equipamento empregado na operação de destintamento podem variar consideràvelmente, uma vez que a seqüência do processo depende da composição e da qualidade do papel velho usado, do caráter das tintas de impressão e do uso final que será dado à celulose recuperada. Há tempos atrás, quando havia disponibilidade ampla de água e havia poucos problemas de contrôle de poluição, as fábricas de celulose não reutilizavam as águas residuárias resultantes dêste processo. A tecnologia atual procura empregar lavadores em série com reutilização apropriada de água, resultando daí uma economia marcante de água, de calor e de reagentes. Até hoje não se conseguiu desenvolver um método de recuperação que possa utilizar essas águas residuárias que contêm tintas, impregnantes de argila, além dos reagentes utilizados no processo.

A descarga do digestor é o processo utilizado para expelir o conteúdo resfriado do digestor para um tanque de expansão ou uma torre, onde os vapores são separados da celulose e da lixívia residuária. Esta operação geralmente não é considerada como fundamental, porém como processo associado à produção de celulose. Uma vez que aí reside uma das fontes principais de despejos, também é aí que reside a principal fonte de lixívia residuária utilizada nos sistemas de recuperação.

A lavagem da celulose é o processo destinado a remover da celulose a lixívia e outros materiais estranhos, utilizando difusores ou filtros rotativos a vácuo. Os filtros a vácuo pràticamente eliminaram o uso de difusores nas fábricas modernas. Com o desenvolvimento de lavadores em série, ou da lavagem em vários estágios, em contra-corrente, as necessidades de água têm sido bastante reduzidas, com a subseqüente redução das cargas e volumes de despejos líquidos. O desenvolvimento futuro poderá levar à combinação ulterior da lavagem de celulose com a concentração e com a peneiração e, talvez, eventualmente a um sistema completamente fechado.

O propósito da peneiração e limpeza da celulose é o de separar as fibras grosseiras das fibras finas e de remover sujidades e materiais estranhos. Em uma seção do processo são utilizadas peneiras grosseiras e em outra, peneiras finas. A limpeza por centrifugação também é utilizada freqüentemente na remoção de areia e de outras impurezas que tenham passado através das peneiras. Tôdas as três operações acarretam altos consumos de água, de tal maneira que a recirculação desta é um método importante para reduzir as quantidades de águas residuárias dentro da indústria.

O processo de concentração ou adensamento produz o espessamento da celulose peneirada a fim de aumentar a sua consistência. A água removida no processo é retornada e usada na diluição da polpa nova. Algumas fábricas ainda lançam no esgôto esta água servida. Os concentradores utilizados geralmente são peneiras rotativas ou filtros a vácuo. As peneiras rotativas, chamadas de «decker», são utilizadas na tecnologia antiga, ao passo que as instalações modernas preferem a utilização de filtros a vácuo.

Na tecnologia antiga eram produzidas quantidades consideráveis de águas residuárias durante as operações de lavagem de celulose, de peneiração e de concentração. Nos casos em que a lavagem da celulose era executada por um sistema de difusão, o processo de peneiração consistia em diluir a celulose com água fresca e em passar a pasta diluída sôbre uma peneira vibratória, usando água limpa tanto para diluir, quanto para transportar a polpa. Tôdas as águas eram lançadas aos coletores depois de utilizadas uma única vez. Grandes quantidades de água utilizadas na operação das peneiras rotativas também eram descartadas.

A fim de descorar a celulose, é necessário efetuar o alvejamento. A seqüência das operações dêsse alvejamento dependem do tipo de celulose a ser branqueda e do produto final que se deseja produzir. A tendência é de aplicar o alvejamento em dois estágios, por meio de água oxigenada e de hidrossulfito, tanto no caso de pasta mecânica de celulose semiquímica, quanto também no de celulose pelo processo da soda.

Os processos Kraft, sulfito, soda e NSSC requerem alvejamento em múltiplo estágio, usando vários agentes de alvejamento, além de extração cáustica. Por êste motivo a reutilização da água é vital, uma vez que são comuns as operações de alvejamento em três a cinco estágios. No caso de branqueamento de papel destinado, que não contenha mais do que 10% de pasta mecânica, freqüentemente utiliza-se uma operação em um único estágio, empregando hipoclorito. No caso de maiores proporções de pasta mecânica, é necessário utilizar o alvejamento em múltiplo estágio.

A cloração de celulose química é uma reação rápida. As celuloses obtidas pelo processo sulfato e sulfito neutro exigem freqüentemente extração alcalina após a cloração. Esta operação pode ser omitida no caso de celulose ao sulfito. O alvejamento oxidativo de celulose química tem sido praticado nas últimas décadas.

Muito embora se consiga um alvejamento mais intenso se forem utilizadas pequenas quantidades de agente de branquamento em estágios sucessivos, intercalando lavagem com água entre os estágios sucessivos, o fator limitante está no aumento do consumo de água resultante, assim como também nos custos de capital devido à perda de fibras. Com o desenvolvimento do dióxido de cloro como agente de alvejamento, muitas indústrias modernas de branqueamento passaram a se utilizar de apenas cinco estágios para produzir celuloses muito brancas e muito resistentes. A reutilização eficiente de água nas operações de alvejamento de múltiplo estágio ajudou muito na redução das vazões de águas residuárias dêste setor. Os despejos resultantes das operações de branqueamento geralmente são caracterizadas por elevados teores de DBO, de sólidos dissolvidos, de côr e de cloro que não reagiu.

A preparação da pasta é o processo de tratamento mecânico e às vêzes químico, da celulose, com o uso de aditivos para preparar a polpa, a fim de que possa ser transformada em fôlhas na máquina de papel. Esta fase cobre uma série de operações: preparação de pasta, bater e refino, mistura na cabeceira da máquina e peneiração. Tôdas as operações necessitam de água, mas a reutilização da mesma elimina uma grande quantidade de despejos que antigamente eram lançados ao coletor de esgôto. As águas residuárias que são descarregadas nos esgotos são poluidas principalmente por refugos e agentes de limpeza, bem como por águas de lavagem para limpeza de equipamentos e descargas de massa que não obedecem aos padrões de qualidade ou que foram prejudicados de alguma maneira.

Outras operações que ocorrem durante êsse processo são a adição de cargas, de colas, de resinas, de corantes, sendo todos êles habitualmente diluídos com água, antes de serem juntados à pasta.

Na máquina de papel a suspensão de fibras é convertida em fôlha de papel em três etapas: 1) o arranjo das fibras, ao acaso, para formar o feltro molhado, na extremidade molhada da máquina; 2) a remoção da água livre da manta molhada, por meio de prensagem do feltro; 3) a remoção progressiva de mais água pelo calor (extremidade sêca da máquina). Nas indústrias mais antigas, usando máquinas de Fourdrinier, a água branca resultante da limpeza das telas da parte úmida da máquina eram encaminhadas aos esgotos, porém atualmente são utilizadas bandejas individuais e caixas de sucção, a fim de conservar segregadas as águas brancas concentradas das águas relativamente limpas. A água relativamente limpa é eventualmente recirculada para ser misturada com a polpa que entra na máquina, enquanto a água branca das caixas de sucção é utilizada para diluir a pasta ou como esguicho sôbre as telas. O restante das águas brancas é bombeado a um tanque de recuperação de fibras. Nesta operação é possível recuperar até 95% das fibras e da carga.

Podem ser juntados aditivos na máquina de papel, durante a operação de revestimento (papel «couché») ou na calandra. Pratica-se uma reutilização limitada de água residuária, mas a maior parte desta é finalmente descarregada no sistema coletor. A quantidade de águas residuárias associadas com a recuperação de fibras é pequena e insignificante em comparação com a quantidade total do programa de redução global de despejos, porém alguma parte dos sólidos vai se transformar em refugo. Também utiliza-se água para transportar subprodutos e resíduos indesejáveis ao incinerador, onde é utilizada para gerar vapor e fôrça. Considerando-se tôda a água utilizada nas fábricas de celulose e de papel, a quantidade de água residuária gerada seria tremenda se não houvesse reutilização de água. Há dados que indicam que a reutilização da água monta em 260 a 320% do consumo efetivo de

água, no caso de fábricas integradas de Kraft ou sulfito, sendo que a celulose Kraft tem a maior porcentagem de reutilização de água.

Cada fábrica tem seu programa próprio quanto ao melhor reuso da água nas várias operações. Entretanto, as águas relacionadas abaixo são aquelas que mais freqüentemente são coletadas para reutilização:

1. Água dos canais de toras e dos descascadores;
2. Condensados evaporados do setor de recuperação de lixívia;
3. Água de lavagem de peneiras grosseiras;
4. Filtrado dos lavadores de seção de alvejamento;
5. Água branca da máquina de papel.

Cada processo fundamental compreende um número de operações que pode ser modificado em vários graus. O subprocesso é definido como uma técnica alternativa para realizar um processo fundamental de manufatura. Entretanto a complexidade do processo fundamental é influenciada por muitos fatôres, como a espécie de madeira que é utilizada, a necessidade de variar o processo da polpa em relação ao produto final e a seleção e contrôle da operação de alvejamento, a fim de atingir diferentes graus de alvura.

Embora os processos fundamentais e subprocessos da fabricação de papel sejam bem compreendidos e categorizados, os dados relativos às porcentagens de indústrias empregando processos particulares ou combinados de subprocessos são raros. As porcentagens de subprocessos que estão sendo aplicados correntemente são baseadas algumas vêzes no número de unidades de produção em lugar de sê-lo relativamente ao número de fábricas que adotaram êsse subprocessos. Esta prática foi adotada a fim de apresentar dados significativos e para poder predizer as tendências futuras.

Os subprocessos que originam problemas de águas residuárias de difícil contrôle são o cozimento, o alvejamento e as operações das máquinas de papel. A lixívia residuária originada do cozimento é o fator de contribuição mais importante no tratamento das águas residuárias em virtude de suas características: alta DBO, inibição do processo de tratamento por lôdos ativados, provocando diminuição dos efeitos na remoção de DBO e a côr intensa que confere ao efluente. Os problemas oriundos da lixívia negra do processo de fabricação de celulose Kraft podem ser melhor resolvidos por meio de um sistema interno de reaproveitamento dessa lixívia, na qual os reagentes são recuperados através da combustão do material orgânico que origina a DBO assim como também é queimada a lignina. O processo de celulose ao sulfito apresenta as mesmas dificuldades que são encontradas no processo Kraft com um problema adicional: os processos habituais de recuperação dos reagentes geralmente não lhe são aplicáveis. A complexidade e o problema técnico envolvido na recuperação da lixívia dependem da base que está sendo utilizada. Os problemas originados pela lixívia residuária da fabricação de celulose semiquímica são similares àqueles encontrados na lixívia residuária do processo sulfito. Os despejos das operações de alvejamento contêm elevadas concentrações de DBO, de material orgânico e inorgânico dissolvido e são relativamente difíceis de tratar. Os despejos da máquinas de papel contêm sólidos finamente divididos em suspensão, provindos das operações de adição de cola e de revestimento do papel, assim como contêm também fibras não retidas que vão aparecer no sistema de coleta de esgôto. Os sistemas de reutilização de água branca provocam problemas de inclusão de ar, de formação de mucilagem e de corrosão química. A degradação dos aditivos utilizados na preparação da massa às vêzes resulta em uma descarga maior de águas residuárias do sistema de recirculação.

Uma vez que muitas das fábricas existentes limitam seus melhoramentos tecnológicos a determinados setores dos processos fundamentais, não é incomum encontrar em uma indústria de papel o emprêgo da tecnologia mais antiga em um processo e de uma tecnologia mais moderna em outro setor. Por êste motivo muitas vêzes é difícil enquadrar uma determinada fábrica quanto ao critério de nível tecnológico bem definido. A porcentagem de indústrias com efluentes de processo que podem ser enquadrados em uma das três categorias baseadas na produção global foram avaliadas para os anos de 1963, 1972 e 1977, sendo os dados apresentados no quadro seguinte.

	Porcentagens de fábricas no ano de			Limites de tamanho de fábricas
Nível tecnológico	**1963**	**1972**	**1977**	**toneladas/dia**
Antigas	24	11	6	20-500
Típicas atuais	68	58	48	100-1.000
Mais recentes	8	31	46	200-1.500

A tendência é para a construção de fábricas maiores. Em média, as fábricas produzindo menos do que 250 t por dia são consideradas pequenas, de 250 a 700 toneladas por dia são consideradas médias e mais de 700 toneladas por dia como grandes. A proporção relativa entre pequenas, médias e grandes, incluídas em cada nível tecnológico, não foi imediatamente definível em virtude da complexidade e do número de variações de processos. Entretanto, a produção por dia não é o único fator importante na determinação do tamanho de uma fábrica integrada, uma vez que o processo de fabricação de celulose utilizado pode ser um fator decisivo na classificação por tamanho.

Para os três níveis tecnológicos foram juntados dados a respeito das quantidades de resíduos e volumes dos despejos relativos aos processos fundamentais e aos subprocessos. As unidades empregadas para as quantidades de águas residuárias são quilogramos de resíduos sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, (DBO) gerados por tonelada de produto. Os dados refletem os vários graus de reutilização de água empregada nas fábricas e em alguns exemplos os valores referentes a um subprocesso determinado não são estritamente exatos, uma vez que a segregação completa de águas residuárias antes que elas alcancem um coletor comum não é possível, particularmente quando a água de um processo está sendo reutilizada em outra operação.

O tipo e as concentrações de poluentes presentes resultam de ambas as operações e não podem ser atribuídos com precisão a nenhuma das fontes de poluição individuais.

Os dados disponíveis foram usados para indicar as quantidades totais de resíduos e de volumes de despejos para os processos de celulose ao sulfato branqueada (Kraft), ao sulfato não branqueada (Kraft) e ao sulfito branqueado, assim como são gerados nas indústrias representativas de cada um dos níveis tecnológicos. Tanto as quantidades de águas residuárias quanto as cargas (sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, sólidos totais e DBO) são eficientemente diminuídas à medida que a tecnologia de fabricação caminha dos processos mais antigos aos presentemente empregados e aos métodos novos. A porcentagem de indústrias dentro de um grupo são 24, 68 e 8%, respectivamente. Embora a quantidade de águas residuárias geradas por tonelada de produto decresça à medida que são empregados métodos mais modernos, assim mesmo a quantidade total de águas residuárias gerada crescerá em virtude da produção acelerada. Nas fábricas que aplicam a tecnologia mais recente, as fontes mais importantes de águas residuárias, em têrmos de quantidade, serão as de cozimento cáustico do Kraft e as operações da tôrre de expansão; as dos digestores ao sulfito, de lavagem de celulose, de concentração e as operações de limpeza o alvejamento de sulfato e de sulfito; e as operações da máquina de papel, em todos os processos fundamentais.

A produção mensal de papel não varia de modo significativo, e por conseguinte a quantidade de água residuária gerada variará tão sòmente na mesma proporção.

Os processos empregados para a redução dos resíduos na indústria de celulose e papel são a reutilização de água, a recuperação de reagentes, a recuperação de fibra e de sólidos, e melhoramentos tecnológicos. Os resíduos produzidos por subprocessos típicos da tecnologia mais antiga são usados como parâmetro para determinar a porcentagem de redução de resíduos e a extensão até à qual um determinado subprocesso ou uma modificação de subprocessos poderão reduzir a produção de despejos relativa a um subprocesso alternativo. Os setores em que podem ser obtidas reduções significativas através da reutilização de água, ou de modificações de processo, são tabulados a seguir:

	Redução de carga residuária	**Reduções das quantidades de águas residuárias**
	%	%
Preparação de madeira		
Reutilização da água ...	80-90	70
Toras longas	95	85
Processo de obtenção de celulose		
Reutilização da água ...	30	30
Recuperação do licor ..	60-90	60-90
Peneiração de celulose		
Reutilização de água ...	20-60[1]	20-60[1]
Lavagem e concentração		
Uso de filtros a vácuo ..	20-60	20-60
Filtros a vácuo de múltiplo estágio em contra-corrente	60-90	60-90
Alvejamento		
Reutilização da água e recirculação em operação de múltiplos estágios	30-80	—
Máquina de papel		
Recuperação de fibras e reutilização das águas brancas	20-70	60-80

1 **Nível de redução atual. Consegue-se a eliminação completa das descargas de águas residuárias no caso dêsses despejos das peneiras grosseiras serem retornados ao processo de fabricação de celulose e se a recirculação local fôr providenciada nas peneiras finas.**

Os setores em que as águas residuárias da fabricação podem ser reutilizadas e as fontes de tais despejos são dados abaixo:

Processo fundamental	Fonte de despejo	Setores de reutilização	Recuperação de subprodutos
Preparação da madeira	Condensado de evaporadores, filtrado das águas do lavador da instalação de branqueamento	Canal de transporte de toras, tanque de água quente, decorticador, chuveiros.	
Celulose Kraft	Condensado da recuperação dos evaporadores e dos permutadores de calor, dissolução dos reagentes fundidos Efluente do separador de aguarrás	Água de diluição: cozimento cáustico; peneiração, destintamento e preparação de madeira. Sistema de cal e de chuveiros.	Aguarrás da válvula do digestor
Bissulfito de base solúvel			Recuperação de reagentes da lixívia residuária
Operações de máquinas de papel	Água branca da máquina de papel	Máquina de papel, preparação de massa, alvejamento, lavagem da celulose e preparação da madeira.	

Instalações de tratamento dos despejos

As instalações previstas para o processo de tratamento de águas residuárias freqüentemente preenchem duas funções: 1) remover poluentes de tal maneira que as águas residuárias sejam adequadas para a descarga, seja no sistema municipal de coletores, seja em águas receptoras; 2) melhorar a qualidade da água a tal ponto que seja satisfatória para a reutilização na fábrica. Quatro grupos funcionais que são incluídos nas práticas de tratamento de despejos são: pré-tratamento, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário.

Pré-tratamento

A segregação adequada e a coleta de águas residuárias de acôrdo com as suas características, são importantes na determinação da seqüência de tratamento. A recuperação e o contrôle interno da fábrica também contribuem para a possibilidade de as instalações de tratamento depurarem adequadamente os despejos gerados, a um custo mínimo.

O pré-tratamento geralmente é requerido pelo principal efluente da fábrica e pode compreender desarenação, remoção de fragmentos, de cinzas inorgânicas, de areia, pedregulho etc. Esta operação é efetuada comumente em um desarenador (tanque sedimentador por gravidade) e por peneiração. Para o contrôle apropriado das instalações de tratamento secundário, freqüentemente é necessário ajustar o pH (limites de pH entre 6,0 e 9,0); portanto as instalações de neutralização são uma parte integrante do pré-tratamento. A seleção do método de neutralização é, entretanto, uma função da segregação das águas residuárias alcalinas de processo, das águas ácidas. Por exemplo, as águas de lavagem alcalina das cinzas da Casa de Fôrça e da operação de recuperação de cal podem ser utilizadas para neutralizar os despejos ácidos gerados da produção de celulose ao sulfito. Nas fábricas de celulose tipo Kraft esta combinação não é possível, nos casos em que as águas de processo da polpa forem alcalinas. Compreende-se desta forma que as instalações de neutralização devem ser projetadas de acôrdo com o tipo de água residuária gerada por um processo fundamental.

Uma vez que temperaturas acima de 40° Célsius podem interferir negativamente no tratamento biológico, nas unidades secundárias, o resfriamento é outro pré-tratamento necessário e pode ser efetuado em tôrres de resfriamento, em tanques providos de aspersores, em canais de cascata e em tanques de homogeneização.

Tratamento primário

A função principal do tratamento primário é a remoção de sólidos em suspensão. Na indústria de celulose e papel são produzidas grandes quantidades de matéria coloidal e substâncias químicas do tipo dispersóide que podem tender a inibir a sedimentação por gravidade. Nestes casos pode ser possível empregar a floculação a fim de condicionar os despejos antes da decantação primária. Freqüentemente é necessária a adição de coadjuvantes de floculação. Depois da floculação, a água residuária pode ser clarificada por meio da decantação por gravidade, ou por flotação com ar dissolvido. Sòmente a DBO correspondente a materiais orgânicos e fibrosos é removida durante êsse ciclo de tratamento. A côr devida à lignina não é removida, a não ser que tenha sido adsorvida sôbre o floco que sedimenta, separando-o da água residuária.

Freqüentemente são previstos tanques de homogeneização entre as unidades de tratamento primário e secundário, a fim de controlar as variações de vazão dos despejos da fábrica, assim como as variações de suas características. Êstes tanques habitualmente são de tamanho suficiente para servirem de tanque de acumulação no caso de transtornos na fabricação ou quando dificuldades de operação na estação de tratamento limitarem as quantidades de despejos que podem ser tratadas.

Tratamento secundário

A função principal do tratamento secundário é a de reduzir a demanda bioquímica de oxigênio solúvel e para adição de nutrientes aos despejos de celulose e papel na forma de fósforo e nitrogênio que são necessários para conseguir uma operação ótima das partes de tratamento biológico. O processo convencional de lôdos ativados pode alcançar um elevado grau de remoção de DBO no tratamento de despejos da indústria de celulose e papel.

A fim de funcionar apropriadamente, o processo de lôdos ativados requer cargas de DBO invariáveis ou controladas, suprimento suficiente de oxigênio e tempo adequado para permitir que se completem as reações de oxidação e de síntese. Dá-se partida ao tratamento pondo as águas residuárias da fábrica em contato com uma população biológica aclimatada, na presença de oxigênio dissolvido. Uma variante dêsse processo é o método da estabilização por contato, em que os organismos biológicos aclimatados são postos em contato com os despejos a fim de conseguir a remoção de DBO. Os organismos sedimentados são transferidos para um tanque aerado de estabilização, onde se verificam as reações de síntese. Outro método utilizado são os filtros biológicos, onde as películas ativas estão presas ao meio filtrante, e que removem a matéria orgânica do despejo.

Classificação da Indústria	Processo de trat. secundário	Remoção de DBO durante o processo %
Fábrica de sulfito integrada	Lôdos ativados convencionais	85
Fábrica de Kraft integrada	Estabilização de contato	85

Os organismos biológicos geralmente são removidos no decantador secundário por sedimentação por gravidade. Recentemente estão tornando-se cada vez mais populares decantadores de alimentação periférica com a remoção de lôdo por sucção.

A DBO pode ser removida em lagoas de estabilização, onde os sólidos biológicos são mantidos em baixas concentrações. Quando são utilizados aeradores montados sôbre flutuadores, muitas vêzes pode ser eliminada a decantação antes da descarga em águas receptoras. Pelo motivo de serem necessárias áreas muito extensas para a implantação de lagoas cientificamente dimensionadas, estas encontraram aplicação limitada, com exceção dos estados do sul dos E.U.A., nos quais o clima favorece êste tipo de tratamento. A disposição por irrigação é uma forma de tratamento secundário, mas geralmente não é empregada pela indústria de celulose e papel. Quando utilizadas em áreas florestais, com condições geológicas propícias e de solos favoráveis, podem ser obtidas remoções de 60 a 95% em têrmos de DBO, em tempo quente e sêco.

Tratamento terciário

Tratamento terciário é utilizado para conseguir remoções adicionais de poluentes das águas residuárias antes da sua descarga, operação essa que é também chamada de polimento». Até à presente data a indústria de papel não aplicou o tratamento terciário para remoção de ligninas na forma de côr dissolvida, ou de bactérias, porém estão sendo efetuados estudos de laboratório a respeito. Os processos que estão sendo investigados compreendem: tanques de retenção, filtração para remoção de DBO e DQO. Cloração ou ozonização para a remoção de bactérias.

Absorção por carvão ativado, processo da pasta de cal e de outros processos de absorção química para a remoção de côr e redução de espuma, e a remoção de sólidos inorgânicos através da eletrodiálise, da osmose reversa e da permuta iônica.

Disposição de lôdo e de resíduos concentrados

O lôdo que é removido dos decantadores primários, bem como o excesso de lôdo biológico secundário, são geralmente adensados por um de vários métodos, podendo sê-lo isoladamente ou em combinação. Geralmente o lôdo secundário (com 60 a 90% de sólidos voláteis) não adensa bem por gravidade a não ser que esteja misturado com o lôdo primário, quando pode ser adensado por gravidade ou por flotação com ar dissolvido ou por centrifugação. O método de desidratação mais comumente utilizado até à presente época tem sido a filtração a vácuo com o uso de reagentes de condicionamento, quando necessário.

Estudos recentes e dados operacionais demonstram que a centrifugação é muito eficiente na desidratação de lôdos provenientes das fábricas de celulose e papel, quer seja o lôdo primário isoladamente, ou em combinação com o lôdo secundário. Entretanto, normalmente o lôdo secundário necessita de condicionamento químico (polieletrólitos) a fim de poder ser desidratado até conter de 12 a 20% de sólidos.

A disposição final dos lôdos dos despejos é um problema de resíduos sólidos. Em tempos passados êsses lôdos eram dispostos em aterros ou em lagoas de lôdo em combinação com outros materiais residuários, tais como cascas, cinzas e refugos. Em virtude do custo crescente dos terrenos, assim como dos regulamentos sanitários mais rigorosos, as indústrias estão sendo levadas a processos de incineração dos lôdos primários e secundários com concentrações de sólidos de 30 a 40%. Têm sido empregados com sucesso prensas mecânicas, a fim de desidratar mais intensamente os lôdos depois da filtração a vácuo e da centrifugação, porém o sucesso tem sido limitado pelo baixo conteúdo de fibra dêsse lôdo.

É necessária a disposição dos despejos concentrados, tais como a lixívia do digestor e a água de lavagem da celulose, nos casos em que não forem instaladas unidades de recuperação. A disposição em poços profundos é possível, dependendo da quantidade de despejos e da presença de formações geológicas que não permitam a poluição da água subterrânea. Também já foi tentada a irrigação por aspersão, depois de diluição. Porém a água de escorrimento superficial pode causar danos significativos nas águas receptoras devido à elevada DBO e à alta concentração de sólidos na lixívia e nas águas de lavagem.

Progressos na adoção do tratamento

As projeções relativas ao progresso da adoção de práticas de tratamento de águas residuárias da indústria de celulose e papel são baseadas em dados algo limitados, particularmente em relação ao equipamento menor. O quadro seguinte contém um sumário dos subprocessos que estão sendo atualmente utilizados e que vão ser mais e mais aplicados até 1977. A centrifugação está sendo aplicada cada vez mais freqüentemente na desidratação de lôdo, embora seja mais cara do que a filtração a vácuo. O número de fábricas empregando a centrifugação será igual ao número das que estarão empregando a filtração a vácuo em redor de 1977. Por fim a maior parte dos lôdos dêste tipo de fabricação será incinerada, embora estejam sendo estudados processos de recuperação de subprodutos.

Processos e subprocessos fundamentais de tratamento	Frequência de uso atual %	Serão empregados em 1977 %
Pré-tratamento		
Peneiração	60	90
Neutralização	40	80
Tratamento primário		
Decantador por gravidade	70	90
Tratamento secundário		
Adição de nutriente	20	80
Lagoa aerada	5	25
Lôdos ativados	5	30
Decantadores secundários	10	50
Tratamento terciário (1)	—	—

(1) Estão em operação presentemente sòmente instalações-pilôto.

Descarga aos coletores municipais

A descarga de efluentes não tratados das fábricas de celulose e papel ao sistema urbano de coleta e tratamento de esgotos tem sido praticado desde 1950, mas nos dias de hoje apenas uma pequena porcentagem das indústrias está prosseguindo com esta prática. Os fatôres determinantes são a proximidade da indústria a um sistema municipal de coleta, bem como a possibilidade de ser a estação de tratamento ade-

quada e a de ter capacidade para aceitar as águas residuárias. As instalações de tratamento de despejos industriais combinados com esgotos domésticos podem operar com sucesso e têm sido operadas assim, particularmente quando existe um pré-tratamento para as águas residuárias industriais. O pré-tratamento compreende a neutralização a fim de evitar danos ao sistema de coletores, assim como também às instalações de tratamento: adição de agentes anti-espumígeros para reduzir ou eliminar a tendência de formação de espumas dos despejos industriais; contrôle de compostos de enxôfre que podem produzir maus odores no sistema e a redução da concentração de sólidos em suspensão. Espera-se o aumento das descargas de despejos industriais de celulose e papel nos coletores urbanos, especialmente quando a estação de tratamento fôr projetada para poder tratar os despejos combinados. Não se espera entretanto uma aplicação mais larga dêste processo em virtude da tendência de se localizarem as indústrias de celulose e papel nas áreas rurais, onde ficam mais perto das fontes de matérias primas.

Recuperação de subprodutos

A recuperação de subprodutos da lixívia residuária tem tido sucesso no caso de aguarrás e óleo de breu, enquanto outros subprodutos, tais como leveduras, álcoois, sulfóxido de dimetila e de essência de baunilha (vanilina) podem ser produzidos mais econômicamente a partir de outros materiais. A casca, conforme a espécie da árvore, pode ser utilizada na fabricação de feltros para coberturas, materiais para instalação de aquecimento e papel de embrulho de baixo preço. Já para a lixívia residuária do processo sulfito os subprodutos compreendem emulsões para inseticidas inibidores de incrustação, curtientes, agentes de dispersão para colas e fertilizantes, ácidos para flotação empregados na separação de minérios, lubrificantes para a perfuração de poços, material de carga para baterias e acumuladores, cargas de refôrço para borracha, intermediários para a eletrodeposição na indústria de cerâmica e material de consolidação para estradas não pavimentadas.

Custos de capital e de operação

De acôrdo com o relatório da Associação Nacional de Fabricantes e do Conselho Nacional para o melhoramento de rios, o custo de reposição das estações de tratamento de despejos industriais na totalidade da indústria de celulose e papel foi de US$ 217.000.000 em 1966. Em números redondos, 40-45% desta soma podem ser atribuidos, àquela porção da indústria de papel em estudo, uma vez que essas porcentagens se aproximam da produção e do número de fábricas neste estudo, quando comparadas com o total de indústrias. Não há dados suficientes disponíveis para avaliar o valor de reposição de equipamentos de tratamento determinados. Por êste motivo os custos atuais de tais instalações devem ser utilizados para estimar o valor de reposição individual.

Os custos de operação para determinado equipamento de tratamento não estão disponíveis. Entretanto, os custos anuais de operação variam entre 7 e 20% da inversão total de capital nas instalações de tratamento. Do custo total de operação, aproximadamente 20% cobrem a mão-de-obra, 25% são relativos à manutenção e material, 35% correspondem aos reagentes químicos (principalmente nutrientes) e suprimentos miscelâneos, e 20% cobrem o gasto de energia elétrica.

No caso de descarga global ou de extremidade do sistema coletor, empregando os dados de descarga para fábricas integradas de sulfato e sulfito alvejados, foram projetados vários processos de tratamento específicos para vários despejos industriais de fábricas pequenas, médias e grandes; cada um deles considerou as unidades de fabricação do tipo mais antigo, atual e avançado, e as tecnologias de tratamento correspondentes. Foram escolhidas as operações integradas de celulose de sulfato e sulfito alvejado em virtude de elas representarem as principais instalações de fabricação e também por descarregarem águas residuárias de diferentes características de tratabilidade. Em geral a vida econômica do equipamento de tratamento é de 20 a 25 anos.

Vários sistemas de tratamento e equipamentos correspondentes foram combinados em uma seqüência de tratamento ao calcularem-se os custos totais de capital e de operação para vários tamanhos de indústrias de várias tecnologias. Êsses sistemas variaram de tratamento primário com baixa eficiência de remoção de DBO, tratamento primário e secundário de acôrdo com a tecnologia mais antiga, tratamento secundário de elevada eficiência (85% de remoção de DBO por meio de lôdo ativado) e disposição final de lôdo e sua desidratação de acôrdo com a tecnologia atual e mais avançada. Uma vez que os custos de tratamento específicos não incluiam itens gerais de construção, os valores percentuais de custo de capital foram tirados pela experiência em projetos, para avaliar os custos de canalizações de bombas e de estruturas elétricas miscelâneas. O quadro seguinte resume o custo total de capital em têrmos de produção da fábrica em toneladas de produto por dia.

Limites do custo total de capital para o tratamento por capacidade de fabricação em toneladas por dia

	Fábrica integrada ao sulfato, branqueada	Fábrica integrada ao sulfito, branqueada
Tecnologia mais antiga	US$ 3.180 — 4.230	US$ 2.110 — 3.760
Tecnologia atual	US$ 3.450 — 7.850	US$ 6.050 — 15.180
Tecnologia avançada	US$ 2.090 — 3.430	US$ 2.750 — 4.620

Os custos de operação relacionados para os sistemas de tratamento definidos foram derivados de dados específicos de porcentagem. Os custos de mão-de-obra de operação, de reagentes químicos (sòmente nutrientes) e custo de energia elétrica foram baseados em especificações da necessidade de operação para cada sistema, enquanto que os custos de manutenção foram baseados em 1% dos custos totais das estruturas, 3% dos custos do total das instalações mecânicas e 1% do total de custos de bombas e canalizações. O quadro seguinte resume os custos totais de operação em têrmos de produção da fábrica em tonelada de produto.

Limites dos custos totais de operação por produção da fábrica, em toneladas

	Fábrica integrada de sulfato, branqueada	Fábrica integrada de sulfito, branqueada
Tecnologia mais antiga	US$ 1,10 — 1,87	US$ 1,10 — 3,43
Tecnologia atual	US$ 1,80 — 3,70	US$ 3,85 — 8,00
Tecnologia avançada	US$ 1,20 — 1,80	US$ 1,40 — 2,50

Uma vez que não estão disponíveis os dados relativos às modificações internas da indústria para reduzir as descargas de águas residuárias, o custo total desta atividade não pode ser comparado aos custos reduzidos para o tratamento de águas residuárias. Entretanto o efeito combinado dessas medidas futuras no interior da fábrica reduzirão os volumes de despejos em cêrca de 45%, e as cargas de DBO ao redor de 25 a 70%. A economia resultante nos custos de tratamento variará de acôrdo com o tamanho da indústria. Quando estiver em uso a maior parte das medidas internas projetadas, a economia nos custos de tratamento poderá ser semelhante à dos dados de custo relativo obtidos através da comparação de capital gerado e de custos em operação de tratamento para o caso de tecnologia atual e avançada (representando aumento na redução interna da fábrica). Baseado em uma produção por tonelada, os custos de capital foram reduzidos de 50 a 65% e os custos de operação o foram de 30 a 65%. O quadro econômico geral deve considerar o custo das atividades no interior da indústria que poderiam falsear totalmente a redução dos custos de tratamento acima expostos.

LEVANTAMENTOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

4. INDÚSTRIA TÊXTIL

ESCOPO

Durante os 90 dias postos à disposição do presente levantamento, foram examinados os dados técnicos e econômicos por meio de um estudo global da indústria. Em conjunto com os representantes responsáveis das indústrias foi feita uma revisão, no campo e no gabinete, das correlações entre o produto e os subsistemas de processos de fabricação possíveis. As associações profissionais competentes e os peritos industriais apresentaram seus dados e os seus pontos de vista e também procederam a uma revisão da minuta do presente relatório. Os gerentes das indústrias cooperaram através da permissão de serem efetuadas verificações limitadas dos subprocessos de suas indústrias, além da coleta de amostras. A literatura foi completamente revista.

Devido à grande variedade de fábricas e de processos, foi feita uma tentativa de conseguir uma visão completa, embora aproximada, dos subprocessos.

Foi realizada uma avaliação total da correlação entre os produtos fabricados, as cargas poluidoras dos despejos, os aspectos econômicos e os fatôres a longo prazo dos padrões de qualidade do ambiente.

RESUMO DO RELATÓRIO

Tomada como um todo, a indústria têxtil é um dos fatôres importantes na economia norte-americana. Cêrca de 900.000 pessoas são empregadas em mais de 7.000 tecelagens. De acôrdo com a súmula estatística de 1966, dos Estados Unidos, a indústria de tecidos inverteu um capital de mais de 10 bilhões de dólares americanos e gastou mais de 1 bilhão na construção de novas indústrias e em equipamentos, nesse ano de 1966.

Êste levantamento industrial é dividido em três seções mais importantes. A primeira seção contém o levantamento da indústria de tecelagem e acabamento de lã. A segunda seção corresponde à indústria de acabamento de tecidos de algodão. E a terceira seção compreende a indústria de tecidos sintéticos. Tôdas essas indústrias são complexas, variáveis e em modificação constante. Os despejos gerados pela indústria variam à medida que a pesquisa e o desenvolvimento produzem novos reagentes, novos processos, novos maquinários, novas técnicas e também conforme a demanda do consumidor por outros tipos de tecidos e de côres. Por esta razão o estudo enfatizou os principais tipos de produtos têxteis. Não foram objeto de descrição específica os produtos menos comuns, tais como linho, olefinas e outras. Para efeito do escôpo dêste estudo, é importante estabelecer uma diferença entre o processo de acabamento e as operações de tecelagem que o precedem. A transformação da fibra crua em tecido não acabado ou de fios é essencialmente uma operação a sêco, com exceção da fase de lavagem de lã crua. Entretanto, a operação de acabamento é um grande originador de despejos líquidos e é a parte da indústria que mais interessa.

A fibra de algodão é a mais popular e a mais importante entre as fibras usadas pela indústria têxtil norte-americana. Suas excelentes características de absorção e o fato de serem agradáveis para usar, aliados ao seu preço acessível, contribuem para que o seu mercado se mantenha estável em cêrca de 7 a 9 milhões de fardos por ano, consumidos durante a década passada. Esta quantidade representa aproximadamente metade do total de fibra usada pela indústria têxtil americana. O mercado de lã e do rayon também apresenta estabilidade razoável, perfazendo aproximadamente 10 e 16%, respectivamente, do consumo total de fibras durante essa década. As fibras sintéticas não celulósicas tiveram o seu consumo consideràvelmente aumentado, de aproximadamente 3 milhões de fardos anuais em 1957, para cêrca de 6 milhões em 1966. As fibras naturais combinadas com as fibras sintéticas estão tornando-se cada vez mais populares devido ao seu custo, aparência e utilidade.

Como regra geral existem quatro subprocessos básicos envolvidos no acabamento dos tecidos. Êstes podem ser classificados como segue:

1. lavagem
2. tingimento e/ou estampagem
3. alvejamento
4. acabamentos especiais.

Os acabamentos especiais (4) compreendem todos os subprocessos que não podem ser classificados em uma das três categorias precedentes.

Geralmente o algodão e as fibras sintéticas são tecidas para formar pano, antes que se lhes aplique qualquer operação de acabamento. O algodão geralmente é lavado e tingido antes de ser tecido. Em qualquer caso a operação de tecelagem contribui indiretamente para a carga poluidora, através da adição de goma e lubrificantes anti-estáticos que podem ser necessários para facilitar a manipulação e o uso da fibra ou da mistura de fibras.

A limpeza e lavagem de fibras naturais (algodão e lã) elimina as impurezas próprias, tais como sujidades e graxa, assim como também os aditivos químicos mencionados acima. Na indústria da lã, a lavagem remove impurezas em quantidade aproximadamente igual à das fibras resultantes, medidas em pêso, criando um dos despejos líquidos mais concentrados entre tôdas as indústrias, em têrmos de demanda bioquímica de oxigênio. Os despejos da lavagem de fibra sintética, ao contrário, são relativamente inexpressivos, tanto em carga poluidora quanto em volume, devido à falta de impurezas naturais e devido à pequena quantidade de aditivos empregada. A indústria de acabamento de algodão também remove a goma dos tecidos, a fim de retirar o amido, seguido por uma lavagem rigorosa para a remoção de sujidades.

Tanto na indústria de algodão, quanto na de lã, a lavagem é a maior fonte de poluição, contribuindo com 50 a 75% da carga total de DBO e de sólidos da indústria. Na indústria de tecidos sintéticos, a lavagem não é um produtor importante de despejos, geralmente produzindo menos da metade da carga poluidora da fábrica, medidas em têrmos de DBO.

A indústria têxtil emprega corante de vários tipos, incluindo produtos diretos, ácidos, básicos, naftólicos, sulfurados e acetatos. O emprêgo depende das características da fibra, da côr e do acabamento desejado. Alguns tecidos sintéticos necessitam do uso de mordentes especiais para que se consiga penetração satisfatória do corante na fibra. Êsses mordentes são agentes altamente poluidores e representam a principal fonte de poluição do acabamento dessas fibras sintéticas. Em alguns casos o tingimento por pressão em altas temperaturas é um método alternativo ao uso de mordentes durante o tingimento. Êste método evita tanto as despesas, quanto o efeito poluidor dos mordentes de tingimento, permitindo simultâneamente uma penetração satisfatória do corante, em tempo mais curto.

A estampagem é quase que invariàvelmente executada pela aplicação, através de calandras, de corantes empregados em forma de pasta. Um tratamento químico segue-se-lhe a fim de fixar a côr e uma lavagem final remove todo o resíduo. Geralmente o poder poluente do processo de estampagem não é muito alto.

Na indústria da lã, a carga poluidora dos subprocessos de tingimento e estampagem é de aproximadamente 3 a 10% da carga total em têrmos de DBO e de sólidos. No acabamento de algodão, os limites estão entre 15 e 35%, e para fibras sintéticas entre 5 e 80%. Entre os reagentes mais empregados encontram-se ácidos, sais e corantes orgânicos de muitos tipos, sendo êsses em seguida lançados aos coletores de esgotos após cada ciclo de tingimento.

O alvejamento geralmente é efetuado pela imersão do tecido em um banho parado contendo um agente oxidante em solução. Pode-se utilizar o processo contínuo de alvejamento. Pràticamente todo o algodão produzido é alvejado, indiferentemente da côr final que deverá ter. Êsse alvejamento consegue-se pelo emprêgo de hipoclorito e de peróxido de hidrogênio. A lã é alvejada comumente com peróxido de hidrogênio em meio ácido. Os sintéticos são alvejados com peróxido de hidrogênio, cloreto de sódio, ácido peracético, cloreto de sódio e outros reagentes.

Sòmente uma pequena porcentagem da lã e de tecidos sintéticos é branqueada completamente. A lã natural é amarela e o alvejamento é necessário apenas quando se desejam côres brancas ou tonalidades leves. Os tecidos sintéticos são branqueados a fim de remover dêles manchas, ou quando se deseja uma côr translúcida branco-azulada.

Os despejos do alvejamento podem ser tóxicos e ácidos, mas não são de concentração poluidora elevada. Geralmente não contribuem com mais do que 5% da carga orgânica de tôda a fábrica.

Os acabamentos especiais compreendem impermeabilização, tratamento contra ataque de

traças, tratamento para incombustibilidade, pré-encolhimento, abrilhantamento, tratamento contra enrugamento etc. Adicionalmente a lã é apiscada para que tome a aparência de feltro. O algodão poderá ser mercerizado ou causticado para apresentar uma superfície brilhante. A maior parte dêsses acabamentos especiais envolve tratamento químico e a remoção do resíduo por lavagem e/ou enxaguamento.

A contribuição poluidora do acabamento especial está entre os limites de 5 a 15% da carga total da indústria.

Evidentemente as cargas poluidoras de cada um dos subprocessos básicos variam entre limites largos, devido ao grande número de tipos de fibras diferentes produzidas, cada uma acompanhada de suas características distintas. Entretanto, as variações também aparecem entre diversas indústrias que manufaturam a mesma fibra, devido às diferenças tecnológicas existentes nos processos de produção e às muitas outras variáveis que possam existir. Além disso, muitas das tecelagens dos E.U.A. estão ocupadas na produção de tecidos compostos de uma combinação de fibras, requerendo uma metodologia de processo variável, dependendo da composição do tecido.

Embora as quantidades possam variar, as características poluidoras dos despejos geralmente apresentam uma certa semelhança em tôdas as tecelagens que estejam processando a mesma fibra.

Os despejos dos lanifícios são caracterizados por DBO elevada, concentração elevada de sólidos e teores elevados de graxa. Os despejos das tecelagens contêm corantes que são extremamente difíceis de serem removidos pelos tratamentos comuns de despejos. A graxa da lã, ou lanolina, constitui um problema especialmente difícil, pelo fato de que pode ser necessário um pré-tratamento para a sua remoção antes que seja viável um processo de tratamento biológico eficiente para o efluente da fábrica. O custo da remoção da lanolina geralmente é mais elevado do que o valor da graxa recuperada.

Os despejos do acabamento do algodão não são nem de longe tão concentrados quanto os produzidos pelos lanifícios, pois não há graxa para ser removida, assim como apresentam um baixo teor de sólidos. Outras características são elevada DBO (embora seja consideràvelmente mais baixa do que a que é encontrada nos lanifícios), e possìvelmente apresentem forte coloração. As quantidades médias de poluentes produzidos por tonelada de algodão acabado são 155 quilogramos de DBO, 70 quilogramos de sólidos suspensos e 205 quilogramos de sólidos totais dissolvidos. Os despejos do acabamento do algodão podem ser tratados por métodos biológicos convencionais e não apresentam qualquer problema especial.

As águas residuárias do acabamento de fibras sintéticas geralmente são menos concentradas do que os despejos de acabamento de algodão, quanto aos teores de poluentes e às suas características. Uma diferença significativa pode ser a toxidez dos corantes sintéticos contidos nos despejos quando há presença de íons metálicos na composição dos mordentes. As quantidades de poluentes por 1.000 quilogramas de tecido acabado variam entre amplos limites, devido aos tipos diferentes de fibras processadas. Os limites estão entre 20 e 250 quilogramos de DBO, 20 à 150 quilogramos de sólidos suspensos e de 20 a 600 kg de sólidos totais dissolvidos. No texto figura uma subdivisão das quantidades citadas de acôrdo com o tipo de fibra.

A toxidez dos despejos de tingimento de fibras sintéticas pode retardar ou interromper o tratamento biológico do resíduo quando a concentração dos inibidores fôr elevada. Nestes casos será necessário efetuar um pré-tratamento químico antes do tratamento biológico. Pode-se descarregar os resíduos nos coletores urbanos.

O uso de água nas indústrias têxteis é relativamente elevado devido às grandes quantidades de água necessárias nas operações de lavagem e de enxaguamento dos tecidos. As indústrias de acabamento de algodão e de lã usam entre 240 e 600 litros de água por quilograma de tecido produzido. As indústrias de acabamento de tecidos sintéticos empregam água em quantidade consideràvelmente mais baixa, variando entre os limites de 24 a 230 litros de água por quilograma de tecido. Esta demanda menor de água origina-se na ausência de impurezas naturais sôbre as fibras sintéticas, permitindo uma lavagem menos intensa quando comparada com a lavagem do algodão ou da lã. A reutilização de água não tem sido praticada em grande escala. Entretanto, espera-se que serão adotadas no futuro práticas de recirculação mais intensas, uma vez que o custo da água está em ascensão e a pressão exercida pelas autoridades controladoras da poluição está crescendo constantemente.

Os resíduos líquidos das tecelagens provêm de duas fontes principais: (1) as impurezas naturais da fibra, tais como sujidades, graxa, matéria vegetal etc.; (2) os reagentes de processos utilizados, tais como detergentes, corantes, dextrina, óleo, anti-estáticos e lubrificantes. Pode-se conseguir uma redução significativa da poluição pela substituição dos reagentes de elevada DBO por outros de DBO mais baixa. Como exemplo, pode-se citar a substituição do sabão por deter-

gentes sintéticos na lavagem de lã, prática esta que poderá produzir uma redução de DBO de 25%. O emprêgo de subprocessos contínuos de fabricação, em lugar da produção por lotes, tem sido reputado como útil na redução tanto da demanda de água, quanto de reagentes, reduzindo as cargas de DBO de até 20%. Algumas das impurezas naturais podem ser recuperadas do despejo e dispostas como resíduos sólidos; podem ser vendidas, como é o caso da lanolina. Em geral a redução nos despejos pode ser obtida pela substituição dos reagentes químicos, pela maquinaria mais eficiente, pelo melhor contrôle e instrumentação dos processos e pela economia mais eficiente e recuperação e reutilização de reagentes químicos.

Os métodos de tratamento de despejos industriais comumente empregam, quando isto é possível, processos de baixo custo desenvolvidos para o tratamento de despejos domésticos. Além disso, a peneiração e os tanques de homogeneização são utilizados como pré-tratamento.

Os efluentes de indústria de acabamento de tecidos contêm resíduos similares aos constituintes do esgôto doméstico e podem ser tratados com eficiência a qualquer grau de depuração desejado, dentro das possibilidades da tecnologia dos processos e das despesas relacionadas com as instalações de tratamento.

A segregação de despejos industriais, por tipos e concentrações, bem como a recirculação dos fluidos do processo, podem reduzir a quantidade total de água consumida e a de sólidos gerados. O pré-tratamento de despejos industriais contendo constituintes químicos complexos, ou não imediatamente biodegradáveis, ou que desprendam cheiro forte, ou que sejam fortemente ácidos, básicos ou tóxicos, vez por outra podem necessitar adicionalmente instalações custosas de pré-tratamento especial. A fim de se conseguir um efluente com características biodegradáveis mais aceitáveis, podem-se empregar instalações de tratamento químico-mecânico, envolvendo métodos tais como precipitação, flotação, lavagem em tôrres, tanques de neutralização e outros processos similares. A meta geralmente desejável é a conversão dos resíduos em uma fonte de material utilizável ou então a modificação do subprocesso que produz o despejo, a fim de reduzir a quantidade de resíduos.

Comumente emprega-se a peneiração para remover as fibras que possam interferir com as operações de tratamento subseqüentes. Empregam-se tanques de homogeneização e de retenção devido a processos operados descontinuamente, produzindo descargas irregulares. Desta forma os despejos vão provocar sobrecargas momentâneas e vazões intermitentes através do sistema de tratamento, quando não se empregam aquêles tanques.

A porcentagem de resíduos de tecelagem tratados em estações depuradoras de esgotos urbanos está crescendo continuamente à medida que são urbanizadas áreas anteriormente de caráter rural e através da construção de fábricas novas em comunidades já implantadas.

De maneira geral os custos de capital aplicado na fabricação tiveram incremento considerável de 1950 para cá. Entretanto, os custos de operação e manutenção decresceram ligeiramente, permitindo que os custos globais de produção permaneçam em nível constante. A estabilidade nos custos de produção pode ser atribuída à tendência em direção à automação, dessa maneira limitando o crescimento dos custos de mão-de-obra.

O número total de empregados constantes das fôlhas de pagamento da indústria têxtil decresceu de aproximadamente 30% entre 1950 e 1963. Durante êste mesmo período, a produção cresceu de aproximadamente 22%. Uma grande parcela dêsse crescimento pode ser atribuído ao emprêgo de fibras sintéticas, uma vez que a produção de algodão e de lã não cresceu significativamente. A produção total, por empregado, cresceu de aproximadamente 57% no período entre 1950 e 1963.

Os custos de tratamento de despejos nas indústrias têxteis são uma pequena fração dos custos de produção. A porcentagem do custo do tratamento dos resíduos em relação as da produção total é estimada em 2% para lã, 1,7% para o algodão e 2,2% para tecidos sintéticos. Estas porcentagens referem-se à indústria como um todo. Os custos são dados detalhadamente na seção IV do texto, para cada tipo de indústria.

A indústria do acabamento do algodão é o maior produtor de despejos entre tôdas as indústrias de acabamento. Estima-se que a carga poluidora global que é lançada aos cursos de água dos E.U.A., produzido por indústrias de acabamento de algodão, foi de 120.000 t de DBO em 1967. A contribuição dos lanifícios foi estimada em 60.000 t e aquela da indústria de tecidos sintéticos em 47.000 t de DBO, em 1967. Estas estimativas representam a diferença entre os resíduos brutos e a parcela removida por estações de tratamento de esgotos municipais e industriais.

Fazendo-se a projeção simultânea do crescimento das indústrias e do progresso de introdução de práticas de tratamento de despejos, pode-se obter a projeção das quantidades descar-

regadas de resíduos. Na indústria do algodão espera-se que haja um decréscimo constante da quantidade de resíduos descarregada, até atingir metade da quantidade de 1963 em 1967. O lançamento de despejos de lanifícios também deve diminuir constantemente, até alcançar, no ano de 1967, 75% do valor de 1963. Devido ao crescimento tremendo da indústria de tecidos sintéticos, espera-se que haja um aumento da descarga de efluentes dessas indústrias, alcançando um pico em 1968, decrescendo depois, gradualmente, até que seja atingido o nível de 1963 no ano de 1977. O texto contém uma tabela detalhada da discussão acima, expressa ano por ano. O decréscimo esperado nas quantidades de poluentes que são vertidos nos cursos de água dos E.U.A. através da indústria de acabamento de tecidos, baseia-se na presunção de que serão empregados processos de fabricação mais eficientes, que uma porcentagem maior dos despejos será tratada, que serão empregados processos mais eficientes no tratamento dos resíduos, que as autoridades de contrôle da poluição das águas exerçam pressão em tôdas as áreas e que haja rápida expansão no emprêgo de fibras sintéticas.

LEVANTAMENTOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

5. REFINARIAS DE PETRÓLEO

ESCOPO

Êste trabalho se refere aos resíduos da indústria de refinação do petróleo. Não cobre a produção de óleo cru, nem de gás natural proveniente de poços, nem de gasolina natural, nem outras operações associadas a êstes produtos. O transporte de produtos de petróleo é estudado apenas na parte que interessa ao contrôle de poluição das águas, como, por exemplo, a água utilizada com o lastro de petroleiros. As principais áreas de discussão são: os processos fundamentais de produção e seus modelos de uso, utilização e reutilização de água, quantidade e características dos despejos, práticas de redução dos resíduos (incluindo tanto o tratamento dos despejos quanto o seu aproveitamento na indústria), suas eficiências, e custos do tratamento. Em cada área de discussão foram feitas projeções ou estimativas para caracterizar a situação que se espera ter em 1977.

RESUMO DO ESTUDO

INTRODUÇÃO

A refinação de petróleo é uma das mais importantes indústrias manufatureiras dos Estados Unidos. Em 1963 mantinha 120.000 empregados, com uma fôlha de pagamento de perto de 16 bilhões de dólares. No mesmo ano as refinarias foram responsáveis por quase 3% do produto bruto nacional. É uma das maiores indústrias de produção por via úmida, nos Estados Unidos. Extenso trabalho foi realizado no campo da redução da poluição das águas, como o indica o valor de reposição do equipamento de tratamento dos despejos que, em 1966, alcançava a cifra de US$ 255.000.000.

PROCESSOS FUNDAMENTAIS

Uma refinaria de petróleo é uma combinação complexa de processos e operações interdependentes, muitos dos quais são êles mesmos complexos. Durante a execução do presente levantamento dos fatôres de poluição, foram identificados vinte processos como sendo fundamentais na fabricação dos principais produtos do óleo cru. Êstes processos são sumarizados a seguir, apresentados em seqüência tão próxima à seqüência de fabricação quanto o permita uma combinação de processos tão complicada.

Armazenagem de óleo cru e de produtos — É feita em tanques de tamanhos variados com a finalidade de garantir o abastecimento adequado de óleos crus para o fracionamento primário, durante um tempo de operação considerado econômico, para uniformizar as vazões de produção e para a armazenagem de materiais destinados às unidades de processamento intermediário e para a armazenagem dos produtos finais antes da sua expedição em conformidade com as demandas do mercado consumidor. Durante a armazenagem há separação de água, sendo esta drenada e encaminhada aos esgotos.

Dessalgação do óleo cru — Efetua-se por processos eletrostáticos e químicos para a remoção de sais inorgânicos e sólidos em suspensão do óleo cru, antes do fracionamento. O óleo cru é emulsionado com água, sendo a emulsão quebrada por meio de um campo eletrostático ou por desemulsificantes químicos específicos. A água se apodera dos sais e demais impurezas do óleo, decanta para o fundo e é descarregada no sistema de coleta.

Fracionamento do óleo cru — É a destilação para separar do resíduo denso do óleo (cauda), as partes mais voláteis, como gases e gasolina, querosene, óleo combustível, óleo diesel, óleos lubrificantes e outras frações destiladas. A tendência caminha em direção de combinações mais complexas de tôrres sob pressão atmosférica ou sob vácuo, com maior produção de outros destilados. As colunas de fracionamento de óleo cru providenciam a alimentação para as unidades de processamento a jusante e produzem alguns produtos finais.

Craqueamento térmico — As frações pesadas são decompostas pelo calor e pressão em frações mais leves, tais como óleo combustível doméstico, material para craqueamento catalítico, etc. Combustíveis pesados ou coque são produzidos do resíduo não craqueado. O craqueamento convencional, importante operação no passado, está sendo substituído paulatinamente pelo craqueamento catalítico, mas há unidades de craqueamento térmico modificado que estão sendo instaladas em um número significativo de refinarias, e espera-se que sua aplicação cresça.

Craqueamento catalítico — Neste processo, assim como no de craqueamento térmico, as frações mais pesadas são decompostas em frações mais leves. Provàvelmente é esta a chave para a produção de grandes volumes de material para a manufatura de gasolina com alto teor de octana. Produzem-se também óleos combustíveis e destilados médios. O emprêgo de catalizadores permite operar a temperaturas e pressões mais baixas do que as empregadas no craqueamento térmico, evitando, ainda, a produção de produtos polimerizados indesejáveis. Os processos de craqueamento catalítico «fluidizado», no qual o catalisador, muito finamente pulverizado, é manipulado como se fôsse um fluido, substituíram largamente os processos de leito fixo e leito móvel, que empregam o catalisador granulado ou peletizado.

Craqueamento hidrogenado — É bàsicamente o craqueamento catalítico em presença de hidrogênio, utilizando temperaturas mais baixas e pressões mais elevadas. Os produtos se assemelham aos do craqueamento catalítico, porém o craqueamento hidrogenado tem maior flexibilidade no ajuste das operações para atender a alterações da demanda de produtos. É um dos processos em mais rápido desenvolvimento.

Reforma — É um processo de rearranjo molecular para a conversão de frações de baixo teor de octano em frações para gasolina de alta octanagem ou para a produção de compostos aromáticos para a indústria petroquímica. Há muitas variedades, mas a diferença essencial, e muitas vêzes a única diferença, reside na composição do catalisador empregado.

Polimerização — É um processo para converter as olefinas intermediárias (especialmente o propileno) em gasolina com polímeros de pêso molecular não elevado. É considerado um processo marginal, pois o teor de octano não é significativamente mais elevado do que o da fração mista usada na produção de gasolina básica, de modo que não pode provocar a melhoria da qualidade do conjunto de combustíveis para motor. Também é assim considerado pelo fato de que o rendimento por unidade de fração de olefina é muito melhor do que o rendimento da polimerização. Por conseguinte espera-se que o declínio do emprêgo do processo atual de polimerização continue.

Alcilação — É a reação de uma isoparafina (geralmente isobutano) com uma olefina (propileno, butileno, etc.), na presença de um catalisador, a fim de se obter um alcilato de elevada octanagem, que constitui um dos mais importantes componentes das gasolinas para automóveis. O catalisador mais empregado é o ácido sulfúrico, seguido de ácido fluorídrico e cloreto de alumínio.

Espera-se que continue crescendo a capacidade do processo de alcilação, em decorrência da demanda por gasolinas de alto teor de octano.

Isomerização — É outro processo de rearranjo molecular muito semelhante ao de reforma. Geralmente a alimentação é feita com frações mais leves e mais específicas (butano, pentano e hexano normais). Os produtos desejados são o isobutano como intermediário para alcilação, e isômeros com alto teor de octano, contidos no material de alimentação, como combustível para motores.

Refinação de solventes — Inclui grande número de subprocessos alternativos destinados à obtenção de intermediários para óleos lubrificantes de alta qualidade e de aromáticos, a partir de intermediários contendo substâncias indesejáveis, tais como compostos naftênicos, ácidos, organometálicos e outros. Trata-se, bàsicamente, de um processo de extração por solventes, valendo-se da diferença entre as solubilidades dos componentes desejáveis e indesejáveis. As fases principais são: extração por solventes em contracorrente, a separação entre solvente e produto por aquecimento e fracionamento, a remoção de traços de solventes do produto e recuperação do solvente.

Desparafinagem — É a remoção da parafina dos intermediários da fabricação de óleos lubrificantes, geralmente após a remoção de asfalto e refinação com solvente, a fim de produzir lubrificantes de baixo ponto de escoamento e de recuperar parafina microcristalina. Para conseguir a cristalização da parafina, os vários processos de desparafinagem empregam solventes (principalmente metiletilcetona), excetuando-se apenas a prensagem e exsudação, que são processos estritamente físicos, atualmente raramente empregados.

O solvente é introduzido no fluxo destilado contendo parafina em pontos selecionados do

aparelhamento de resfriamento sendo a parafina removida em filtros a vácuo. Através da seleção do material de partida e da variação das condições de operação, a operação pode ser deslocada da desparafinagem de um intermediário de fabricação de óleo lubrificante, para a desoleificação de um intermediário da parafina.

Hidrogenação — É um processo de remoção de compostos sulfurados, de materiais produtores de cheiro, côr e gomosidades, além de outras impurezas, de uma grande variedade de frações do petróleo, por meio de ação catalítica em presença de hidrogênio. Na maior parte dos subprocessos os intermediários são misturados com hidrogênio, aquecidos e levados ao reator catalítico. Os produtos da reação são resfriados, separando-se então o hidrogênio, as impurezas e o produto de alta qualidade. A hidrogenação era primitivamente utilizada em intermediários mais leves, porém o avanço na tecnologia de operação e o aperfeiçoamento dos catalisadores fizeram com que a aplicação se estendesse a frações cada vez mais densas, tais como são os lubrificantes e as parafinas. Ao lado do craqueamento hidrogenado, constitui um dos processos de refinação em mais rápido desenvolvimento.

Desasfaltagem — É a remoção de asfalto ou resinas das frações viscosas de hidrocarbonetos, como o é o óleo cru reduzido, a fim de produzir intermediários adequados aos processos de obtenção de lubrificantes ou de craqueamento catalítico. É um processo de extração por solvente, geralmente empregando o propano para dissolver os materiais asfálticos. Após provocar o contato do propano com os remanescentes na cuba da coluna de fracionamento ou com outros produtos pesados em uma coluna de extração, o óleo desasfaltado é removido pelo tôpo e os produtos asfálticos pela cuba, sendo ambas as porções submetidas à recuperação de propano.

Secagem e desodorização — Compõe-se de uma categoria ampla de processos destinados principalmente à remoção de compostos sulfurados, água e outras impurezas de gasolina, querosene, combustível para reatores a jato, óleos para calefação doméstica e de outros destilados médios. A desodorização é obtida pela remoção de gás sulfídrico, mercáptãs e enxôfre elementar, que emprestam um cheiro mefítico e/ou diminuem a suscetibilidade da gasolina à chumbotetraetila. As principais operações de desodorização são a oxidação dos mercáptãs a bissulfato, a remoção de mercáptãs e a destruição e remoção de todos os compostos sulfurados (assim como também do enxôfre elementar). A secagem é realizada por meio de filtros salinos ou de leitos de argila adsorvente. Para facilitar a separação do produto e da solução de tratamento, empregam-se às vêzes campos elétricos.

Manufatura de parafina — O processo de fracionamento mais empregado para a produção de parafina (às vêzes microcristalizada) de baixo teor de óleos, é em muitos aspectos semelhante à desparafinagem com metiletilcetona. As principais diferenças residem na seleção de um solvente ou de uma mistura de solventes que seja adequada à cristalização e separação de parafina e um fluxo mais complexo de cristalização-filtração, compreendendo a redissolução e recristalização.

Manufatura de graxa — Êste processo de fabricação de vários tipos de graxas lubrificantes compreende a preparação de uma base saponificada oriunda da ação de um hidróxido alcalino-terroso sôbre um ácido graxo, seguido da adição de óleo e de aditivos especiais. O equipamento principal consiste de um aquecedor de óleo, de um recipiente de contato de alto poder de dispersão, de um caldeirão com raspadores e um purificador de graxa. Devido ao desenvolvimento de peças seladas, com lubrificação permanente, e de graxas de maior durabilidade, deve-se esperar um declínio na produção dêste material.

Refinação de óleo lubrificante — Os produtos intermediários refinados por solvente e desparafinados sofrem um tratamento posterior por meio de argila ou de ácido para remover os materiais responsáveis pela côr e outras substâncias indesejáveis. A filtração contínua de contato, na qual se aquece uma lama de óleo e de argila seguida de filtração a vácuo, assim como a filtração por percolação, em que o óleo é filtrado através de leitos de argila, são os subprocessos mais comumente empregados. A percolação compreende também a lavagem com nafta e a calcinação da argila residuária em fornos, para eliminar os depósitos carbonáceos e outras impurezas.

Padronização e embalagem — A padronização é a fase final na manufatura de produtos de petróleo acabados a fim de satisfazer às especificações de qualidade e às exigências do mercado. A operação de maior volume é a mistura de vários tipos de gasolina (inclusive alcilatos e outros componentes de alta octanagem) e aditivos antidetonantes, antiferrugem, anticongelantes e outros. Óleo diesel, óleos lubrificantes, parafinas e asfaltos são outros produtos de petróleo que normalmente compreendem a mistura de vários componentes e/ou aditivos. A embalagem nas refinarias é, geralmente, alta-

mente automatizada e restrita a produtos de grande saída, destinados ao consumidor, como é o caso dos óleos para motores.

Produção de hidrogênio — O rápido crescimento das técnicas de hidrogenação e de craqueamento hidrogenado provocou um aumento na demanda de hidrogênio nas refinarias mais modernas, a ponto de ultrapassar a disponibilidade dêste gás como subproduto das operações de reforma e outros processos da refinação. O hidrogênio também é requerido como intermediário para a produção de amônia e de metanol. O subprocesso mais empregado é a reforma com vapor, no qual os gases dessulfurados da refinação são convertidos em hidrogênio, monóxido de carbono e anidrido carbônico, através de uma reação catalítica; geralmente há ainda uma operação adicional para transformar o monóxido de carbono em anidrido carbônico.

Essas descrições encontram-se mais detalhadas em um anexo ao texto .

Utilização e reutilização da água

O total de água utilizada nas refinarias de petróleo norte-americanos, incluindo a de recirculação, cresceu 48,5% entre 1954 e 1964, para alcançar um volume diário de 64 milhões de metros cúbicos. Durante o mesmo período, o consumo de água cresceu de apenas 13,2%, o que indica um substancial incremento na reutilização da água. A produção de óleo cru cresceu 27%, e o valor acrescido pelos produtos, em 1964, foi 70% maior do que o valor correspondente em 1954.

A relação entre o acréscimo no total de água usada e o valor acrescido pelos produtos é significativo, porque a alteração no valor acrescido reflete o aumento no total de produtos, e o uso de água é mais relacionado com o total de produtos do que com o volume de óleo cru. O maior acréscimo no valor acrescido (70%, contra 48,5% de água usada) demonstra que o aumento de produção está sendo acompanhado por uma redução na quantidade de água gasta por unidade produzida. Vários levantamentos constantes da literatura especializada comprovam esta tendência para um menor consumo de água. Um levantamento efetuado em 1955, compreendendo 102 refinarias, revelou uma média de 9 m^3 de água servida por metro cúbico de óleo cru, ao passo que em 1959, um inquérito compreendendo 182 refinarias evidenciou apenas 4,1 m^3/m^3. A interpretação de dados de outras fontes resultou em 4,8, 2,4 e 1,2 m^3 de água/m^3 de óleo cru, respectivamente, para refinarias mais antigas, típicas ou mais modernas.

As necessidades de refrigeração são o fator principal no consumo de água. Estima-se em aproximadamente 90% do total a fração de água necessária à refrigeração. No levantamento de 1955, um têrço das refinarias reempregava sua água de refrigeração de 10 a 50 vêzes, e apenas 17 a utilizavam uma única vez.

As refinarias que possuiam sistemas de recirculação bombeavam perto do dôbro de água de refrigeração em comparação com a empregada pelas indústrias que a usavam em ciclo aberto, porém consumiam apenas 4% da água de abastecimento; o consumo real de água (principalmente reposição de perdas por evaporação), foi entretanto, cêrca de 24 vêzes mais elevado nos sistemas com recirculação.

O uso de muito maiores quantidades de água pelas refinarias integradas, em comparação com as indústrias de simples fracionamento que não aplicam o craqueamento, fornece algumas indicações sôbre a demanda de água em processos específicos. A diferença é atribuída aos grandes volumes de água de refrigeração necessários durante os processos de craqueamento térmico e catalítico.

Outro emprêgo significativo de água é o associado aos condensadores de colunas de fracionamento a vácuo. A maioria das refinarias emprega condensadores barométricos que compreendem a injeção direta de água, formando-se em conseqüência emulsões oleosas de difícil remoção. Nos condensadores de superfície a água de refrigeração não entra em contato com os hidrocarbonetos, sendo portanto possível reutilizá-la prontamente. Conclui-se daí que a substituição de condensadores barométricos por condensadores de superfície teria dois efeitos benéficos: reutilização mais intensa de água e redução dos volumes e das cargas de águas residuárias.

Vários progressos na tecnologia da refrigeração da água indicam que existe a possibilidade de redução no uso da mesma. O emprêgo de permutadores de calor tubulares nervurados resfriados com ar, em lugar dos refrigeradores convencionais, poderia reduzir dràsticamente o consumo de água, porque eliminaria pràticamente as perdas por evaporação; apresentaria também vantagens adicionais relacionadas com contrôle de corrosão e com a economia de canalizações e custos de bombeamento. Outro setor potencial para a redução das demandas de refrigeração e de aquecimento está na redução da capacidade dos reservatórios de armazenagem entre as fases de fabricação, através do contrôle refinado por meio de computadores, a fim de obter um fluxo uniforme na refinaria. Esta prática faria com que houvesse menor necessidade de

esfriar um produto intermediário quente, para mais tarde reaquecê-lo antes de transferi-lo às unidades de jusante; assim também seria reduzida a quantidade total necessária de água de refrigeração. Pode-se ver, em resumo, que, enquanto a produção de derivados do petróleo está aumentando, o consumo total de água está tendendo a manter-se inalterado. É possível que no futuro haja uma redução nas quantidades de água usada e nas de efluentes, através de práticas de refrigeração mais aperfeiçoadas.

Emprêgo dos processos de fabricação

O conhecimento do grau de aplicação dos vários processos e subprocessos fundamentais é um prerequisito para o desenvolvimento de qualquer levantamento industrial significativo. Uma vez que seria impraticável a compilação exaustiva e todos os processos em tôdas as refinarias, neste relatório a análise do emprêgo dos processos está confinada às alternativas dos subprocessos mais importantes de cada um dos processos selecionados. Tendo em vista a disponibilidade de dados relativos às águas residuárias (ou, mais precisamente, a falta de tais dados), a respeito de muitos subprocessos, esta análise sucinta constitui uma base tão útil para os processos, na elaboração de um levantamento da poluição, quanto o seria a enganosa compilação completa. O uso dos processos fundamentais e dos subprocessos mais importantes, em têrmos de total de refinarias dos E.U.A. que aplicam cada um dêles, é apresentado no corpo do texto do relatório. O quadro seguinte resume os pontos mais significativos do modêlo de processos, e, com destaque particular, as tendências dos processos.

	Porcentagem de refinarias				
	1950	1963	1967	1972	1977
Craqueamento térmico	59	48	45	40	35
Craqueamento térmico normal	—	28	18	8	2
«Coking»	—	14	16	20	25
«Visbreaking»	—	13	16	18	22
Craqueamento catalítico	25	51	56	60	65
«Fluid Catalytic Cracking»	—	39	45	50	60
«Thermofor Catalytic Cracking»	—	13	12	10	6
«Houdriflow»	—	3	4	2	0
Craqueamento hidrogenado	0	2	8	25	34
«Isomax»	—	—	4	11	15
«Unicracking»	—	—	2	8	12
«H-G Hydrocracking»	—	0,3	0,8	3	3
«H-Oil»	—	—	0,4	1	1
Reforma	—	62	67	74	79
«Platforming»	—	37	40	44	47
«Catalytic Reforming-Engelhard»	—	5	9	11	12
«Powerforming»	—	1	2	3	3
«Ultraforming»	—	6	6	7	8
Polimerização	25	42	33	26	7
Alcilação	10	38	47	54	62
Ácido sulfúrico	—	22	26	32	38
HF	—	16	21	22	25
Hidrogenação	—	47	56	70	80
«Unifining	—	22	23	30	35
«Hydrofining»	—	3	3	5	8
«Trickle Hydrodesulfurization»	—	0,3	2	4	5
«Ultrafining»	—	3	5	8	10
Acabamento de óleos lubrificantes	—	19	19	20	20
Percolação, Filtração	—	11	7	5	2
Filtração contínua de contato	—	6	7	7	7
Hidrogenação	—	2	5	8	11

Em alguns casos o dado relativo ao processo fundamental não coincide com a soma dos subprocessos listados. Há duas razões para estas aparentes discrepâncias: a mesma refinaria pode aplicar dois ou mais subprocessos em um dado setor do processo fundamental, tal como o craqueamento térmico, por exemplo; ou podem não estar listados todos os subprocessos aplicáveis, por exemplo a hidrogenação, a qual compreende um número muito grande de alternativas.

O grau de utilização pode ser também expresso em têrmos de capacidades dos vários processos e subprocessos, assim como também em têrmos de porcentagem de indústrias que aplicam cada um dêles. Não há diferença significativa entre as duas modalidades quando se comparam os subprocessos dentro de um processo fundamental, porém, torna-se significativa ao se estabelecerem relações entre processos fundamentais. Em 1963, por exemplo, o craqueamento catalítico era empregado em 51% das refinarias norte-americanas, e a polimerização em 42%, o que não representa uma diferença muito grande; entretanto a capacidade somada das unidades de craqueamento catalítico ultrapassava em mais de 30 vêzes a das unidades de polimerização.

Uma maneira de reconhecer êste fator no desenvolvimento que se segue, relativo aos volumes e cargas de águas residuárias, é o estabelecimento de uma série de categorias para denotar o nível tecnológico geral de uma refinaria. Nesta série são definidos três níveis tecnológicos:

Antigo — usando processos e subprocessos relativamente ineficientes e/ou obsoletos;

Típico — usando os processos e subprocessos mais empregados hoje em dia;

Avançado — usando todos ou a maioria dos processos e subprocessos avançados.

Assim sendo, cada sub-processo é designado por antigo, típico ou avançado. Nem sempre há uma diferença nítida, e em muitos casos pode-se justificar a classificação de um subprocesso em mais do que uma categoria tecnológica. Por exemplo, uma das versões de reforma catalítica (o «platforming») é enquadrada em tôdas as categorias, porque tem sido aplicada há muitos anos, é o processo de reforma atualmente mais usado e continua sendo instalado nas refinarias mais recentes e mais modernas.

Os dados de 1950, 1963 e 1967 que figuram na tabela são baseados nos levantamentos anuais das refinarias publicadas na revista «The Oil and Gas Journal», suplementados por outras informações disponíveis, além de resultados de levantamentos específicos de refinarias. As projeções para 1972 e 1977 compreenderam várias suposições:

1. decréscimo do número de refinarias, à razão de 2% por ano;

2. a maior parte dêste decréscimo é representada pela paralisação das indústrias menores e menos complexas;

3. aumento da quantidade de óleo cru, à razão de 1,5% ao ano;

4. aumento da capacidade média dos subprocessos avançados;

5. nenhuma alteração na capacidade média dos subprocessos que estão sendo abandonados;

6. nenhum processo revolucionário novo adotado antes de 1977.

As suposições relativas ao número de refinarias e às capacidades das unidades de subprocessos são baseadas em análises das práticas e tendências de 1935 até à presente data. O aumento na capacidade do óleo cru é derivado das previsões industriais relativas a derivados do petróleo, levando em consideração a influência do óleo cru importado e a esperança de se poder melhorar o rendimento por unidade de volume de óleo cru. A suposição de que não aparecerão novos processos revolucionários baseia-se na ausência, no momento, de qualquer nôvo avanço tecnológico e na crença de que, mesmo que tal avanço ocorresse sob forma conceitual ainda neste ano, o processo de refinação resultante requereria vários anos de trabalho de desenvolvimento antes de encontrar aplicação ainda que limitada.

As projeções do conjunto de subprocessos também foram influenciadas pelas projeções da demanda de produtos e por fatôres econômicos. Como exemplo pode ser citada a demanda crescente de combustíveis de baixo teor de enxôfre (baseada em considerações sôbre a poluição atmosférica) que estimulará o emprêgo do craqueamento hidrogenado e da hidrogenação. Ao mesmo tempo o custo relativamente elevado da hidrogenação provocará uma redução na sua velocidade de crescimento nas ocasiões em que os subprocessos mais recentes de secagem e desodorização possam alcançar remoção aceitável de enxôfre.

Após o delineamento do quadro da utilização dos processos atuais e futuros, o passo seguinte

para a execução do levantamento industrial foi o de elaborar uma combinação de processos refletindo três níveis tecnológicos e três amplitudes de tamanho de refinarias. Foram selecionados os subprocessos mais representativos dos níveis tecnológicos antigos, típicos e avançados, preparando-se fluxogramas gerais para as refinarias representativas de cada estágio da tecnologia. Há algumas diferenças nos processos fundamentais compreendendo estas três refinarias hipotéticas, pois os processos antigos estão sendo abandonados, enquanto os mais avançados estão se tornando cada vez mais importante. Tal fato resulta em algum grau de divergência da definição de processos fundamentais como sendo essenciais ao processo, porém diante das modificações constantes na indústria do petróleo, o que era considerado essencial em 1950 ou em 1963, não continua obrigatòriamente a ser utilizado em 1967, nem se espera que o seja em 1972 ou 1977.

Estabeleceu-se a classificação por tamanho como segue: pequena, abaixo de 5.600 m^3/dia; média, entre 5.600 e 16.000 m^3/dia; grande, acima de 16.000 m^3/dia.

A tabela seguinte dá a porcentagem de refinarias norte-americanas em cada categoria de tamanho e de nível tecnológico:

Tecnologia	Pequena	Média	Grande
Antiga	31,2%	4,4%	0,4%
Típica	32,5%	17,4%	7,0%
Avançada	3,4%	1,3%	2,4%
Total	67,1%	23,1%	9,8%

O critério para o emprêgo dêstes dados para avaliar a participação de cada tipo de refinaria no total da indústria tem que ser modificado pela consideração da capacidade de processamento de óleo cru. Êste fator mostra que as grandes refinarias (9,8% do número total), correspondem em capacidade de processamento de óleo cru a 45,7% do total, enquanto que as pequenas (61,1% do número total de refinarias) correspondem a apenas 19,5% da capacidade.

O enquadramento das refinarias existentes nas categorias tecnológicas apresentou alguns problemas. Havia disponibilidade de informações a respeito dos processos e subprocessos para servirem como base de classificação na maior parte dos casos, porém apareceram numerosas ocorrências de superposição, assim como de indústrias dirigidas para um único tipo de produto, de modo a requerer um julgamento criterioso. Os exemplos seguintes ilustram a base lógica de enquadramento. Uma refinaria relativamente completa, compreendendo tanto o craqueamento hidrogenado quanto a isomerização, foi classificada como «avançada». Uma refinaria com craqueamento catalítico «Thermofor» e polimerização, porém sem incluir alcilação nem hidrogenação, foi classificada de «antiga». Em muitos casos, especialmente entre as refinarias menores, o número de processos faltantes foi elevado, a ponto de tornar impossível sua classificação tecnológica significativa, assim que sòmente 196 das 261 refinarias foram classificadas. As restantes foram distribuídas entre «antigas» e «típicas», com inclinação para as «antigas», uma vez que as refinarias muito pequenas, difíceis de classificação, são também aquelas que têm menor probabilidade de acompanhar o progresso tecnológico geral.

Em vista das limitações impostas pela escassez de dados relativos às águas residuárias para subprocessos específicos, a avaliação qualitativa das cargas de resíduos foi baseada na distribuição proporcional dos dados sôbre efluentes totais das refinarias para suplementar os dados incompletos relativos a subprocessos específicos. Os levantamentos de águas residuárias de cinco refinarias forneceram dados relativos à concentração de poluentes e de vazão dos efluentes adequados à determinação das cargas dos despejos dos subprocessos. Êstes dados e as informações sôbre produção das unidades de processos, assim como de outras fontes, constituíram a base para a determinação quantitativa de carga poluidora. Logo de início tornou-se aparente a falta de generalidade dos dados disponíveis, de modo a não ser possível sustentar o plano inicial para o desenvolvimento das quantidades de despejos e das cargas de poluentes, para refinarias pequenas, médias e grandes, cada uma dentro do seu nível tecnológico. Em primeiro lugar, as fontes de informação consideradas satisfatórias na base de subprocessos, não incluíram tôda a amplitude de tamanho em cada categoria tecnológica. Por êste motivo foi escolhida uma refinaria hipotética, com produção de 16.000 m^3/dia, para servir como base para a avaliação quantitativa dos três níveis tecnológicos.

Os parâmetros para a avaliação quantitativa foram DBO, fenóis e sulfetos, pois evidenciou-se pela experiência que os teores dêstes poluentes, além da vazão dos despejos, são os principais fatôres determinantes do custo de tratamento dos resíduos líqüidos. Os valores globais para cada refinaria, resultantes dêstes três parâmetros, e para a vazão, foram obtidos so-

mando-se os valores correspondentes de cada um dos processos fundamentais da refinaria. Êstes dados estão resumidos nas tabelas seguintes, junto com dados similares baseados nos despejos de refinarias efluindo de tanques retentores de óleo modêlo API:

a produtos específicos, com base nos rendimentos médios nacionais dêsses produtos e na relação entre processos específicos e produtos específicos.

As cargas totais de despejos industriais e as vazões de efluentes foram projetadas para 1977.

Soma dos processos individuais

Nível tecnológico	Vazão l/s	DBO kg/dia	Fenol kg/dia	Sulfeto kg/dia
Antigo	1.010	5.700	1.600	1.000
Típico	435	2.450	750	280
Avançado	200	1.900	400	310

Saída do retentor de óleo API

Nível tecnológico	Vazão l/s	DBO kg/dia	Fenol kg/dia	Sulfeto kg/dia
Antigo	1.100	18.000	1.350	450
Típico	440	4.500	450	130
Avançado	220	2.300	230	130

A vazão de despejos, baseada no efluente total após os retentores API, resultou um pouco mais elevada, provàvelmente pela falta de dados de vazão relativos a alguns processos e por causa das variações sensíveis no uso de água de refrigeração. A carga de DBO em cada categoria tecnológica é maior para o efluente total do que para a soma. Há duas razões para esta diferença: falta de dados de DBO para alguns processos, e, mais significativamente, a contribuição de vazamentos, respingos e outras fontes não resultantes dos processos. A ligeira discrepância nas refinarias mais avançadas tem sua principal explicação nas fontes não resultantes dos processos. Por outro lado, as cargas de fenol e de sulfetos são consistentemente mais reduzidas quando tomado por base o total dos efluentes da refinaria. O fenol é parcialmente extraído pelo óleo e removido junto com êste dos tanques retentores API. O teor de sulfetos é reduzido pela turbulência, pela temperatura e pelo pH mais baixo e pela remoção através dos lavadores em várias unidades de processamento.

As cargas de resíduos foram calculadas também na base de unidades dos principais produtos das refinarias. Tal prática envolveu a atribuição de cargas específicas e totais de resíduos

A projeção das cargas de despejos baseou-se num incremento anual de 3,6%, baseado em um ajeitamento entre as previsões da indústria e as projeções da soma da produção de óleo cru com o valor dos produtos. A projeção da vazão dos despejos deu resultado mais moderado com aumento em tôrno de 1% por ano, devido à forte tendência da indústria no aperfeiçoamento das práticas de emprêgo de água de refrigeração.

A transferência de material nas refinarias e a produção dos produtos principais foram revistos para que se evidenciassem tipos sazonais de produção de despejos, porém não foram encontradas variações apreciáveis embora tenha havido modificações sazonais na demanda de gasolina e na de óleo para calefação doméstica.

Práticas de redução de despejos

A avaliação da eficácia das modificações dos processos industriais na redução da poluição através de águas residuárias foi de caráter qualitativo e geral, mais do que quantitativo e específico. Com relação aos efeitos relativos da poluição provocada por determinados processos específicos, os progressos mais significativos verificaram-se com o craqueamento hidrogenado

e a hidrogenação. Cada um dêsses processos gera cargas poluidoras substancialmente mais reduzidas do que aquêles que passaram a substituir: os dados disponíveis sôbre concentração de poluentes nos efluentes das unidades indicam que êstes processos reduziram significativamente as cargas de sulfetos e de despejos cáusticos. Uma indicação mais geral da redução da poluição através da modificação dos processos de fabricação está nas cargas poluentes muito menores, por unidade produzida, no caso das refinarias «avançadas» quando comparadas com as refinarias «antigas» ou «típicas». Esta redução pode ser atribuída largamente à diminuição das perdas para o sistema coletor, por meio de operações de amostragem e descarga de águas nas refinarias «avançadas», onde as instalações, contrôles e as práticas gerais de operação têm possibilidade de serem de qualidade superior.

Os métodos de tratamento aplicáveis às refinarias de petróleo podem ser classificados em cinco tipos: métodos físicos, químicos, biológicos, terciários e métodos especiais integrados na fabricação.

Os processos físicos compreendem tanques separadores por gravidade, flotação (sem adição de reagentes) e evaporação. Tanques separadores (modêlo API ou tanques de terra), que são utilizados em pràticamente tôdas as refinarias, são destinados principalmente a remover óleo flutuante e sólidos sedimentáveis. Removem de 50 a 99% do óleo separável e 10 a 85% dos sólidos em suspensão. Paralelamente a estas funções principais, há também redução de DBO, DQO e fenol, sendo às vêzes o grau de remoção substancial, dependendo das características do despejo afluente. A flotação com ar, sem adição de reagentes, produz resultados comparáveis. A remoção de poluentes através dêste método é consideràvelmente limitado pela localização, clima e terreno disponível.

Os métodos químicos (coagulação-sedimentação, e flotação com adição de reagentes) são mais eficientes na remoção de óleo e sólidos, especialmente no caso de óleo emulsionado.

Os métodos biológicos compreendem lôdos ativados, filtros biológicos, lagoas aeradas e lagoas de estabilização. Geralmente êstes processos requerem tratamento prévio dos despejos para remover o óleo e para eliminar ou controlar outras condições (tais como substância tóxicas ou pH). O processo dos lôdos ativados é o mais eficiente para a remoção de matéria orgânica (esta é a principal finalidade do tratamento biológico); a eficiência esperada na remoção é de 70-95% da DBO, 30-70% da DQO e 65-99% dos fenóis e cianetos.

Até a presente data o tratamento terciário tem sido limitado ao emprêgo de carvão ativado e à ozonização, que são muito eficientes na eliminação de sabor, odor e de substâncias orgânicas persistentes nos efluentes tratados.

Os principais métodos integrados na fabricação são o tratamento químico de águas contendo compostos sulfurados, neutralização e oxidação de lixívias residuárias, tratamento de água de lastro de petroleiros, recuperação de bôrra de óleo e contrôle da temperatura. Estas medidas reduzem substancialmente as cargas de resíduos do afluente enviado às instalações gerais de tratamento da refinaria, e são necessárias, até certo ponto, para assegurar uma eficiência razoável das instalações depuradoras gerais.

Foi feita a revisão da freqüência do uso das várias práticas de tratamento. Pràticamente tôdas as refinarias atuais usam retentores de óleo por gravidade; apenas 5 a 10% têm instalações de tratamento químico. Cêrca de uma quarta parte opera lagoas de estabilização, mas substancialmente menos (5 a 7%)empregam os processos biológicos mais eficientes. A projeção da freqüência de uso, para 1977, indica: continuação da plena aplicação de retentores por gravidade, sendo que os separadores modêlo API substituirão a maior parte dos tanques em terra; processos de tratamento químico em 15-20% das refinarias; freqüência do emprêgo de processos biológicos fortemente aumentada, com pràticamente tôdas aplicando tratamento biológico, incluindo 55% que usarão o processo dos lôdos ativados; aproximadamente 5% utilizarão tratamento terciário. As projeções se refletem na suposição de serem postos em vigor regulamentos mais rigorosos e mais generalizados de contrôle da poluição das águas e do ar.

Para se avaliar a eficiência de cada processo de tratamento isoladamente, é essencial que haja uma seqüência apropriada entre as unidades, e que seja convenientemente considerada a segregação das águas «limpas», bem como outras medidas de tratamento preliminar.

A descarga de despejos de refinarias nos sistemas de coletores de esgotos urbanos não tem sido um fator significativo no contrôle da poluição pelas refinarias, principalmente devido à proibição do lançamento de óleos, inflamáveis e materiais explosivos. Entretanto, com pré-tratamento apropriado, compreendendo remoção de óleo, sulfetos e fenol, a disposição através do sistema público de esgotamento, além de ser exeqüível, poderá vir a ser econômicamente vantajoso.

A recurepação de subprodutos, definida como sendo a disposição de materiais para obter-se algum benefício econômico, embora insuficiente para cobrir o custo da recuperação, tem aplicação limitada. Até à presente data, o único subproduto considerado realmente significativo é o

enxôfre, que é obtido a partir das águas residuárias sulfurosas, assim como na operação de hidrogenação. O valor do enxôfre assim recuperado em 1966 foi estimado em US$ 40.000.000.

Custo do tratamento de despejos

Um relatório circunstanciado sôbre o custo do tratamento dos resíduos da indústria petroleira, efetuado em 1959, indicou que, na base do 183 refinarias informantes (de um total de 313), seus custos de reposição e de operação de instalações de tratamento de despejos montaram a US$ 156.000.000 e US$ 30.000.000, respectivamente. Os custos foram determinados por extrapolação, para convertê-los a 100% da capacidade de produção de óleo cru naquela oportunidade. Em 1959 as ampliações programadas das instalações de tratamento para 134 refinarias totalizaram US$ 29.000.000.

Os dados dêsse relatório de 1959 foram usados como base para o cálculo do valor de reposição e de custos de operação em 1966. Os fatôres empregados na atualização dos dados foram a suposição de um aumento de 30% nos custos de construção e de operação, além da extrapolação do valor das ampliações programadas em 1959 por 134 refinarias, para cobrir o total de 279 refinarias existentes em 1966. Desta forma o valor de reposição das instalações de tratamento, em 1966, foi estimado em ..... US$ 275.000.000, e os custos anuais correspondentes de operação, em US$ 55.000.000.

Os custos anuais e de capital para 10-12 processos específicos de depuração necessários para cobrir adequadamente todos os tipos de tratamento aplicáveis às refinarias ou aos efluentes da rêde coletora foram calculados para refinarias de porte pequeno, médio e grande e para nível tecnológico antigo, típico e avançado. Para efeito de cálculo dêsses dados, foram estipuladas as seguintes capacidades de produção: pequenas — 4.800 m^3/dia de produção; médias — 12.000 m^3/dia; grandes — 24.000 m^3/dia. Os custos de capital baseiam-se nas estimativas de 1967 relativas aos custos de construção (incluindo 15% de eventuais), mas não incluem o custo do projeto ou de outros honorários por serviços de engenharia. Os custos anuais, assim como as estimativas relativas a 1967 compreendem mão-de-obra, manutenção, utilidades e custo de reagentes, porém não incluem despesas fixas de depreciação, juros, impostos etc. Os custos do tratamento dos efluentes de sistemas de coleta foram depois distribuídos em função da vazão e da carga de DBO de cada processo fundamental. Seria desejável que o passo final nessa distribuição de custos tivesse sido o de estender o custo de cada processo de tratamento sôbre cada um dos processos fundamentais para refinarias pequenas, médias e grandes, em cada um dos níveis tecnológicos. Esta prática, entretanto, requereria a elaboração de mais do que uma centena de tabelas independentes; e para superar êste obstáculo, obtendo-se ao mesmo tempo estimativas razoáveis de custo de tratamento, foram estudadas três seqüências de tratamento de águas residuárias para representar respectivamente, grau de tratamento baixo, intermediário e elevado. Êstes graus foram assim definidos:

Baixo: retentor API com tratamento da bôrra oleosa;

Intermediário: o mesmo anterior mais: lagoa aerada e tratamento das águas sulfuradas;

Elevado: igual ao primeiro, mais: lôdos ativados, tratamento das águas sulfuradas, adensamento do lôdo, filtração a vácuo e incineração do lôdo.

A distribuição dos custos, para uma refinaria típica são apresentadas na tabela seguinte:

	Porcentagem do custo total de tratamento					
	Grau baixo		Grau intermed.		Grau elevado	
Processo fundamental	**Capital**	**Anual**	**Capital**	**Anual**	**Capital**	**Anual**
Armazenagem de óleo cru	1,9	2,7	1,6	2,5	2,4	2,7
Dessalgação de óleo cru	7,0	4,6	3,4	2,8	2,5	2,3
Destilação fracionada de óleo cru	50,1	50,0	41,2	45,0	34,2	35,4
Craqueamento térmico	5,3	3,5	6,2	3,8	2,6	1,6
Craqueamento catalítico	17,6	16,6	19,7	17,8	14,4	13,5
Craqueamento hidrogenado	2,6	1,7	4,5	2,8	1,9	1,0
Reforma	0,6	0,8	0,5	0,8	0,6	0,6
Polimerização	0,7	0,9	0,6	0,9	0,7	0,9
Alcilação	1,7	2,4	1,5	2,3	1,8	2,2
Refinação de solventes	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3
Desparafinação	0,4	0,6	0,4	0,6	5,5	5,7
Hidrogenação	0,2	0,3	5,4	3,3	2,5	1,6
Secagem e desodorização	9,6	13,3	11,4	14,9	17,9	19,6
Outros	1,9	2,2	3,2	2,2	12,7	12,6

Do exame da tabela conclui-se que a maior parte das despesas cabe ao fracionamento do óleo cru, ao craqueamento catolítico, e à secagem e desodorização, com predominância destas últimas, à medida que aumenta o grau de tratamento.

Embora não haja informações detalhadas para a justificação de medidas de contrôle da poluição integradas no processo de fabricação, pode-se ter idéia do seu valor econômico analisando os efeitos da redução das cargas orgânicas e das vazões sôbre os custos de tratamento. Os dados para uma refinaria com capacidade de 16.000 m^3 diários, empregando um elevado grau de tratamento, como já foi definido, indicam que uma redução de 50% na carga de DBO (sem alterar a vazão) acarretaria uma redução de 15% no custo de capital das instalações de tratamento. Uma redução de 50% na vazão de despejos (sem alterar a carga de DBO), acarretaria uma redução de 20%. Se tanto a DBO quanto a vazão fôssem reduzidas em 50%, o custo de capital sofreria uma redução de 32%.

LEVANTAMENTOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

6. FRUTAS E LEGUMES ENLATADOS E CONGELADOS

ESCOPO

O presente levantamento se ocupa das indústrias de conservas de alimentos vegetais por processo de enlatamento e de congelamento. Verificou-se que o volume de despejos, por unidade produzida, nos estabelecimentos de congelamento é o dôbro do que produzem os de enlatamento, embora a carga poluidora seja aproximadamente a mesma. O custo do tratamento perfaz cêrca de 2% do custo de industrialização. Foram consultadas as associações profissionais pertinentes e os peritos industriais. A literatura, evidentemente, foi totalmente revista.

RESUMO DO RELATÓRIO

A indústria de conservas de frutas e legumes é uma das mais importantes para o povo dos E.U.A., porque: 1) o valor total anual das vendas no varejo excede hoje a casa dos US$ 5 bilhões para os enlatados e US$ 3 bilhões para os congelados; 2) emprega grandes quantidades de água — smente em 1964 a produção de 944 milhões de unidades de frutas e legumes enlatados e congelados consumiu 290 milhões de metros cúbicos de água; 3) as matérias primas são cultivadas quase que exclusivamente dentro do país, lá são beneficiadas e preenchem a quase totalidade das necessidades de consumo doméstico.

A produção de frutas e legumes enlatados cresceu cêrca de 35% nos últimos 15 ou 16 anos. A produção de frutas e legumes congelados cresceu de 300% durante o mesmo período, principalmente devido à expansão do mercado de consumo de legumes congelados. Há muitas razões para esta modificação. As mais importantes são a aceitação de legumes congelados pelo público e os métodos mais eficientes e econômicos para conservar os produtos em forma congelada durante o transporte e colocação à venda.

Afirmar que essa indústria é diversificada pouco significa. Literalmente dúzias de produtos inteiramente diferentes, crus e parcialmente preparados, são processados em mais de 3.150 fábricas. Dessas, cêrca de 2.000 enlatam ou congelam frutas e legumes. Cada fábrica pode produzir grande variedade de produtos enlatados ou congelados. Para os fins dêste relatório a produção foi dividida como segue:

1. Frutas e legumes enlatados

2. Frutas e legumes congelados

No corpo do relatório encontra-se um fluxograma do processo, no qual se pode acompanhar a **preparação inicial,** comum a tôdas as matérias-primas, e que consiste em limpeza preliminar, classificação por tamanho e triagem. A finalidade dêstes processos iniciais é de remover do alimento o material indesejável antes de ser processado. Os resíduos desta operação geralmente compreendem terra, areia, pedras, inseticidas, sucos vegetais secos, vegetação, insetos e outros. Estas impurezas em geral são removidas da matéria-prima por imersão ou por jatos de água, embora se empregue também limpeza por ar comprimido, em casos limitados. A quantidade de impurezas depende do tipo de colheita (manual ou mecanizada) e o grau de limpeza na linha de produção. A tendência atual é para o emprêgo de matérias-primas colhidas mecânicamente, acarretando maior quantidade de terra e matéria estranha, assim como também especificações mais rigorosas para os produtos, exigindo limpeza mais completa. Ambas as tendências agem no mesmo sentido, provocando maiores volumes de águas residuárias e cargas poluidoras. A classificação segundo o tamanho faz-se comumente por meio de peneiras, correias ou outros tipos de separadores. A triagem geralmente é manual e afeta principalmente a quantidade de resíduos sólidos a serem removidos das instalações.

Na preparação inicial estão compreendidos os seguintes processos: apara, descaroçamento, corte, descascamento, inspeção e classificação. Entretanto, não são tôdas as matérias-primas que são submetidas a cada uma dessas operações.

A apara é realizada manualmente, sendo nesta operação produzidas pequenas quantidades de resíduos líqüidos e sólidos. O descaroçamento, principalmente de frutas, geralmente é efetuado em máquinas, dando como resultado um resíduo sólido que é disposto sôbre o solo. A operação de corte dá como conseqüência pequenas quantidades de resíduos líqüidos, proveniente do suco do produto e da água de lavagem do equipamento. A remoção da casca pode ser efetuada manual ou mecânicamente, por vapor ou por reagentes químicos. Êstes dois últimos métodos são os mais empregados e produzem um volume considerável de águas residuárias e elevadas cargas de DBO. Uma porcentagem ponderável da carga poluidora provém das operações de descascamento químico de pêssegos, tomates e outros produtos que devem ser pelados. A matéria-prima é imersa durante certo tempo em lixívia quente que literalmente dissolve a pele da fruta. Geralmente a lixívia é depois canalizada para reservatórios para reemprêgo. O produto pelado é lavado com água após sua retirada da lixívia. O despejo provocado pela lavagem para a remoção da lixívia é fortemente alcalino, quente, contém grande quantidade de substâncias minerais e de matéria orgânica dissolvida. Em muitas indústrias de enlatados êste resíduo sòzinho representa pràticamente a maior fonte isolada de DBO e de sólidos em suspensão. Após a classificação e inspeção, o passo final da **preparação inicial** é o transporte, geralmente por correia transportadora ou por canal de água, aos processos de **manipulação do produto convertido.** O transporte por água requer menor manutenção, é menos dispendioso na operação e serve para proteger o produto durante o transporte e para enxaguá-lo. Entretanto, se a água usada no transporte não fôr reutilizada várias vêzes, passará a representar um grande volume e uma grande porcentagem do total de água residuária. Poderá conter um teor significativo do total de DBO e de sólidos em suspensão.

Os primeiros oito processos, além das operações de limpeza após sua aplicação, freqüentemente contribuem com cêrca de 50% do volume total de despejos da indústria, com a maior parte da DBO e com virtualmente a totalidade dos sólidos em suspensão.

A manipulação do produto convertido, de frutas e legumes compreende alguns ou todos os processos seguintes: descascamento, mistura, adição de xaropes ou salmouras, fabricação de polpa, peneiração, cozimento, enchimento das latas, fechamento sob vácuo, processamento térmico, resfriamento das latas e armazenagem. Adicionalmente, os equipamentos e os pisos desta seção da indústria de enlatados usualmente são limpados quer continuamente, quer no fim de cada turno ou no fim de cada dia.

O processo de escaldamento é de grande importância. Durante a operação de escaldamento o produto (geralmente legumes verdes) é exposto à ação do vapor de água ou de água quente por um curto período de tempo. Com isto retarda-se a degradação da matéria orgânica por suas próprias enzimas. O despejo da operação de escaldamento é quente e contém quantidades consideráveis de matéria orgânica dissolvida. Alguns produtos sofrem processamento ulterior, sendo transformados em polpa, podendo ser peneirados e cozidos. Adicionam-se xaropes, temperos, sucos ou salmoura, conforme as necessidades. Depois disto o produto já está na condição de ser enlatado. Nesta operação só são produzidos resíduos a partir de respingos ou de soluções estragadas.

Êsses processos originam pequena quantidade de despejos, exceto por ocasião da lavagem do equipamento. Entretanto quando o bagaço é jogado fora, como no caso de sucos de frutas enlatadas, a disposição do bagaço e dos restos retidos nas peneiras constitui um problema de resíduos sólidos.

Aparecem quantidades insignificantes de resíduos do próprio produto nas operações de fechamento sob vácuo, tratamento térmico (esterilização) e resfriamento das latas. Entretanto, uma vez que geralmente as latas são esfriadas com água, nesta operação é gerada uma quantidade grande de despejos. Esta água residuária é relativamente limpa, tendo-se encontrado possibilidade de sua reutilização para o transporte de material, para lavagem de matéria-prima e para o resfriamento de latas.

Os processos de **manipulação de produto convertido** aplicados às frutas e legumes congelados são geralmente classificados em escaldamento, lavagem, resfriamento, preparação e inspeção final, embalagem e congelamento. Alguns produtos são congelados sôbre correias transportadoras ,antes da embalagem. O despejo preponderante aqui é o resultante do descascamento.

Os passos finais na preparação de sucos congelados de frutas são a extração de suco, peneiração, extração de óleo, extração de ar, pasteurização, concentração, embalagem e congelamento. Os processos de extração e peneiração geralmente são mecanizados, como, por exemplo, laranjas partidas ao meio, limões e toranjas, que são expremidos para a remoção do suco. Nesta operação aparecem quantidades tremendas de resíduos sólidos, além de um pouco de resíduos líqüidos. A extração de óleo e de ar são realizados simultâneamente. O óleo é indesejável e a desaeração é necessária para retardar a decomposição e a alteração do sabor dos sucos. Quando se condensa o vapor proveniente dos concentradores a vácuo, com a finalidade de evitar problemas de poluição do ar, resulta um líqüido contendo poluentes em solução. Geralmente ne-

nhum dos demais processos produz quantidades importantes de resíduos líquidos. O congelamento pode ser lento ou rápido. Prefere-se geralmente o congelamento rápido porque êste em geral provoca menor alteração no sabor dos sucos.

O enlatamento de sucos requer vários dos processos citados no item de congelamento; tais são a extração por processos mecanizados, peneiração e clarificação de certos sucos, pasteurização rápida, mistura de aditivos e embalagem. A quantidade e as características dos despejos são em geral semelhantes àqueles discutidos acima, para o caso de congelamento de sucos concentrados de frutas.

A quantidade de despejos de cada operação, em têrmos tanto de vazão quanto de carga orgânica, é variável, e depende principalmente da fruta ou do legume utilizado. A água de refrigeração se revela como o maior contribuinte, enquanto que o descascamento com lixívia produz despejos geralmente de grande volume e elevada DBO. O escaldamento também é uma fonte de carga poluidora. Uma fonte importante de resíduos líquidos é a originada nos processos de preparação inicial, sendo responsável por cêrca de um têrço do volume total de despejos e por uma elevada porcentagem da carga orgânica.

As estatísticas de consumo de água e de produção de despejos para êste tipo de indústria revelam algumas tendências interessantes. Nos cinco anos que vão desde 1959 até 1964, a descarga de águas residuárias diminuiu em cêrca de 10%, enquanto a produção aumentava de 11%. A explicação do fato está no volume cada vez maior de água reaproveitada, principalmente nas regiões em que a água é relativamente cara e/ou nas em que são recolhidas tarifas de uso da rêde de coletores baseadas no volume de despejos. A localização da indústria é, evidentemente, um fator importante; por exemplo, as indústrias de enlatados implantadas na Califórnia praticam mais a reutilização da água do que as indústrias de alimentos congelados no sudeste dos Estados Unidos. Percebe-se que é possível realizar um progresso ainda maior na reutilização da água através da demonstração de suas vantagens às indústrias que ainda não adotaram as modernas técnicas de recuperação e através do contrôle mais intensivo dos sistemas de recirculação já existentes, dotando-os de instrumental adequado. Um exemplo dêste problema está no hábito de se elaborarem projetos de indústrias para o máximo de capacidade de produção, sem prever a instalação de instrumentação de contrôle para reduzir o consumo de água quando a fábrica está trabalhando com capacidade parcial.

Tomando por base o crescimento dêste tipo de indústria, projetado pela Superintendência dos Serviços de Comércio e Defesa, do Ministério do Comércio dos Estados Unidos, a produção crescerá à razão de 3% ao ano durante os próximos dez anos. Se realmente se verificar tal aumento previsto, é altamente provável que às águas residuárias descarregadas terão que crescer, embora se intensifique o reaproveitamento da água.

Os dados do Instituto de Recenseamento, assim como o resultado de alguns inquéritos industriais razoàvelmente minusiosos, indicam que o volume médio de despejos é de cêrca de 300 litros por caixa de 24 latas n.º 303. Êste volume por caixa inclui os despejos de processos, esfriamento e condensação, alimentação de caldeiras, instalações sanitárias e todos os demais usos. A carga média de poluentes por caixa compreende cêrca de 0,39 kg de DBO, 0,45 kg de sólidos em suspensão e 0,42 kg de sólidos dissolvidos totais.

Em virtude de que o grosso do processamento se dá durante 2 a 4 meses do período do verão, as cargas lançadas aos rios da nação e às estações de tratamento municipais durante êste período de pico representam uma sobrecarga pesada.

A maioria das indústrias de enlatados e de processamento de alimentos congelados efetuam algum tipo de tratamento mínimo antes do seu lançamento à rêde de esgotos, geralmente passando-os por peneiras vibratórias para remover os sólidos.

A segregação e a concentração dos despejos do processamento de alimentos e a recirculação dos fluidos do processo podem reduzir o volume total de água consumida e melhorar a eficiência da remoção de sólidos das instalações de tratamento preliminar. O pretratamento de despejos contendo constituintes químicos complexos ou difìcilmente biodegradáveis ou malcheirosos, ou fortemente ácidos, básicos ou tóxicos podem requerer instalações adicionais especiais de custo elevado. Instalações químico-mecânicas, compreendendo processos tais como precipitação, flotação, lavadores de gases, tanques de neutralização e outros processos, podem ser aplicados na produção de um efluente com melhores características de biodegradabilidade. É desejável a conversão dos despejos em algo utilizável, ou então, a modificação do subprocesso produtor do resíduo de maneira a reduzir o seu volume.

Uma vez que os despejos do enlatamento e do congelamento de alimentos são predominantemente orgânicos, êles apresentam compatibilidade ao tratamento em mistura aos esgotos sanitários das cidades, caso subsistam as seguintes condições:

— a estação de tratamento tem capacidade adequada e foi planejada para suportar

as cargas orgânicas momentâneas que provàvelmente ocorrerão durante a curta estação de enlatamento;

— o despejo do enlatamento é apropriadamente pretratado para evitar descargas instantâneas de águas residuárias quentes, alcalinas ou carregadas de sólidos. Geralmente tal inconveniente pode ser afastado pela combinação adequada de peneiração e equalização.

Em muitas municipalidades, entretanto, a estação depuradora é inadequada para suportar os consideráveis volumes sazonais dos despejos das indústrias de processamento de gêneros alimentícios. Daí resulta uma redução na eficiência das instalações capaz de causar sérios problemas de poluição das águas receptoras. Tal fato ressalta em importância nos casos em que nesta ocasião a vazão do curso receptor esteja abaixo da média. Na Califórnia, por exemplo, a época da estiagem coincide com esta ocasião.

Tem havido modificações no tipo das indústrias modernas de processamento de alimentos. Enquanto há vinte anos atrás êsses estabelecimentos eram relativamente pequenos, processavam um ou dois produtos durante uns poucos meses do ano, e estavam localizados longe das grandes cidades, hoje em dia êles são grandes, mais diversificados, lidam com uma maior variedade de matérias primas, funcionam durante um período mais longo e estão sendo envolvidos pela expansão urbana. A fábrica moderna, que requer grandes quantidades de água e produz grandes quantidades de despejos tem exercido forte impacto no seu ambiente urbano. As cidades que se desenvolveram em tôrno das indústrias alimentícias, em geral herdaram tanto a missão de supri-las de água, quanto a de tratar os seus despejos. Quando convenientemente cuidadas essas atribuições têm sido cumpridas e resolvidas. Estima-se que atualmente 62% dos despejos das indústrias do gênero são tratados em depuradoras municipais. Em 1982 essa porcentagem deverá alcançar pelo menos os 74%. Nessa época provàvelmente a indústria procurará deslocar-se mais para perto das fontes de produção agrícola.

Há uma nítida tendência para a cobrança, pelas prefeituras, de tarifas de uso do sistema de esgotos pelas indústrias, tarifas essas estabelecidas em função do volume de despejos e/ou da carga poluidora. As duas razões fundamentais para isto são o estímulo para que a indústria reduza sua descarga de águas servidas e porque êste tipo de indústria, junto com outras fábricas «úmidas», em geral estiverem pagando menos do que lhes caberia pelos serviços de coleta e tratamento dos seus despejos.

Estima-se em 38% do total de despejos das indústrias a parcela que não é lançada nos esgotos municipais. Um inquérito recente revelou que dêstes estabelecimentos, apenas uma têrça parte possui algum tratamento mais eficiente do que a peneiração. O tratamento secundário mais freqüente é representado pelas lagoas de estabilização e pela irrigação por aspersão. O esfôrço federal para reduzir a poluição dos rios redundará no estabelecimento de padrões para a maior parte dos cursos de água no futuro próximo.

Prevê-se que o enrigecimento das exigências obrigará a maioria dessas indústrias que hoje não têm instalações adequadas, a se conectarem ao sistema municipal de esgotos ou a construírem estações de tratamento eficientes.

Tomando como base os dados publicados pela Superintendência dos Serviços de Comércio e Defesa do Ministério do Comércio dos Estados Unidos, os custos de produção (valor acrescido) para o enlatamento e congelamento de frutas e legumes são em média de aproximadamente US$ 1,66 por caixa de 24 latas. Os custos médios de tratamento dos despejos pela indústria estão em volta de US$ 0,006 por caixa, com exclusão das tarifas de uso da rêde de coletores, ou esja, 0,4% dos custos de produção. As tarifas de esgôto estão em volta de US$ 0,008 por caixa. Assim sendo, o desembôlso relativo ao tratamento é de aproximadamente US$ 0,014, ou 0,9% do custo de produção, com exclusão de impostos e taxas.

Estima-se que, em escala nacional, os custos do tratamento de águas residuárias dêste tipo de indústria estejam em volta de 2% do valor adicionado pela manufatura. Êstes 2% incluem as instalações internas de tratamento de despejos e aquela parcela do simpostos da indústria relativas à redução da poluição pela municipalidade, não estando incluídas as tarifas da rêde de coletores.

As indústrias de enlatamento e de congelamento de alimentos têm muita semelhança assim como têm problemas comuns; as estatísticas nacionais, entretanto, revelam algumas diferenças significativas. A indústria de congelamento gera cêrca de duas vêzes o volume de despejo por unidade produzida, em relação à indústria de enlatamento. Já a carga poluidora, por unidade produzida, é aproximadamente a mesma. As razões da diferença no volume de águas servidas estão no fato de que a indústria do congelamento consome maior quantidade de água de refrigeração; geralmente está implantada em regiões de água abundante; e uma porcentagem muito menor descarrega no sistema público de coletores. Êstes fatos resultam em uma falta de motivação para que os industriais do congelamento adotem técnicas de conservação de água nas suas fábricas.

LEVANTAMENTOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

7. CURTUMES

ESCOPO

O presente trabalho é um resumo dos resultados e conclusões de um levantamento amplo, realizado durante três meses, junto à indústria de curtição e acabamento do couro. Êsse levantamento compreendeu uma pesquisa bibliográfica intensa, a administração e avaliação de um amplo inquérito industrial, numerosas visitas e contatos com representantes das associações nacionais de curtidores e das organizações comerciais, e visitas a curtumes representativos.

RESUMO DO RELATÓRIO

Embora a curtição de peles de animais seja uma indústria antiga, compreendendo há 100 anos atrás 7.500 curtumes no território norte-americano, o número de indústrias produtoras de couro tem diminuído constantemente. Hoje em dia essa indústria está concentrada em apenas cêrca de 250 fábricas. Durante os últimos 15 anos a indústria do couro foi submetida a modificações. As indicações presentes sugerem modificações aceleradas e ainda mais dramáticas durante os próximos 10 anos. As quantidades de peles produzidas têm permanecido estáveis, fixando-se ao redor de 30 a 35 milhões por ano durante os últimos 15 anos, conquanto a importação de calçados tenha aumentado cêrca de 500%, quanto ao valor em dólares. As exportações reduziram-se de mais de 50%. Tal fato significa que, enquanto a produção norte-americana permanece pràticamente constante, apesar de se haver duplicado a população em perto de 15 anos, o consumo de couro importado aumentou. No mesmo tempo os mercados estrangeiros dos produtos americanos de couro diminuíram pelo menos até à metade. O menor custo de mão-de-obra em países estrangeiros e a substituição dos artigos de couro por similares de borracha e de matéria plástica são os motivos mais importantes alegados pela indústria norte-americana para explicar a estagnação. Uma vez que o presente estudo se ocupa principalmente com os despejos industriais dos curtumes, renunciou-se à discussão detalhada dos problemas de mercado com que as indústrias do couro estão se avindo. Os despejos descarregados, entretanto, podem estar intimamente relacionados às mudanças na produção. Os curtumes alterarão seus métodos de produção para modificar os processos dispendiosos, especialmente aquêles que envolvem mão-de-obra excessiva. A indústria de curtição representa atualmente uma emprêsa de US$ 5 bilhões, empregando cêrca de 27.000 empregados. Cada habitante dos E.U.A. gasta anualmente perto de US$ 29 em todos os artigos de couro, incluindo, em média, 3,28 pares de sapato. Os curtumes americanos consomem anualmente cêrca de 68 milhões de metros cúbicos de água e acrescentam à economia americana 340 milhões de dólares de valor de produção por ano.

Quando possível, nos métodos de tratamento de despejos industriais são empregados os processos econômicos desenvolvidos para esgotos sanitários domésticos. Empregam-se, adicionalmente, grades de barras e tanques de homogeneização como pretratamento.

A maior parte dos efluentes que contenham substâncias residuárias semelhantes aos constituintes do esgôto doméstico, podem ser tratados eficientemente até qualquer grau de depuração desejado, dentro dos limites da tecnologia de processo e das despesas envolvidas com as instalações de tratamento.

A segregação de despejos industriais segundo tipos e concentrações e a recirculação dos fluidos de processos podem reduzir o consumo total de água assim como a quantidade de sólidos gerados. O pretratamento de resíduos industriais que contenham constituintes químicos complexos ou dificilmente biodegradáveis ,ou que apresentem mau cheiro, ou sejam fortemente ácidos ou alcalinos ou tóxicos, podem necessitar de pretratamentos adicionais especiais e dispendiosos. Instalações químico-mecânicas, compreendendo processos tais como precipitação, flotação, tôrres de lavagem de gases, tanques de neutralização e outros processos, podem ser empregadas para produzir um efluente com características de biode-

gradabilidade mais aceitáveis. A conversão dos resíduos em fontes de material utilizável, ou ainda, a modificação do subprocesso originador do despejo de modo a reduzir o resíduo, são metas a serem atingidas.

As peles de gado resultantes das operações dos matadouros são atualmente usadas para a maior parte do couro produzido nos E.U.A. Cêrca de 2/3 de tôdas as peles desta fonte são submetidas à curtição; o restante 1/3 é exportado. Perto de 85% de todo o couro produzido são empregados na manufatura de calçados. Dêste couro para calçados, 80% em pêso são utilizados na confecção da parte superior dos sapatos, e os restantes 20% para a sola. Os cromos e vaquetas (parte superior) são curtidos quase que exclusivamente com sulfato crômico e sais alcalinos. Por outro lado, o couro para solados é curtido pelos processos antigos utilizando compostos vegetais, tais como extratos de cascas. A produção de couro para solados é dispendiosa e tem como resultado um resíduo de alto poder poluidor. Uma vez que o mercado americano está sendo suprido com sucedâneos, mais baratos, a tendência tem sido em direção à produção mais reduzida de couro para solas. Esta tendência provàvelmente continuará no futuro.

Històricamente, em tempos passados os curtumes estavah localizados em regiões afastadas; hoje em dia a maior parte dos curtumes americanos está concentrada junto de grandes áreas metropolitanas como Chicago, Milwaukee e Los Angeles. A tendência é para uma centralização ainda maior dos curtumes, o que permitirá no futuro um incremento no tratamento conjunto de esgotos domésticos e despejos da indústria da curtição.

Os curtumes novos estão tentando também localizar-se tão próximo quanto possível dos matadouros para eliminar o processo de salga das peles. Onde isto não é possível, existe o interêsse em encorajar os abatedores para descarnar, lavar, calear e depilar as peles antes de secá-las e enviá-las aos curtumes para sua conversão em couro. Embora esta técnica tenha grandes possibilidades do ponto de vista econômico e de contrôle da poluição, sua implantação como prática geral tem sido lenta e envolvida de muitas dificuldades. Por exemplo, ainda que possa ser eliminada a fase de salga das peles, outros poluentes serão simplesmente descartados pelo produtor de carnes. Adicionalmente os pequenos frigoríficos podem achar antieconômico a preparação de suas peles e serão obrigados a salgá-las e apará-las antes de remetê-las a um entreposto de peles maior. Muitos consumidores estrangeiros de peles americanas não desejam peles preparadas e aparadas, preferindo-as cruas e salgadas. Ainda que muitas dessas dificuldades possam ser contornadas no futuro distante, não há esperança de que as novas práticas sejam prontamente adotadas.

A curtição e o acabamento de couro consiste de dez processos principais que convertem as peles animais em couro acabado. As peles cruas salgadas são transportadas aos curtumes, sendo aí armazenadas e aparadas, como primeiro passo (1) do processo de conversão. Em seguida as peles são remolhadas e lavadas (2), para remover o sal, sangue e sujidades. Esta operação é normalmente seguida de um processo de descarnagem (3) para permitir melhor penetratração dos reagentes químicos durante o processamento subseqüente. A depilação (4) melhora a aparência da pele e abre a estrutura das fibras para permitir a remoção das proteínas indesejáveis. O processo de depilação empregado por determinado curtume depende principalmente da intenção de recuperar ou não os pêlos, o que, por seu lado, depende do mercado de consumo corrente ou previsto dêsse material. Na região da Nova Inglaterra a tendência é de queimar os pêlos removidos das peles, e por êste motivo emprega-se uma solução concentrada de sulfeto de sódio. Em Chicago geralmente recupera-se o pêlo, empregando-se então uma solução depilatória menos suscetível de causar danos. Em geral as soluções depilatórias mais fracas têm menor poder poluidor e contêm menor teor de sulfetos. O passo seguinte, o desdobramento (5), é raramente empregado hoje em dia. Consiste em cortar a pele em duas camadas, uma de maior valor, contendo a epiderme (cromo), e outra, composta das porções do lado muscular (vaqueta). Esta série de cinco processos compreende o que se chama geralmente de operações de ribeira. A purgagem (6), que lhes segue, é o primeiro processo normalmente executado na secção de curtição. Pela adição de uma mistura de sais e enzimas em tamborões rotativos, a superfície do couro ganha um aspecto sedoso, torna-se escorregadio e amacia-se. O passo seguinte (7) é a piquelagem, normalmente executada no mesmo tamborão, adicionando-se ácido sulfúrico e um pouco de sal para prevenir a precipitação de sais de cromo durante a curtição. O banho desengraxante (8) é outro processo raramente usado nos dias presentes. Quando são curtidas peles de ovelhas, porcos ou cabras ,adicionam-se detergentes ou solventes orgânicos para remover a gordura que causa tingimento heterogêneo e acabamento desigual. A curtição (9) é o processo mais importante, pois converte as fibras das peles em couro. Ainda que sejam molhadas, as fibras do couro não se putrefazem, mesmo após centenas de anos, enquanto que as fibras não curtidas,

embora estáveis quando sêcas, apodrecem quando se molham. Os processos de curtição mais usados são o do cromo e o do tanino. O primeiro tem sido empregado para a maior parte dos couros leves, produzindo um artigo mais resistente ao calor e à umidade. Ainda que a curtição vegetal necessite de tempo mais longo para se completar, produz-se maior quantidade de couro, e êste é mais trabalhável. Os despejos de qualquer um dos dois processos de curtição têm elevado poder de poluição e representam uma perda econômica se não forem convenientemente recuperados e reempregados. Por êste motivo é raro que êsses resíduos alcancem os rios diretamente. A curtição representa a última operação executada no pavilhão correspondente. A última série de operações úmidas consiste na recurtição, tingimento e engraxe (10). Em conseqüência das vantagens e desvantagens de cada tipo de curtição, pode-se aplicar uma segunda curtição, ao cromo, em seguida a uma curtição inicial mais rápida, o que garante um couro de qualidade superior. Em seguida executa-se o tingimento na côr desejada e unta-se com óleo ou cêra para evitar rachaduras. Está assim terminada a fase úmida da produção do couro em um curtume típico.

O processo da depilação (4) e o de curtição (9) são os que interessam mais de perto aos engenheiros sanitaristas. Os despejos da depilação geralmente são fortemente alcalinos, de aspecto leitoso, com elevadas concentrações de sulfetos e contêm pelo menos 50% do total de DBO do curtume, quando o seu volume está por volta dos 33%. Os despejos da curtição, por sua vez, representam apenas 5% do total de DBO e de vazão da indústria, porém têm coloração intensa e contêm considerável quantidade de sólidos dissolvidos. Os poluentes significativos de um curtume compreendem: 1) cal livre; 2) pH elevado; 3) cromo potencialmente tóxico; 4) DBO elevada; 5) sólidos suspensos em grande quantidade (pêlos e carnaças); 6) côr leitosa, da cal, ou verde-acastanhada, da curtição; 7) Dureza; 8) Elevado teor de sulfetos.

Nas condições prevalecentes em 1963, um curtume típico produzia cêrca de 85 litros de despejo por 1 k de pele processada. Os poluentes medidos em têrmos de DBO montavam a 0,09 kg por 1 kg de pele. Dêsses, cêrca de 60 litros/kg e 0,065 kg/kg provinham do pavilhão de ribeira, vindo o restante da curtição. Sòmente a depilação era responsável por quase metade do volume e DBO total da fábrica. Um curtume típico, processando 1.000 peles por dia, pesando em média 27 kg por pele, descarregava quase 2.800 m^3 de despejo por dia e perto de 2.300 kg de DBO.

Mais recentemente (1966-1967), as modificações na indústria da curtição: 1) mudando-se para áreas metropolitanas, 2) aumentando a relação de cromos e vaquetas em relação a solas e 3) o aumento do mercado consumidor de pêlos, resultaram em uma diminuição nos volumes e cargas de despejos. A elevação das tarifas municipais cobradas dos curtumes fêz com que essas emprêsas se conscientizassem em relação aos problemas de tratamento dos resíduos. A indústria do couro parece cuidar agora melhor da conservação da sua água. O reemprêgo da água tem sido praticado com a finalidade de reduzir os custos de contrôle da poluição. Recentes modificações detectadas nas águas residuárias de curtumes são: cargas algo mais reduzidas de DBO, menores volumes, menos sulfetos e mais cromo. Um curtume moderno produz cêrca de 0,085 kg de DBO e emprega cêrca de 75 litros de água para processar 1 kg de pele.

Por ocasião das visitas às indústrias e das discussões com os funcionários dos curtumes, verificou-se que êsses estabelecimentos têm muito pouco conhecimento dos problemas de poluição. Pode-se pôr em prática a segregação dos despejos mais pesadamente poluídos, a recirculação de resíduos dos subprocessos, reutilização da água de lavagem para reposição em outros pontos e o tratamento das águas residuárias concentradas. A pesquisa e o desenvolvimento nessas áreas, combinados com o esclarecimento dos industriais a êsse respeito, poderão diminuir muito o valor da carga de poluentes.

Nos anos de 1968 a 1972 os limites inferiores de emprêgo de água serão provàvelmente de 950 a 1.100 litros por pele transformada em sola, e 2.300 a 2.700 litros por pele transformada em cromos e vaquetas. Se os produtores de carne se encarregarem da lavagem, caleação e depilação durante os anos de 1977 a 1982, pode-se esperar que os volumes de resíduos diminuam de 50%.

Em 1963, os curtumes dos Estados Unidos processaram 850.000 toneladas de pele e descarregaram 60 milhões de m^3 de despejos, contendo 68.000 toneladas de DBO. Assumindo que a partir de 1982 sejam empregadas novas técnicas de produção, pode-se esperar que os volumes de águas residuárias decresçam de 60 para 53 milhões de m^3 por ano, e a carga de DBO, de 68.000 para 66.000 toneladas anuais. Estas suposições sòmente são válidas se a maior parte das operações de ribeira não for transferida para os matadouros, nem reduzida pela relocação dos curtumes nas imediações dos abatedouros. Adicionalmente, estas reduções em volumes e cargas sòmente poderão ocorrer nos próximos 15 anos, se o total anual de peles industrializadas se mantiver no nível constante de cêrca de 32 milhões por ano.

No momento atual os despejos de curtumes são tratados principalmente por gradeamento, homogeneização, sedimentação, coagulação química, lagoas, filtros biológicos e lôdos ativados. A redução de DBO pode chegar a 5% pelo gradeamento; 85 a 95% de remoção podem ser alcançadas pelos lôdos ativados. Geralmente os cinco primeiros processos citados são efetuados no próprio curtume, enquanto que os dois últimos o são pela municipalidade, caso seja praticado o tratamento conjunto. Entretanto não existe uma solução geralmente aceita para o tratamento dos resíduos de curtumes em tôdas as situações.

Pelo fato de os efluentes de curtumes conterem poluentes potencialmente tóxicos ou que possam causar prejuízo ao bem-estar público, bem como possam necessitar tratamento apropriado de caráter físico, químico e biológico, cada caso deve ser decidido após um estudo detalhado de todos os dados e fatos. O total de curtumes ligados ao sistema público de coletores de esgotos é estimado hoje em dia em 75% de tôdas as indústrias do couro e é provável que cresça até 80% em 1972. Espera-se que melhore a eficiência do tratamento das águas residuárias tanto municipais quanto industriais nos próximos 15 anos.

Enquanto a DBO dos efluentes brutos gerados pela indústria curtidora deva diminuir de 68.000 para 66.000 toneladas anuais em 1982, espera-se que a DBO remanescente nos efluentes tratados seja reduzida mais ainda, de 23 para 15 mil toneladas. O maior decréscimo na DBO residual deve-se principalmene à maior porcentagem esperada de despejos tratados, assim como também a uma gradual melhora na eficiência dos processos de tratamento.

O valor de reposição estimado das instalações de tratamento de despejos de curtumes, incluindo a parcela do custo das depuradoras municipais que pode ser atribuída à indústria curtidora, é de US$ 11,600.000. A estimativa dos custos de operação e manutenção, na mesma base, é de US$ 1,600.000. No momento atual êstes valores representam entre 1 e 1,5% dos custos de produção e não parecem ser significativamente pesados para a indústria. Se, porém, os custos do tratamento crescerem expressivamente, algumas fábricas que tenham lucros marginais podem ser afetadas de modo crítico.

LEVANTAMENTOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

8. MATADOUROS-FRIGORÍFICOS

ESCOPO

A indústria da carne compreende os frigoríficos de carne verde, lingüiças e outros produtos preparados de carne, e matadouros avícolas, ou de pequenos animais. O presente trabalho está dividido em duas partes:

I. Matadouros-frigoríficos

II. Matadouros avícolas

Cada uma destas partes foi analisada separadamente.

RESUMO DO RELATÓRIO

I. MATADOUROS-FRIGORÍFICOS

Conceito de tamanho da indústria

De vez que o abate dos animais é o fator mais importante na determinação dos volumes e das cargas dos despejos da indústria da carne, a unidade empregada como medida do tamanho do estabelecimento será o pêso-em-pé (pêso vivo) dos animais abatidos. Foram abandonados os critérios de valor acrescido e de volume de vendas, uma vez que nenhum dêles reflete necessàriamente a carga poluidora da indústria.

Dados disponíveis sôbre o abate

O abate comercial total é a melhor medida do tamanho da indústria. A estatística presente cobre todos os abatedouros dos Estados Unidos, com exceção dos matadouros particulares de fazendas de criação. Êstes, aliás, não devem causar problemas significativos de poluição. Os dados colhidos em matadouros-frigoríficos sob inspeção federal são em número muito superior aos demais. A manipulação de dados obtidos nos estabelecimentos sob inspeção federal como representativos da totalidade da indústria dêste tipo é razoável em muitos casos, já que 85% do abate total dos E.U.A. é efetuado em matadouros, inspecionados pelas autoridades federais. Esta porcentagem está crescendo com o tempo, o que pode significar que êste setor da indústria se tornará mais e mais representativo de todos os estabelecimentos da mesma. O pêso-em-pé, mais do que o número de animais, é a medida certa para determinar o tamanho de uma indústria, porque esta unidade possibilita a adição racional de espécies desiguais.

Definição de matadouros-frigoríficos pequenos, médios e grandes

Para as finalidades dêste relatório, o tamanho do estabelecimento será definido em têrmos de abate anual. Deve-se fazer notar que poderão discordar destas definições os «frigoríficos nacionais» (Armour, Swift, Hormel, etc). Essas companhias poderão objetar especialmente contra a definição de indústria pequena. Os «frigoríficos nacionais »também definem com critérios diferentes o tamanho do estabelecimento, dependendo êste do tipo de animal abatido. Um frigorífico de gado será assim duas vêzes maior do que um frigorífico de suínos, em têrmos de pêso-em-pé abatido. Neste relatório, entretanto, admite-se que o tamanho da indústria é uma função do pêso anual abatido, seja qual fôr o tipo de animal.

Um estabelecimento **pequeno** é aquêle cuja matança anual monta a menos de 11 mil toneladas. Qualquer instalação que abata menos de cem reses por dia, ou menos de 400 porcos, será pequena.

Em 1966, aproximadamente 38% dos abatedouros inspecionados pelas autoridades federais, seriam considerados pequenos. Êstes 38%, entretanto, não abateram mais do que 5% do pêso-em-pé.

Para efeito de projeção, a pequena indústria típica será aquela que tiver um pêso-em-pé abatido de 9 mil toneladas.

Uma indústria grande é aquela cuja matança anual seja maior do que 90 mil toneladas.

Em 1966, mais do que 10% dos estabelecimentos sob inspeção federal seriam enquadrados nessa classe. Êstes grandes matadouros-frigoríficos foram responsáveis por aproximadamente 42% do pêso abatido.

Talvez fôsse recomendável subdividir êste grupo em «grandes» (90 a 180 mil toneladas anuais) e «muito grandes» (acima de 180 mil toneladas anuais). Aproximadamente 8% dos estabelecimentos sob inspeção federal eram «grandes», e seu abate anual foi de 24% do total de pêso em pé. Entre 2 e 3% dos estabelecimentos sob inspeção federal eram «muito grandes». Êstes abateram cêrca de 18% do total de pêso-em-pé. Um matadouro-frigorífico «muito grande» seria talvez o que os «frigoríficos nacionais» denominariam de «grande».

Para efeito de projeção, a instalação **grande** é aquela que abate 135 mil toneladas por ano. O estabelecimento grande típico, em outras palavras, abateria 1.100 reses por dia, ou quatro mil suínos diários.

Instalações **médias** compreendem todos aqueles estabelecimentos que abatem entre 11 mil e 90 mil toneladas anuais. Para efeito de projeção, a instalação típica média é definida como aquela que abate 45 mil toneladas por ano. Em base de produção diária, a indústria típica média abate cêrca de 400 reses ou 1.200 porcos.

Fontes de informação

Muitos dos dados em que se fundamenta o presente trabalho foram coletados pela autora com subvenção da Fundação Nacional para a Ciência. Êsses dados serviram de base para sua tese de doutorado pela Universidade de Missouri. Faz-se referência às indústrias incluídas nessa fonte de informação como sendo «dados de questionário», representando elas cêrca de 54% de todos os estabelecimentos sob inspeção federal, totalizando 46% do abate comercial (base de pêso-em-pé).

As conclusões baseadas em «dados de questionário» assumem implicitamente que a amostra sujeita ao questionário seja representativa tanto dos estabelecimentos sob inspeção federal, quanto de todos os abatedouros comerciais.

Processos e poluentes

Foram selecionados cinco processos para análise, devido à sua importância como fonte potencial de carga poluidora da indústria da carne. Pode-se argumentar que em alguns casos, em lugar de se ter um processo ou um subprocesso, na realidade se trata da recuperação de subprodutos. Em uma indústria muito conhecida como sendo aquela em que «tudo do boi se aproveita, menos o berro», a recuperação de subprodutos foi incorporada como parte do misto de processos. Foi decidido classificar tôdas essas alternativas como processos e subprocessos, em lugar de considerá-las como recuperação de subprodutos.

Os cinco processos importantes no setor da «carne vermelha» são:

1. Recuperação de sangue.
2. Manipulação da barrigada.
3. Extração de gorduras comestíveis (banha).
4. Extração de gorduras não comestíveis (sebo).
5. Limpeza.

1. **Recuperação de sangue**: no complexo de subprocessos representa uma situação de «tudo ou nada». Ou é recuperado, ou vai para o esgôto. A recuperação resulta na redução de 42% na carga poluidora geral de um matadouro. Em 1966 mais de 95% da indústria, baseados no pêso abatido, estavam recuperando o sangue.

O sangue é uma boa fonte de proteínas e, portanto, a sua recuperação é econômicamente racional em tôdas as indústrias, com exceção das muito pequenas. As instalações muito pequenas, que não fazem extração de gorduras não comestíveis, que não produzem adubos ou forragem, e que não estão localizadas em pontos em que possam vender o sangue a outras congêneres, provàvelmente lançarão o sangue no esgôto.

2. **A manipulação das barrigadas** torna-se uma fonte poluidora quando êste material é lançado à rêde de coletores, uma vez que a concentração de sólidos totais se torna tão grande a ponto de interferir com o funcionamento eficiente dos métodos tradicionais de tratamento de águas residuárias.

3. **Extração de banha** pode ser um processo de característica altamente poluidoras, dependendo do método de extração. A alternativa mais inconveniente sob o ponto de vista de poluição é a de extração com água, sem evaporação da água dos tanques. Êste subprocesso é o tipo mais antigo, e não está sendo adotado nas instalações modernas. Se os utilizadores do processo úmido evaporarem as águas dos tanques, cortarão pela metade a carga poluidora. Os métodos mais modernos de extração reduzem de 60% a carga poluidora. Êstes métodos modernos compreendem extração a sêco e extração a baixa temperatura.

4. **Extração de sebo** é bàsicamente de dois tipos: sêca ou úmida. A extração úmida deve ser seguida de evaporação da água dos tanques a fim de reduzir à metade as cargas poluidoras. As duas formas possíveis de extração a sêco, contínua e descontínua, produzirão cargas poluidoras 60% mais baixas do que o sistema de extração úmida sem evaporação da água dos tanques. A última modalidade, em têrmos de tecnologia, é a extração sêca contínua.

5. A **limpeza** com água por meio de mangueiras de alta pressão tem sido e continua sendo uma prática geralmente adotada nos matadouros-frigoríficos. As cargas poluidoras poderiam ser consideràvelmente reduzidas por uma limpeza a sêco antes da limpeza com água. A limpeza a sêco poderia também permitir a melhor recuperação de refugos para a extração de sebo. Agindo desta maneira, em lugar de empurrar com o esguicho para o coletor de esgotos os refugos, estas seriam coletados e enviados à seção de extração.

Outro efeito da limpeza a sêco é a redução do volume de despejos. A análise dos «dados de questionário» indicou uma correlação direta entre o gasto de água por tonelada abatida e a carga poluidora por tonelada. Parece que o emprêgo da extração sêca de gorduras é acompanhado de uma redução nos volumes de despejos e, portanto, de menor carga poluidora por unidade de produto, assim como de menor volume de despejos por unidade de produto.

Efeito da tecnologia sôbre as cargas poluidoras

O nível tecnológico foi definido em têrmos do complexo de subprocessos. Os três níveis: «antigo», «típico» e «avançado» foram definidos como segue:

«Tecnologia antiga» (10% de todos os estabelecimentos em 1966):

1. Recuperação completa de sangue.
2. Lançamento de todo o material da barrigada no sistema de coleta de esgotos.
3. Extração úmida de banha comestível, sem evaporação da água dos tanques.
4. Extração úmida de sebo não comestível, sem evaporação da água dos tanques.
5. Limpeza com água.

«Tecnologia típica» (80% de todos os estabelecimentos em 1966):

1. Recuperação de todo o sangue.
2. Disposição do material da barrigada com água, seguida da remoção do material grosseiro.
3. Extração da banha a sêco, ou então por via úmida, com evaporação da água dos tanques.
4. Extração do sebo a sêco.
5. Limpeza com água.

«Tecnologia avançada» (10% de todos os estabelecimentos em 1966):

1. Recuperação completa do sangue.
2. Disposição a sêco das barrigadas, seguido da remoção do material grosseiro para fora dos terrenos da indústria.
3. Extração de banha a baixa temperatura.
4. Extração contínua do sebo.
5. Limpeza a sêco seguida de lavagem com água.

Há diferenças marcantes no volume de despejos e nas cargas poluidoras por unidade de produto, conforme o tipo de tecnologia empregado. Em geral, quanto mais avançada a tecnologia, tanto menor são o volume e a carga dos despejos por unidade de produto.

CARGA POLUIDORA E VOLUME DE DESPEJOS POR TONELADA DE PÊSO EM PÉ ABATIDA, POR NÍVEL DE TECNOLOGIA, EM 1966

Nível tecnológico	Carga de poluente (kg DBO/tonelada de pêso-em-pé)	Volume de despejos (litros/tonelada de pêso-em-pé)
«Antigo»	26,9	17.300
«Típico»	19,2	10.800
«Avançado»	15,1	9.300

Os valores de DBO referem-se ao despejo antes de passar pelos tanques retentores de gordura.

Recirculação da água de processo

A água de processo não é recirculada em matadouros-frigoríficos.

Redução do volume de despejos por modificações em subprocessos

Ainda que a modificação em subprocessos possa ser um meio eficiente de redução de carga poluidora, esta prática freqüentemente não é econômicamente viável. Parece haver identidade de opiniões na indústria, por exemplo, a respeito do fato de que freqüentemente não pode ser econômicamente justificável a mudança de um sistema de extração úmida de gorduras em um sistema de baixa temperatura (banha) ou contínuo (sebo). Uma das razões é a procura cada vez menor de toucinho e gorduras animais comestíveis. Em suma, parece inviável a modificação dos processos de extração, a não ser no caso em que o estabelecimento esteja empregando o processo úmido com lançamento da água dos tanques, sem evaporação aos sistemas de coleta de esgotos. Por um custo relativamente baixo é possível instalar evaporadores e vender o resíduo da evaporação aos fabricantes de rações para animais.

A recuperação de sangue é praticada em todos os matadouros, com exceção dos muito pequenos. As despesas com a coleta e remoção do sangue, para a sua disposição em áreas retiradas, são relativamente pequenas em troca de uma redução da DBO de 42%.

Se é que existem modificações de subprocessos que devam ser estimuladas, parece lógico que a escolha recaia sôbre as seguintes:

1. Evaporação da água dos tanques e disposição do resíduo evaporado.
2. Recolhimento da totalidade do sangue.
3. Gradeamento de todo o material da barrigada, com disposição do material grosseiro em qualquer lugar que não seja o coletor de esgotos.

Deve-se notar que todos os subprocessos que deveriam sofrer modificação são aquêles associados com o nível tecnológico = antigo e/ou com estabelecimentos muito pequenos.

Em virtude de serem poucas (10%) e estarem sumindo essas instalações «antigas», a regulamentação dos subprocessos, como parte dos esforços para reduzir as grandes cargas poluidoras, parece ter pouco sentido.

Redução dos resíduos pelo emprêgo de instalações de tratamento de despejos

A forma mais comum de instalação de tratamento nos matadouros-frigoríficos é o tanque retentor (tanque de sedimentação com remoção da gordura sobrenadante). Quando projetados apropriadamente, êsses tanques retentores podem remover aproximadamente 25% da carga poluidora. A maioria dos matadouros tem instalado «tanques retentores» para auxiliar a recuperação de subprodutos. A gordura recuperada significa dólares ganhos através de produtos da extração. O tempo de detenção do despejo no tanque de retenção, baseado em considerações econômicas sôbre o produto recuperado, é de perto de 20 minutos. Entretanto, para a finalidade de redução ótima do poder poluidor, tal tempo deveria ser pelo menos duplicado. Muitos tanques retentores existentes são, portanto, subdimensionados sob o ponto de vista de contrôle da poluição.

Aproximadamente 85% de todos os estabelecimentos possuem hoje alguma forma de instalação de tratamento. Em 1966, as depuradoras existentes reduziam 1/3 da carga total de DBO. Para conseguir esta redução, foi necessário que as indústrias fizessem uma inversão de US$ 35.000.000 na compra de equipamentos para tratamento e dispenderam, em 1966, US$ 3.500.000 para a operação e manutenção dessas instalações.

Redução da poluição por tratamento municipal

Aproximadamente 70% dos despejos dos matadouros-frigoríficos norte-americanos eram tratados em instalações depuradores municipais. A medida que as águas residuárias atravessavam essas instalações, perdiam 56% de sua DBO. Por esta prestação de serviços as indústrias pagaram US$ 6.000.000 de tarifas.

Um resumo de tôdas as despesas em tratamento de despejos em 1966 é dado a seguir:

DESPESAS PARA O TRATAMENTO DOS DESPEJOS PELOS MATADOUROS-FRIGORÍFICOS EM 1966

Valor de reposição das instalações de tratamento	Equivalente anual	Custos anuais de Operação e Manutenção	Tarifas anuais pagas às Prefeituras	Pagamento total para o tratamento
(milhões de US$)	(milhões de US$)	(milhões de US$)	(milhões de US$)	(milhões de US$)
3,5	3,5	3,5	6	13

II. MATADOUROS AVÍCOLAS

Conceito do tamanho da indústria

Uma vez que o número de aves abatidas é o fator mais importante na determinação dos volumes de despejos e das cargas poluidoras da indústria de processamento de aves, será empregado o pêso-em-pé abatido, assim como o número de aves abatidas, para caracterizar o tamanho do estabelecimento e da indústria. O valor acrescido e o volume de vendas foram critérios abandonados, em virtude de não espelharem a magnitude da poluição.

Definição de matadouros-frigoríficos avícolas pequenos, médios e grandes

Para efeito dêste relatório, o tamanho da indústria será definido em têrmos de matança diária de aves, tanto em número quanto em pêso-em-pé.

Um matadouro **pequeno** é aquêle que abate menos de 45 toneladas (pêso-em-pé) ou menos de 25.000 aves por dia. Êsse critério foi aplicado a todos os estabelecimentos estudados.

Em 1966 aproximadamente 39% do pêso-em-pé total abatido correspondem aos estabelecimentos classificados como «pequenos». Para efeito de projeção, o matadouro avícola pequeno típico foi escolhido como sendo aquêle cujo abate diário é de 27 toneladas.

Um matadouro **médio** é aquêle cuja matança diária é inferior a 170 toneladas ou menos de 95.000 aves. Os estabelecimentos «médios» abateram aproximadamente 52% do pêso-em-pé total de 1966.

Os matadouros avícolas **grandes** compreendem todos os estabelecimentos manipulando mais de 95.000 aves por dia ou mais de 170 toneladas de pêso-em-pé. Os grandes frigoríficos abateram cêrca de 9% do pêso-em-pé total de 1966. Espera-se que êste setor da indústria sofra o maior desenvolvimento nos próximos dez anos, em detrimento dos pequenos estabelecimentos.

Fontes de informações

A maior parte dos dados é baseada em respostas a um questionário devolvido por matadouros avícolas que haviam abatido quase 30% do total de aves processadas em 1966. Supõe-se que esta parcela dos industriais de carne de aves seja representativa do conjunto total das indústrias.

Processos e poluentes

Os processos mais significativos sob o ponto de vista de carga poluidora foram identificados para análise posterior. Êsses processos são:

1. Recuperação de sangue.
2. Gradeamento das penas.
3. Limpeza.

1. A recuperação de sangue poderá reduzir a carga poluidora de 38%. Como sòmente 56% do total de estabelecimentos praticavam a recuperação de sangue em 1966, êste subprocesso é uma área potencial para a redução substancial da poluição.

2. A depenagem tem um potencial de poluição muito grande, em decorrência do volume de penas envolvido. Uma vez que as penas são constituídas de substâncias dificilmente biodegradáveis por processos biológicos de tratamento, os frigoríficos devem empregar grades para separá-las dos despejos.

3. A limpeza a sêco para a remoção de estrume e penas antes da lavagem com água poderá reduzir a concentração tanto dos sólidos quanto da DBO dos despejos.

Efeito da tecnologia sôbre as cargas poluidoras

A tecnologia empregada foi definida em têrmos do complexo de subprocessos. Foram definidos como segue abaixo os três níveis tecnológicos: «antigo», «típico» e «avançado»:

«Tecnologia antiga» (41% dos estabelecimentos em 1966):

1. Manutenção das aves vivas em baterias de armazenagem.
2. Sangue não é recuperado.
3. Depenagem e evisceração sem transporte de penas ou vísceras para fora da área de trabalho.
4. Dissipação do calor corporal das carcaças por imersão em tinas transportáveis contendo gêlo e água.
6. Limpeza a sêco seguida de lavagem.

«Tecnologia típica» (56% do total de estabelecimentos em 1966):

1. Os caminhões que trazem as aves descarregam diretamente em transportadores contínuos.
2. Recuperação da totalidade do sangue, devido à imobilização das aves.

3. Sistema de remoção contínua de penas e vísceras para fora da área de trabalho.

4. Expedição das aves processadas acondicionadas em gêlo.

«Tecnologia avançada» (3% do total de estabelecimentos em 1966):

1. Os caminhões abastecedores descarregam as aves diretamente em transportadores contínuos.

2. Recuperação total do sangue em virtude da imobilização das aves.

3. Sistema de remoção contínua de penas e vísceras para fora da área de trabalho.

4. Dissipação do calor animal das carcaças por imersão em tanques de resfriamento mecanizados contendo água refrigerada.

5. Expedição das aves processadas em estado congelado.

6. Lavagem da instalação.

A tecnologia está diretamente relacionada com a redução da carga poluidora. A redução mais importante ocorre quando o nível tecnológico muda de «antigo» para «típico». A redução do despejo nesta modificação é decorrente pela introdução da recuperação de sangue no complexo de subprocessos. Esta modificação na tecnologia também traz consigo a adoção dos sistemas de transporte de penas e vísceras, acarretando um aumento na quantidade de despejo por unidade de produto.

A modificação de nível tecnológico «típico» para «avançado» prevê apenas uma ligeira redução da carga poluidora, devida principalmente à introdução da limpeza a sêco em escala limitada. A redução do volume de despejo por unidade de produto é causada pelo incremento na reutilização das águas servidas.

Os efeitos da tecnologia sôbre a carga poluidora e sôbre o volume de despejo são resumidos no quadro seguinte:

CARGA POLUIDORA E VOLUME DE DESPEJOS POR 1.000 AVES, POR NÍVEL TECNOLÓGICO, EM 1966

Nível tecnológico	Carga poluidora kg DBO/1.000 aves	Volume de despejos m^3/1.000 aves
«Antigo»	14,2	15,2
«Típico»	11,9	39,4
«Avançado»	11,8	27,6

Redução de resíduos por modificação de subprocessos

Embora a modificação de subprocessos possa ser um meio eficiente de redução da carga poluidora, freqüentemente esta prática não é econômicamente viável para determinado estabelecimento. Há quatro tipos de modificações em subprocessos ao alcance dos matadouros agrícolas: limpeza, recolhimento de sangue, evisceração e recuperação de subprodutos. Os subprocessos predominantes são a limpeza e o recolhimento de sangue, sendo que êste último é o que alcança maior porcentagem de redução da poluição.

Redução de despejos pelo emprêgo de estações de tratamento

O método mais comum de depuração de águas residuárias empregado pelos matadouros agrícolas é o de tratamento nas instalações municipais. Em virtude de ser êste tipo de atividade industrial caracterizado por pequena margem de lucros, os custos do tratamento particular tendem a ser proibitivos. Os matadouros avícolas de nível tecnológico «típico» e «avançado» que empregam sistemas de remoção contínua de penas e vísceras, usam grades para remover penas e sólidos do efluente da instalação. Na maioria dos estabelecimentos (80%) êste é o único tratamento executado pela indústria. Todo o tratamento adicional é efetuado pela municipalidade. O relatório contém uma tabela de tarifas para êsse tratamento. Contém também o custo do tratamento particular.

LEVANTAMENTOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

9. LATICÍNIOS

ESCOPO

O presente levantamento industrial de laticínios é uma descrição qualitativa e quantitativa dos resíduos e despejos gerados pela indústria de produtos lácteos.

Êste tipo de indústria é estudado de acôrdo com as subdivisões mais importantes e identificadas, como segue:

1) Manteiga — Estabelecimentos envolvidos principalmente na manufatura de manteiga.

2) Queijo — natural e processado — Estabelecimentos envolvidos principalmente na manufatura de todos os tipos de queijo natural (exceto ricota), queijo processado, alimentos à base de queijo e requeijão.

3) Leite condensado e evaporado — Estabelecimentos envolvidos principalmente na manufatura de leite condensado, evaporado e produtos relacionados, inclusive misturas preparadas para sorvetes e produtos de leite em pó.

4) Sorvetes e sobremesas congeladas — Estabelecimentos envolvidos principalmente na manufatura de sorvetes e outras sobremesas congeladas.

5) Leite fluido — Estabelecimentos envolvidos principalmente no processamento, embalagem e distribuição de leite fresco e creme, ricota e produtos correlatos.

O levantamento foi preparado para o ano básico de 1963, o que permite a correlação com o censo dos fabricantes, realizado em 1963, para a produção e uso da água.

Foram elaboradas detalhadamente projeções dos resíduos e despejos para os anos futuros.

RESUMO DO RELATÓRIO

As estatísticas governamentais mostram que a produção total de leite tem declinado constantemente desde 1964. Mas o Ministério da Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte prognostica que a produção está no mínimo ou perto do mínimo e tenderá a aumentar no futuro na mesma proporção em que cresce a população.

O número de indústrias de processamento diminuiu mais ràpidamente do que a produção. A produção por indústria, entretanto, tem crescido ràpidamente. Esta tendência continuará, em virtude do fato de que o custo por unidade de produto nas indústrias maiores e tecnològicamente mais avançadas é significativamente menor do que nas fábricas menores e menos avançadas.

A produção de resíduo e de despejo por quilogramo de produto é mais baixo numa indústria grande do que numa indústria pequena e é também menor em uma instalação tecnològicamente avançada do que em uma menos avançada.

Os despejos de laticínios são semelhantes em todos os cinco grupos de processamentos indicados no escopo. Os despesos mais significativos compreendem perdas de produto durante a fabricação, água, sabão e reagentes químicos usados nos processos sanitários, água de refrigeração, leite desnatado e sôro da fabricação de manteiga, assim como sôro e creme da manufatura de queijo.

As perdas de produto durante a fabricação nunca podem ser reduzidas a zero; a indústria crê, entretanto, que as fábricas tecnològicamente mais avançadas têm perdas de ½% durante o processo, comparadas com um despejo de 1 ½% nas indústrias típicas e de 2 ½% nas indústrias pequenas e de tecnologia mais antiga. A redução na quantidade de resíduos representa uma economia financeira considerável e é um fator decisivo na tendência em direção à consolidação e construção de grandes laticínios (os custos de mão-de-obra sendo o principal fator). A técnica de administração da indústria tem tanto que ver com a redução de perdas durante o processo quanto o tamanho da indústria ou sua tecnologia.

A água, o sabão e os reagentes químicos utilizados para fins sanitários representam um volume de resíduos e despejos que é proporcionalmente menor nas indústrias grandes e tecnològicamente avançadas quando comparadas com indústrias pequenas, menos avançadas. A maior parte dos sabões usados atualmente são do tipo biodegradável que se decompõem ràpidamente durante o tratamento de esgotos. Os progressos na tecnologia dos esgotos resultaram no uso de tubulações soldadas de aço inoxidável, sistemas de canalizações de produtos limpados no lugar e a automação de muitos processos, o que melhora consideràvelmente o saneamento total da indústria. Êstes processos por seu lado aumentam a duração do produto armazenado e reduzem os despejos. O projeto e a operação dos sistemas de esgotos têm muito que ver com as quantidades de despejos produzidos; essas instalações, quando não forem apropriadamente operadas, poderão dar como resultado um aumento da quantidade de despejos, em indústrias tecnològicamente avançadas A tendência, entretanto, é de reduzir a quantidade de sabão e reagentes químicos utilizados.

Os despejos de água de refrigeração são gerados pelos produtos de resfriamento utilizados no equipamento de processamento ou pelo uso de sistemas de refrigeração. A disponibilidade e o custo da água de refrigeração determinam se a água deve ser utilizada uma única vez, em oposição às técnicas de recirculação através de tôrres de refrigeração e condensadores evaporativos. Os últimos reduzem a necessidade de água de 95%. À medida que a água se torna mais rara e mais cara, torna-se maior o uso do equipamento de recirculação.

O leite desnatado e o sôro resultante da manufatura de manteiga e de creme, assim como o sôro da fabricação de queijo, são resíduos que podem ser utilizados na recuperação de subprodutos. A maior parte do volume de leite desnatado e de sôro resultante da fabricação de manteiga é correntemente empregado na manufatura de produtos condensados ou em pó. À medida que as fábricas de manteiga aumentam no tamanho, a produção individual dêsses produtos em cada indústria cresce em volume, tornando-se mais econômica a recuperação de subprodutos. O creme resultante da fabricação de queijo é sempre recuperado, devido ao alto valor dêste produto. Por outro lado, o sôro não tem grande valor comercial. Foram encontrados alguns usos para o sôro, porém o maior incentivo em direção à utilização dêste líqüido têm sido as penalidade aplicadas às indústrias, quando o sôro é lançado aos cursos de água sem tratamento.

O sôro representa a maior carga de despejos (DBO), não existindo para êle um processo econômico de redução em volume através da recuperação de subprodutos. Existem relativamente poucas indústrias de secagem do sôro. As fábricas que operam desta forma estão fazendo-o sem lucro, ou com lucro muito pequeno. Caso o sôro se torne de maior valor, em virtude de estar crescendo a produção de leite em uma proporção menor do que o consumo, então as indústrias de processamento de sôro poderão vir a tornar-se mais lucrativas. Entretanto, até que os produtos derivados do sôro cresçam em valor, serão os incentivos municipais, assim como as penalidades, quem determinará de que maneira o sôro deve ser utilizado.

Os dados relativos aos despejos combinados da indústria no passado, e os dados projetados antes da recuperação de subprodutos são os seguintes:

Despejo antes da redução

(Em milhões)

	1963	1968	1972	1977
Produção total de leite (kg)	56.500	55.500	57.500	60.500
Produto (kg DBO)	59,2	61,8	62,8	64,0
Sabão e reagentes químicos (kg DBO)	5,9	6,2	6,3	6,4
Creme, leite desnatado e sôro (kg DBO)	1.900	1.710	1.810	1.960
Sôro (kg DBO)	243	283	297	325
Carga teórica total	2.208,1	2.061,0	2.176,1	2.355,4
Água residuária (m^3)	226	219	199	174

Os despejos que não forem reduzidos como já descrito, são lançados nos curso de água.

Carga residual lançada aos curso de água

	1963	1968	1972	1977
Produto (kg DBO)	27,6	21,4	9,1	3,6
Sabão e reagentes químicos (kg DBO)	2,8	2,1	0,9	0,4
Creme, leite desnatado, sôro (kg DBO)	281	151	89	9,8
Sôro (kg DBO)	110	114	63	14
Carga poluidora total	421,4	288,5	162,0	27,8
Água residuária total (m^3)	136	120	105	84

Estes despejos remanescentes devem ser tratados para eliminar a poluição da água. Os despejos podem ser tratados por processos biológicos, em estações de tratamento de esgotos convencionais. Os despejos de fábricas de laticínios têm uma elevada demanda bioquímica de oxigênio em relação ao volume, mas geralmente têm baixo teor de sólidos em suspensão.

Deve ser dada especial atenção ao tratamento do sôro da fabricação de queijo, em virtude de uma pequena quantidade de coalho arrastado pelo sôro, assim como do grande volume que apresenta.

A maior parte das indústrias de laticinios não é suficientemente grande para justificar o custo de um sistema de tratamento dentro da própria indústria, uma vez que tal fato representaria um investimento de capital excessivamente grande em comparação com o investimento total na indústria (10 a 20%).

A operação adequada de uma estação de tratamento requer pessoal técnico qualificado, resultando por isto em elevado custo de operação no caso de sistemas de tratamento individuais dentro da indústria. É preferível descarregar os despejos de fábricas de laticínios no sistema público de coleta de esgotos, quando possível. Nas áreas rurais podem ser empregadas lagoas de estabilização para o tratamento dos despejos de grandes laticínios, enquanto que os despejos das pequenas indústrias pode ser disposto por infiltração em regos e sulcos, assim como através de sistemas de irrigação.

As estações de tratamento sòmente se tornam necessárias quando existem incentivos municipais ou penalidades.

A tabela seguinte resume as informações desenvolvidas nos diversos capítulos:

	1963	1968	1972	1967
Produção total de leite (milhões de toneladas)	56,7	55,6	57,5	60,5
Número total de indústrias	10.142	7.600	6.350	4.861
Progresso tecnológico:				
(1) % de aumento no tamanho da indústria		45,8	83,9	161,6
(2) % de indústrias em estágio de modernização		56	94	100
(3) % de redução de despejo através da modernização		5	9	14
Utilização dos despejo na fabricação de sub produtos:				
(1) % de leite desnatado de fabricação de manteiga	85	91	95	99,5
(2) % de sôro da fabricação de manteiga	85	91	95	99,5
(3) % de creme de fabricação de queijo	99	99	99	99,5
(4) % de sôro de fabricação de queijo	48	53	75	99,5

Estimativa do desenvolvimento de práticas de tratamento de despejos:

(1) Fábricas na zona urbana:				
(a) % ligada ao sistema coletor	98	98	98	99
(b) % com depuradora própria	2	2	2	1
(2) Fábricas na zona rural:				
(a) % com tratamento por regos e sulcos	8	11	22	33
(b) % com irrigação por aspersão	4	5	8	11
(c) % com lagoas aeradas	8	11	22	56
(d) % lançamento sem tratamento	80	73	48	0
Toneladas de DBO/ano	423.000	289.000	162.000	28.000
Água residuária total (milhões de m^3/ano)	136	120	105	84

LEVANTAMENTOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

10. PLÁSTICOS E RESINAS

ESCOPO

O presente estudo técnico e análise financeira levou em consideração o processo de unidade singela, a polimerização. As águas residuárias geradas pela polimerização e os custos de reposição que ocorrem durante a mesma são relativamente baixos quando comparados com os outros processos intimamente ligados a ela.

A produção total de polímeros, em 1967, foi de 6,3 milhões de toneladas. Assumindo uma taxa de crescimento de 6% ao ano, êste total deverá alcançar o valor estimado de 12 milhões de toneladas em 1977. A produção atual gera um total de 51.000 toneladas anuais de resíduos, expressos em têrmos de demanda bioquímica de oxigênio. Um total de 15.000 toneladas de DBO é lançado sem tratamento aos cursos de água. As 36.000 toneladas de DBO restantes são encaminhadas a estações de tratamento de águas residuárias, que removem 28.000 toneladas de DBO; as restantes 8.000 toneladas vão alcançar os cursos de água devido à falta de eficiência das depuradoras.

Assim sendo, o total geral de DBO encaminhado aos cursos receptores em 1967 foi de 23.000 toneladas, ou seja, 45% das 51.000 toneladas geradas. A previsão de DBO, para o ano de 1977, é de 92.000 toneladas. Tomando-se por base a atual eficiência de 55% de remoção por meio do tratamento, a previsão de carga de DBO a ser lançada aos rios em 1977 é de 41.000 toneladas.

O custo total para o tratamento dos despejos foi de US$ 2.200.000. Êste valor inclui a depreciação das instalações depuradoras (US$ 300.000), tarifas municipais para o tratamento de resíduos industriais (US$ 600.000) e despesas de operação e manutenção (US$ 1.300.000). O valor de reposição dos equipamentos das instalações de tratamento, em 1967, foi de US$ 7.900.000. A vida média econômica ponderada do equipamento de tratamento é de 24 anos.

RESUMO DO RELATÓRIO

INTRODUÇÃO

Êste levantamento da indústria de plásticos representa um segmento da análise total dos contribuintes mais importantes de águas residuárias. Uma vez que os trabalhos similares existentes sôbre êste tipo de indústria apenas chegaram a amplas generalidades, o objetivo dêste trabalho foi o de elaborar dados mais precisos. Assim sendo, as finalidades dêste estudo de levantamento foram: (1) identificar, quantificar e qualificar os processos e os resíduos, as quantidades totais de resíduos, as práticas de redução dos mesmos e os custos de redução da carga poluidora, (2) resumir estas várias facetas da imagem da poluição, e (3) elaborar projeções relativas ao crescimento futuro do produto. O presente estudo, assim como as investigações anteriores, estiveram na dependência das informações básicas fornecidas pelo agente poluidor. Espera-se que futuros estudos, tais quais as investigações sôbre o uso múltiplo da água em bacias hidrográficas determinadas, possam beneficiar-se com os resultados dos esforços despendidos neste trabalho.

Os plásticos e as resinas são estruturas encadeadas conhecidas na química sob o nome de polímeros. Todos os polímeros são sintetizados por um ou mais dos processos seguintes: em massa, em solução, em emulsão e em suspensão. Uma reação típica de produção requer a adição ao monômero de um iniciador de radical livre, bem como modificadores, podendo o monômero ser considerado o tijolo para a construção do polímero. Êste processo de polimerização origina quantidades de resíduos líqüidos relativamente pequenas quando comparadas às de outros processos químicos. Na maior parte das vêzes o passo inicial na polimerização, a síntese do monômero (esta não está incluída no presente estudo), gera um volume de resíduos consideràvelmente maior do que a gerada durante a transformação do monômero em polímero. Assim, por exemplo, o custo de tratamento do despejo oriundo do craqueamento do

etano para obter etileno (o«tijolo» para a construção do polietileno) ascende a 0,6% do valor do produto final, o polietileno. Sendo o valor do polietileno US$ 0,24/kg, o tratamento do despejo será de aproximadamente de US$ 2.500.000 para uma produção de 1.700.000 toneladas anuais de polietileno. Já a fabricação do polietileno não gera despejo algum.

Por ser técnica e econômicamente vantajoso, a maior parte das firmas produz vários produtos químicos conexos na mesma instalação e usa uma estação de tratamento de despejos comum. Pode-se citar como exemplo um complexo químico típico que fabrica etileno, polietileno, ácido sulfúrico, cloreto de etila, amônia, ácido nítrico e ácido fosfórico. Não é vantajoso, sob o ponto de vista econômico, identificar e qualificar o despejo de cada um dos processos de fabricação, de maneira que o tratamento dos despejos é geralmente operado como um centro comum de custos. Êstes custos são então contabilizados como despesa geral. Algumas firmas, entretanto, contabilizam o custo direto, baseado em um rateio proporcional às cargas, debitando-o a cada centro produtor de benefício. Em qualquer dos casos é freqüentemente uma tarefa difícil para o engenheiro sanitarista da indústria a determinação precisa do custo do tratamento dos despejos de um determinado processo de fabricação.

O ESTUDO

O presente estudo técnico-econômico foi elaborado com a aplicação do estratagema seguinte: para o estudo individual por uma equipe de especialistas, o escopo foi dividido em nove subdivisões, representando mais de 85% de tôda a produção de plásticos.

Subdivisão	Plásticos e resinas
1	Celulósicos
2	Vinílicos
3	Estirenos
4	Poliolefinas
5	Acrílicos
6	Poliésteres e alcidas
7	Uréia e melaminas
8	Fenólicos
9	Vários (uretanas, epóxis, cumarona, indenos, silicones, policarbonatos, acetais e nailon 6).

O esfôrço principal dêste estudo compreendeu a aquisição de informações organizadas, de primeira mão, dos produtores de plásticos. Desta forma foram efetuadas visitas a estabelecimentos característicos, executando-se um levantamento físico das instalações efetivas de produção, além das instalações de tratamento de despejos. Tôda a vez que se oferecia a possibilidade, foram obtidos fluxogramas dos processos, diretamente do pessoal técnico, no próprio local da indústria. Foram efetuadas entrevistas telefônicas com fabricantes de resinas, com os principais fabricantes de equipamentos para tratamento de esgotos, firmas produtoras de reagentes e prestadoras de serviços de tratamento, repartições do govêrno, institutos de pesquisa, universidades e associações comerciais e profissionais. Foram utilizadas ainda as pesquisas técnicas e econômicas, os trabalhos de campo de contrôle da poluição e a experiência de produção disponíveis no Instituto de Pesquisas IIT, de Chicago, Illinois.

A fim de levantar dados de produção no passado, assim como para prever os futuros níveis de produção, foi efetuado um exame compreensivo e a análise de cada uma das nove subdivisões já citadas. Os crescimentos isolados e acumulados foram representados em papel semilogarítmico (figura 1).

RESULTADOS

A análise compreensiva das subdivisões relativas aos plásticos demonstrou que a razão de crescimento até 1977 é de 6% ao ano. A revista «Modern Plastics» (1965) prediz um crescimento até 10 milhões de toneladas em 1975. «Plastic World» (1966) prevê 11 milhões de toneladas em 1975. Um estudo do Instituto de Pesquisas IIT (1967) prevê o mesmo resultado. O Ministério do Comércio dos Estados Unidos (1967) prevê o crescimento até 9 milhões de toneladas.

A produção de plásticos e resinas nos E.U.A. e o seu crescimento a partir de 1962 são ilustrados e enumerados na figura 1 e no quadro 1.

A produção atual (1967), de 6,5 milhões de toneladas anuais gera 51.000 toneladas de carga poluidora expressa em DBO. (Admite-se que 1 kg de resíduo industrial sêco gere 0,75 kg de DBO). Da DBO gerada, 55% (28.000 toneladas) são removidos em estações depuradoras; os restantes 45% (23.000 toneladas) vão ter aos cursos receptores. Dessas 23.000 toneladas lançadas aos rios, 15.000 o são sem receber tratamento algum; as restantes 8.000 toneladas permanecem nos efluentes das estações de tratamento.

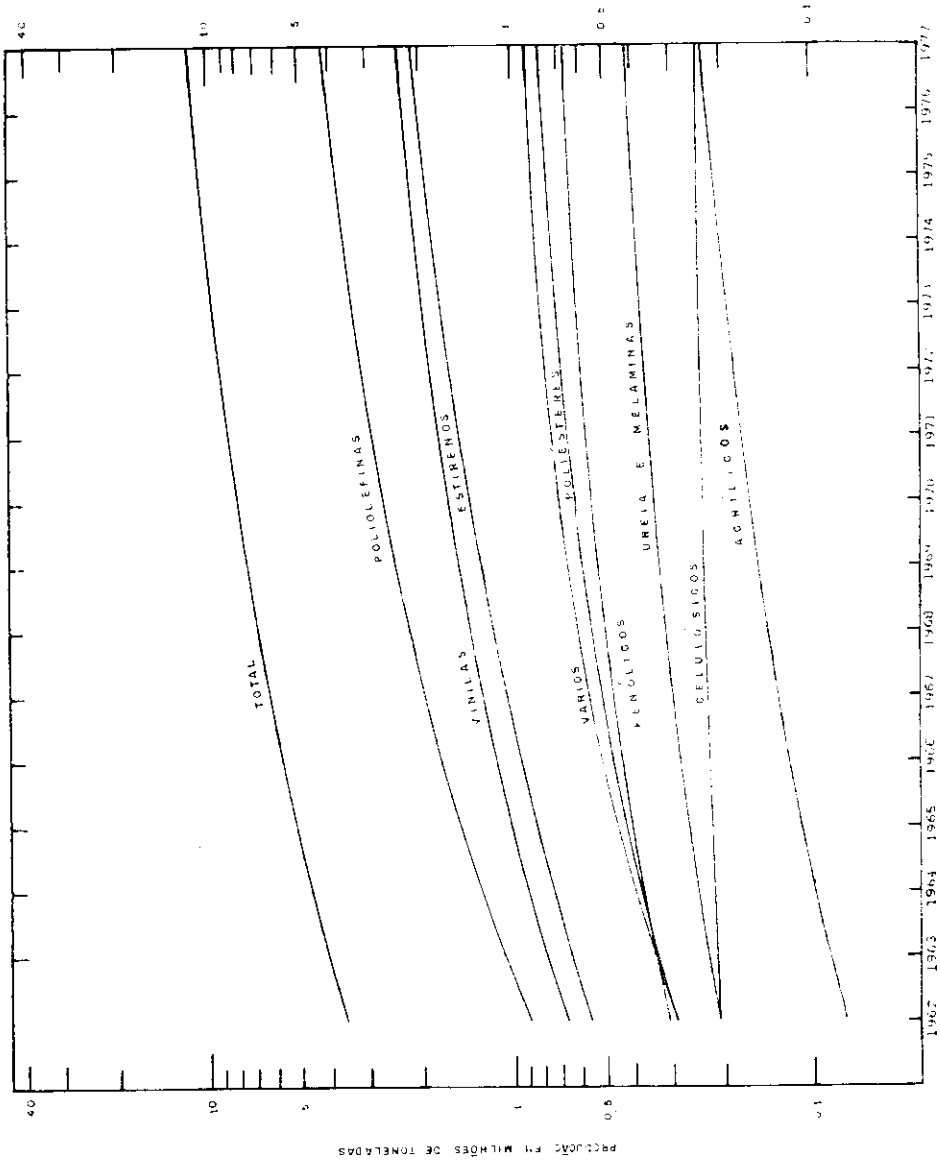

FIGURA 1

PRODUÇÃO NORTE-AMERICANA DE PLÁSTICOS E RESINAS EM MILHÕES DE TONELADAS POR ANO

QUADRO 1

PRODUÇÃO DE PLÁSTICOS E RESINAS EM MILHÕES DE TONELADAS

	Produção total, milhões de toneladas/ano									
	Tipo de resina									
Ano	Celulósicos *	Vinílicos	Estirenos	Poliolefinas	Acrílicos	Poliésteres e alcídicos	Uréia e melaminas	Fenólicos	Vários	Total
1962	0,22	0,70	0,57	0,91	0,08	0,31	0,22	0,31	0,29	3,61
1963	0,22	0,80	0,68	1,03	0,09	0,34	0,23	0,34	0,34	4,07
1964	0,22	0,91	0,78	1,20	0,10	0,38	0,25	0,38	0,41	4,63
1965	0,22	1,02	0,86	1,54	0,11	0,42	0,27	0,41	0,47	5,32
1966	0,22	1,13	0,91	1,74	0,13	0,48	0,28	0,45	0,48	5,82
1967	0,23	1,27	1,02	1,97	0,13	0,50	0,30	0,48	0,56	6,46
1968	0,23	1,40	1,13	2,18	0,14	0,57	0,31	0,51	0,60	7,07
1969	0,23	1,56	1,27	2,35	0,15	0,59	0,33	0,54	0,66	7,68
1970	0,23	1,65	1,43	2,65	0,17	0,63	0,34	0,55	0,75	8,40
1971	0,24	1,74	1,50	2,81	0,18	0,66	0,35	0,58	0,76	8,82
1972	0,24	1,86	1,59	3,03	0,19	0,68	0,36	0,59	0,77	9,31
1973	0,24	1,99	1,65	3,30	0,20	0,70	0,38	0,60	0,80	9,86
1974	0,24	2,18	1,74	3,53	0,21	0,73	0,39	0,61	0,81	10,44
1975	0,24	2,26	1,90	3,89	0,22	0,76	0,40	0,63	0,84	11,14
1976	0,24	2,31	1,95	4,03	0,22	0,79	0,42	0,64	0,86	11,46
1977	0,25	2,36	1,99	4,12	0,24	0,81	0,43	0,68	0,91	11,79

* Celulósicos incluem material regenerado, por exemplo, celofane.

QUADRO 2

CUSTO DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS EM 1967

	Plásticos e resinas (total)	Celulósicos	Vinílicos	Estirenos	Poliolefinas	Acrílicos	Poliésteres e Alcidas	Uréia e Melaminas	Fenólicos	Vários
Produção, 10^6 toneladas/ano	6,47	0,23	1,27	1,02	1,97	0,13	0,50	0,30	0,48	0,57
Despejos, 10^6 m^3/ano (sem água de refrigeração)	91	57	10,6	12,8	0,015	0,057	8,70	0,235	0,29	2,29
Carga poluidora, em DBO, 10^3 t/ano	-	4,5	12,7			0,079	3,0	-	-	0,14
Carga poluidora, em Sólidos, 10^3 t/ano		-	1,9	1,04	—	-	-	16	23,7	-
Porcentagem tratados	-	40	31	95	—	95	63	90	90	90
Resíduo tratado, 10^3 t/ano	-	1,1	3,93	1,02	Não há	0,08	1,9	15	21	0,13
Custo do tratamento, US$/kg DBO		0,09	0,20	- -	—	0,49	—	-		0,26
Depreciação de capital, US$/kg DBO	—	0,04	0,02	- -	- -	0,42	-	-	-	0,11
Operação e manutenção, US$/kg DBO	—	0,049	0,18	—	-	0,07	-	-	-	0,15
Custo do tratamento, US$/$10^6$ m^3	-	8	-	314	—	706		51	1740	127
Depreciação de capital, US$/$10^3$ m^3	-	3,4	-		- -	610	-	28	172	49
Operação e manutenção, US$/$10^3$ m^3	-	4,5	—	—	-	92		24	1570	79
Custo do tratamento, 10^3 US$/ano	2177	180	889	382	0	38	181	11	462	34
Depreciação de capital, 10^3 US$/ano	312	80	124	-	0	33	8	3,3	51	13
Operação e manutenção, 10^3 US$/ano	1320	100	765	—	0	5	18	2,9	408	21

A produção prevista de plásticos em 1977, de 12 milhões de toneladas, gerará 91.000 toneladas de DBO. Supondo que se mantenha a eficiência de 55%, a carga poluidora que afetará os cursos de água crescerá de 23.000 para 41.000 toneladas em 1977.

Um desdobramento detalhado dos resíduos gerados e dos custos pertinentes é dado no quadro 2. O custo total atual para remover 28.000 toneladas de DBO é de US$ 2.200.000/ano. Êste dado inclui 600.000 dólares de tarifas de esgotos pagas pelos fabricantes que lançam os seus despejos na rêde pública de coletores, 300.000 dólares de depreciação das instalações de tratamento e 1.300.000 dólares de operação e manutenção do equipamento de tratamento. O valor de reposição das instalações de tratamento é de 7.900.000 dólares.

A vida média ponderada dêsse equipamento é de 24 anos.

DISCUSSÃO

As projeções altamente subjetivas e os prognósticos sôbre os níveis de tratamento requerem explicação.

Para o presente estudo foram selecionados 35 parâmetros significativos para avaliar a carga poluidora. Dêstes, a DBO foi o mais representativo dessa carga, além de constituir um dos critérios mais universalmente utilizados para sua medida. A razão e a extensão da depressão do teor de oxigênio dissolvido na água, sob a influência dos microrganismos que nela vivem, costumam ser avaliados pelo ensaio de DBO, em virtude de ser êste o efeito mais importante provocado pelos resíduos orgânicos, sob o ponto de vista da poluição. Embora a DBO seja atualmente o melhor ensaio disponível, não é um parâmetro adequado para a carga orgânica, e, como sinal de alarme, está «atrasado de cinco dias».

O ensaio de DBO compreende, em primeiro lugar, uma medição do oxigênio dissolvido inicialmente presente na amostra de água contendo o resíduo em estudo. Esta amostra pode provir do rio poluído, ou pode ser um volume de água especialmente preparada, ao qual se junta uma quantidade conhecida de resíduo. Outras amostras de mistura de água e de resíduo são então incubadas na presença de microrganismos e nutrientes adequados, em ambiente apropriado, geralmente durante 5 dias, a 20°C. O oxigênio residual é medido após êsse período, e a quantidade de oxigênio consumido durante o ensaio é registrada em miligramas de oxigênio por litro de água. Há muitas interferências possíveis durante o ensaio, por exemplo, substâncias tóxicas que o invalidam completamente, a não ser que a amostra possa ser desintoxicada ou diluída a ponto de tornar o efeito desprezível.

Costuma-se aceitar a afirmação de que o ensaio de DBO representa 70% da carga orgânica nas águas contendo esgotos sanitários. Nos despejos industriais, entretanto, o ensaio de DBO deve representar algo menos do que 70%, porque os diversos constituintes do despejo industrial complicam o processo de biodegradação e muito freqüentemente invalidam o ensaio. A porcentagem exata varia demasiadamente, dependendo da biodegradabilidade do resíduo e da adequação das bactérias que foram utilizadas como inóculo. Os dados sôbre os despejos acumulados durante êste estudo são tão precisos quanto possível, mas deve-se recordar que êsses dados são baseados em um ensaio que foi desenvolvido para esgotos domésticos, e que é inadequado para a caracterização de despejos da indústria química.

Muitas estações de tratamento atualmente em uso foram projetadas e desenvolvidas para produzir um efluente cuja qualidade não satisfará os padrões da próxima década. A maioria dos processos de tratamento por oxidação biológica (lôdos ativados convencionais, aeração escalonada, estabilização de contato, aeração prolongada, valos de oxidação, sistemas de mistura completa, lagoas de estabilização, lagoas aeradas, filtros biológicos) foram desenvolvidos para o tratamento de esgotos domésticos. Êste tipo de água residuária contém uma parcela relativamente modesta de substâncias orgânicas dissolvidas que são fàcilmente biodegradáveis e contêm quantidades equilibradas de nutrientes. Entretanto, os despejos industriais têm elevado teor de substâncias não biodegradáveis e não contêm nutrientes em proporções adequadas. Por êste motivo a melhoria da qualidade do efluente dêsses sistemas dimensionados de forma marginal revelará inadequação do ponto de vista de engenharia de projeto, e em conseqüência ocasionará problema de eficiência do tratamento, assim como de custo.

O aumento da porcentagem de remoção de substâncias poluentes acarretará um aumento desproporcional do custo por unidade de resíduo removido, em instalações projetadas imprópria ou inadequadamente. Uma instalação de tratamento eficiente, em ciclo primário e secundário, destinada a um determinado despejo industrial, em alguns casos tem um custo cinco vêzes maior por unidade de volume de despejo semelhante tratado, do que o custo de uma estação de tratamento primário construída há 10 anos. Os dados disponíveis relativos a efluentes brutos comparáveis, bem como a eficiência de remoção

similiares, não foram suficientes para determinar com precisão os custos comparáveis por unidade de resíduo removido, porém, de maneira geral, as estações de tratamento recentemente construídas refletem custos totais de tratamento consideràvelmente mais elevados para um volume comparável de efluente tratado. Os dados disponíveis indicam que o custo inicial do equipamento de fabricação recente, projetado para reduzir as cargas poluidoras aos limites legais prèviamente estabelecidos, foi consideràvelmente mais elevado do que o de unidades mais antigas, construídas para obedecer a padrões menos rigorosos.

Os dados acumulados neste estudo, isto é, cargas poluidoras geradas, porcentagem de remoção e custos decorrentes foram fornecidos pelas próprias emprêsas industriais que estão gerando os resíduos. É provável que alguns dos dados receberam interpretação favorável antes de serem liberados. Foi difícil, por exemplo, isolar e avaliar a quantidade de efluentes atribuídos a derramamentos intermitentes e à lavagem de máquinas e pisos em determinados processos. Um dos estabelecimentos estudados gerava tôda a sua carga poluidora através de derramamentos e lavagem. As despesas com o tratamento dos despejos montava a 0,25% do valor do produto. Sendo êste valor igual a US$ 8.000.000, o tratamento desta fonte de poluição custou US$ 20.000/ano.

A disposição final do lôdo originado no processo de biodegradação é feita habitualmente por meio de atêrro sanitário. Em decorrência do aumento do preço dos terrenos, pode-se inferir que o custo da disposição final crescerá. Para cada kg de DBO, aparece cêrca de meio kg de resíduo sólido. Sabe-se que quatro estabelecimentos incineram seus resíduos sólidos. O custo da incineração é de US$ 0,13/kg de matéria sêca, ou US$ 0,065 por kg de DBO removida..

Os dados disponíveis relativos a alguns plásticos não foram suficientes para determinar um valor total para a porcentagem de despejos industriais tratados em sistemas municipais.

O crescimento previsto da produção de plásticos e resinas nos E.U.A. é estimado em 6% ao ano, embora êsse crescimento tenha estado entre 12 e 16% durante os últimos 20 anos. Assim sendo, qualquer programa que seja desenvolvido para a próxima década poderia, por medida de prudência, incluir uma verba para atender a um crescimento de 15% ao ano.