

sisippa 89

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED APPROACHES
TO WATER POLLUTION PROBLEMS
SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR DES SOLUTIONS INTÉGRÉES
POUR DES PROBLÈMES DE POLLUTION DE L'EAU
SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE SOLUÇÕES INTEGRADAS
PARA PROBLEMAS DE POLUIÇÃO DA ÁGUA

A TECNOLOGIA DE MEMBRANAS NA
VALORIZAÇÃO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TEXTIL:
UM CASO EM ESTUDO EM PORTUGAL

ADVANCED MEMBRANE TECHNOLOGY
APPLIED TO VALORIZATION OF TEXTILE EFFLUENTS:
A CASE STUDY IN PORTUGAL

Ana Ambrósio de SOUSA⁽¹⁾, Amílcar José Ramos AMBRÓSIO⁽²⁾

RESUMO

A situação que os autores apresentam refere-se a uma unidade industrial têxtil do sector têxtil, cujas operações fundamentais de fabrico são a tinturaria e a ultimção.

As necessidades crescentes de água associadas à decisão de aumento de produção da fábrica e simultaneamente a urgência de equacionar o problema de tratamento de águas residuais tendo em conta a legislação que a entrada na CEE impõe em matéria de protecção do ambiente, conduziu à definição duma estratégia na qual, entre os vários objectivos, se incluí o tratamento e reutilização dos efluentes industriais. A comunicação centra-se na metodologia seguida para a realização do objectivo referido, com ênfase para os estudos piloto, à escala laboratorial, já realizados e em realização que permitiram (1) concluir sobre a aplicabilidade e viabilidade da ultrafiltração à recuperação dos efluentes de ultimção, e (2) decidir ensaiar ao nível de piloto industrial a osmose inversa aplicada ao ultrafiltrado do efluente da tinturaria.

Palavras chave: Efluentes de tinturaria e ultimção, reutilização de efluentes, ultrafiltração.

ABSTRACT

The case study presented refers to a textile industrial unit, which main wet operations are dyeing and finishing.

Decisions have been taken in order to increase industrial capacity which implies increase of water needs. On the other hand the industrial sector generally speaking face in Portugal the necessity of fulfilling EEC environmental regulations in a near future.

To accomplish the overall objective, a strategy has been defined including, among others, the treatment and reuse of industrial effluents.

(1) - Engenheiro Químico (IST), MScEE (EUA), Consultor Técnico da AMBIO, Consultores de Engenharia e Tecnologia do Ambiente, Lda.

(2) Engenheiro Civil (IST), Dipl. San. Eng. (Delft), Consultor Técnico da AMBIO, Consultores de Engenharia e Tecnologia do Ambiente, Lda.

The methodology defined to achieve this objective is described.

The authors emphasize the pilot studies, laboratorial scale, conducted and in conduction, which results enable (1) to conclude on the applicability of ultrafiltration to reuse finishing effluents, (2) to decide on scaling up laboratory studies based on reverse osmosis applied to the ultrafiltrate of the dyeing effluents.

Key words: textile effluents, effluents reuse, membrane processes, ultrafiltration.

O CASO EM ESTUDO

1. A unidade industrial em causa pertence ao sector têxtil e labora, como matérias primas, a lã, o poliéster, o acrílico e o linho, integrando como operações fundamentais de fabrico, a fiação, a tinturaria, a tecelagem e a ultimização.

A produção da fábrica foi, em 1988, de $3,9 \times 10^6$ m² de tecido, a fracção mais significativa daquele total tendo sido constituída por mescla de lã e poliéster e pura lã; produziram-se ainda no mesmo ano 1 700 ton de fio.

2. As operações de tinturaria e ultimização são responsáveis por uma quota-parte substancial dos consumos de água totais. As operações de fiação e tecelagem são praticamente operações secas.

A água utilizada nos consumos fabris é proveniente de origens próprias tendo sido atingidos consumos diários registados à entrada da fábrica, entre 1 000 e 1 200 m³ durante os dias de laboração dos sectores de tinturaria e ultimização, e de apenas 150 a 200 m³ aos sábados e domingos.

Um primeiro levantamento dos consumos de água em cada um dos pontos de utilização fabril, quer directamente imputáveis à tinturaria e ultimização quer a circuitos adjacentes, como, por exemplo, o circuito de geração de vapor, e ainda outros consumos gerais verificados em pontos de utilização no recinto da fábrica, revelaram valores substancialmente inferiores aos totais que ficaram referidos.

Aceitando como razoavelmente precisos os valores obtidos e assumindo não haver erro na medição de caudal à entrada da fábrica, concluiu-se que (1) em cada um dos 5 dias de laboração da tinturaria e ultimização se perdiam entre 300 e 500 m³ e (2) as perdas ao fim de semana eram muito menores; logo as perdas registam-se fundamentalmente nos circuitos de alimentação ligados à tinturaria e ultimização e representam no mínimo 30% da água medida à entrada da fábrica.

Os efluentes líquidos resultantes da actividade fabril serão então provenientes fundamentalmente das operações de tinturaria e ultimização, podendo o seu volume variar entre 250 e 450 m³/dia do sector de tinturaria e 400 e 500 m³/dia do sector de ultimização.

3. A decisão de aumento de produção na fábrica, a prazo relativamente curto, obrigou a que fossem equacionados, em tempo oportuno, as medidas técnicas conducentes à realização desse objectivo entre as quais fazer face ao acréscimo de necessidades de água.

As situações anteriormente relatadas associadas à exigência de equacionar o problema do tratamento das águas residuais, tendo em conta o quadro geral que a entrada de Portugal na CEE impõe à indústria portuguesa em matéria de protecção do ambiente, conduziu à definição dos seguintes objectivos:

- 1º aumento de capacidade de produção de água nas origens próprias;
- 2º redução das perdas de água no interior da fábrica;

- 3º tratamento e reutilização dos efluentes;
- 4º preparação para destino final dos efluentes não reutilizados.

Os objectivos definidos para a resolução do problema da poluição da água em jogo, integram-se numa perspectiva de conservação de água através, nomeadamente, da valorização dos efluentes.

A ESTRATÉGIA ESTABELEECIDA DE ACORDO COM OS OBJECTIVOS A ATINGIR

4. Dos objectivos definidos, aquele que os autores se propõem desenvolver no âmbito da presente comunicação é, concretamente, o 3º objectivo - tratamento e reutilização dos efluentes. A estratégia desenvolvida pode ser sintetizada na sequência das seguintes etapas:

- 1º identificação de todas as descargas de efluentes, no que respeita à localização e quantidade;
- 2º identificação dos esquemas e sequências de consumos de água e de produtos químicos nos processos fabris inerentes à tinturaria e à ultimateção;
- 3º análise qualitativa das descargas de efluentes fabris;
- 4º definição e discussão dos limites de qualidade e garantias da água a utilizar na tinturaria e ultimateção;
- 5º enunciado das alternativas técnicas de recuperação dos vários efluentes tendo em conta as exigências de qualidade a garantir;
- 6º aferição daquelas alternativas em estudos piloto de laboratório;
- 7º selecção dos efluentes relativamente aos quais seja economicamente rentável recuperar.

O TRATAMENTO E REUTILIZAÇÃO DOS EFLUENTES

Os efluentes a reutilizar

5. Os efluentes líquidos a considerar susceptíveis de, por um lado, veicularem poluição significativa que impeça o seu lançamento num meio receptor sem qualquer adequação qualitativa e, por outro, potencialmente candidatos à reutilização, dados os volumes em jogo e na perspectiva de conservação da água apresentada, são, no caso presente, os efluentes de tinturaria e de ultimateção.

6. Para uma melhor identificação do tipo de efluentes em presença, referem-se seguidamente alguns aspectos característicos das operações que integram cada um dos processos:

a) tinturaria

a.1) as matérias levadas a tingimento são a lã, o poliéster, o acrílico, a mistura lã/poliéster (45%/55%) e a mistura poliéster/linho (67%/33% e 85%/15%);

a.2) o tingimento destas matérias é feito sempre em autoclave excepto no caso do poliéster e do acrílico em que também poderá ser em contínuo;

a.3) os corantes utilizados no tingimento são:

- na lã os pré-metalizados, reactivos, ácidos, ao crómio e sulfonados, destacando-se entre os produtos auxiliares o sulfato e amónio, o ácido acético, o sulfato de sódio, o ácido sulfúrico, o ácido fórmico, o dicromato de potássio e um igualizador de forma patenteada;

- no poliéster os dispersos. Os produtos auxiliares são um igualizador, um retardador, ambos de fórmulas patenteadas, e ácido acético, quando a operação se dá em autoclave, e um espessador de água de fórmula patenteada e ácido acético quando a operação se dá em contínuo;

- no acrílico são do tipo básicos ou catiónicos. Os produtos auxiliares são um espessador da água e um agente de dissolução dos corantes em pó, ambos de fórmula patenteada e o ácido acético;

- na mistura de lã e poliéster são os corantes de lã e os corantes de poliéster para tingimento em autoclave e o mesmo relativamente aos produtos auxiliares;

- na mistura de poliéster e linho são os "vat" misturados com corantes dispersos;

b) ultimação

b.1) a ultimação é feita sobre a lã e sobre o poliéster, já sob a forma de tecido;

b.2) todo o tecido que atinge a ultimação provem da tinturaria;

b.3) os produtos auxiliares utilizados na ultimação têm uns funções detergentes (o carbonato de sódio, derivados de alcóois gordos e de ácidos gordos, o etileno glicol) outros destinam-se à neutralização do meio (ácido acético) e finalmente como estabilizador dimensional (bisulfito de sódio).

7. Numa primeira caracterização qualitativa realizada sobre amostras individuais colhidas nos circuitos de tingimento em contínuo (Amostra A), tingimento nas autoclaves (Amostra B), lavagens da ultimação (Amostra C), obtiveram-se os resultados que em seguida se apresentam:

PARAMETROS	AMOSTRAS		
	A	B	C
Aspecto	Branco turvo	Azul escuro turvo	Azul turvo
Cheiro	a soda		
pH a 25 °C	12,47	5,18	9,40
Sólidos sedimentáveis após 1 hora de decantação (ml/l)	n/d	< 0,5	10
Sólidos suspensos (mg/l)			
- totais	48	36	508
- fixos	18	14	48
- voláteis	30	22	460
Sólidos dissolvidos (mg/l)			
- totais	2 524	4 284	2 634
- fixos	2 446	1 542	1 050
- voláteis	78	742	584
Carência bioquímica de oxigénio (5 dias a 20 °C, O ₂ mg/l)	82,5	2 449	1 262
Carência química de oxigénio (O ₂ mg/l)			
- ao dicromato	560,0	6 000	3 760
- ao permanganato, meio ácido	112,5	1 475	411
Azoto nitroso (NO ₂ ⁻ mg/l)	1,55	1,97	4,28
Alcalinidade (CaCO ₃ mg/l)			
- bicarbonatada	n/d	774,8	646,7
- carbonatada	150	n/d	n/d
- de hidróxido	1 023	n/d	n/d
Cloretos (Cl ⁻ mg/l)	28,4	53,2	42,6
Condutividade a 25 °C (µS/cm)	8 688,8	2 170,0	1 675,5
Sulfatos (SO ₄ ²⁻ mg/l)	158,84	40,3	119,75
Dureza total (°F)	1,5	7,8	0,7
Cálcio (Ca ²⁺ mg/l)	4,0	16,03	1,20
Magnésio (Mg ²⁺ mg/l)	1,22	9,24	0,97
Sódio (Na ⁺ mg/l)	982,8	617,2	464,9
Potássio (K ⁺ mg/l)	4,6	68,8	8,4
Resíduo seco a 130 °C (mg/l)	2 524	4 253	2 327

8. A análise da caracterização sumária apresentada permite avaliar por um lado da variabilidade de características dos efluentes em causa, tinturaria e ultimateção, e ainda das cargas poluentes que veiculam, o que sugere a segregação dos mesmos e o tratamento individualizado tendo em vista a reutilização.

A referida variabilidade resultante das operações fabris e dentro de cada operação, dos diferentes tipos de matéria prima, de corantes e produtos auxiliares, obriga a que seja, no entanto, necessário para uma adequada caracterização um número de amostras estatisticamente representativas da qualidade dos diferentes tipos de efluentes. Essa razão foi devidamente tida em conta na definição do plano de ensaios adiante referido.

Os níveis de despoluição exigíveis tendo em vista a reutilização

9. As características a exigir a uma água cuja utilização se prevê na indústria têxtil são [HOLDEN (1971)], de entre as mais restritivas, as que se listam no quadro seguinte:

CARACTERISTICA OU SUBSTANCIA	LIMITES ACEITÁVEIS mg/l	
	LÃ	ALGODÃO, SEDA, FIBRAS ARTIFICIAIS E SINTETICAS
Turvação	< 5	< 5
Sólidos	< 5	< 5
Cor (unidades Hazen)	< 10	< 10
pH	6-8	7-9
Acidez/Alcalinidade	< 100 como CaCO ₃	< 100 como CaCO ₃
Dureza	100	70
Ferro	0	0,3
Manganésio	0	0,05
Cobre	0	0,01
Chumbo ou Metais Pesados	0	0,01
Alumínio	0,25	0,25
Sílica	10	10
Sulfato	250	250
Sulfureto	1	1
Cloreto	250	250
Fosfato	s/limite	s/limite
Oxigénio dissolvido	s/limite	s/limite
Dióxido de carbono	50	50
Nitrito	0,5	0,5
Cloro	0,1	0,1
Amónia	0,5	0,5
Sólidos totais	500	500

10. Da comparação destes limites com a caracterização sumária atrás apresentada, pode concluir-se que, na perspectiva de reutilização, será necessário actuar, reduzindo concentrações, ao nível da matéria orgânica, dos sólidos totais, da cor, da turvação, do pH e eventualmente dos metais pesados.

Soluções tecnológicas disponíveis

11. Questiona-se então:

1º que tecnologias existem disponíveis para tratar os efluentes de tinturaria e ultimateção com eficiência e fiabilidade tais que assegurem

a possibilidade da sua reutilização em contínuo no processo de fabricação;
2º de entre as tecnologias que sejam enumeradas, qual a que se apresenta mais competitiva simultaneamente sob o ponto de vista técnico e económico.

12. A indústria têxtil, no que diz respeito aos efluentes resultantes da actividade fabril, tem sido objecto de vários estudos de investigação por razões que se prendem com (1) os volumes de água significativos que utiliza nos diversos processamentos e (2) o grau de poluição que qualitativa e quantitativamente representa.

Em breve síntese enumeram-se sobre o assunto as considerações seguintes:

- as características genéricas apresentadas pelos efluentes textéis, salvaguardando a sua variabilidade que exige caracterizações adequadas e estudos piloto de tratabilidade, permitem o tratamento baseado em processos biológicos, desde que rectificadas as concentrações de nutrientes, dos quais se podem salientar como mais usuais lamas activadas por arejamento prolongado, leitos percoladores e discos biológicos [EPA (1978)];

- em qualquer das situações anteriores, é necessário um pré-tratamento que consiste, basicamente, numa grelhagem, homogeneização de caudais e de características qualitativas, neutralização de pH e eventualmente remoção de metais pesados;

- as eficiências médias obtidas na remoção de matéria orgânica, expressa em CBO₅ e sólidos em suspensão, através dos processos biológicos, situam-se [EPA (1978)] nos intervalos de 80-90% e 90-95%, respectivamente;

- a eficiência média referida para remoção da cor, também por processos biológicos, situa-se [EPA (1978)] entre 10 e 50%;

- experiências realizadas com tratamento baseado unicamente em processos físico-químicos, nomeadamente coagulação/floculação com sulfato de alumínio em dosagens que variam entre 300 e 600 mg/l, levou [EPA (1978)] a eficiências de remoção de CBO₅ e cor de 20-56% e 75%, respectivamente.

13. Pode dizer-se, do que foi exposto, que o tratamento dum efluente têxtil por processos quer biológicos, quer físico-químicos ou ambos, implica um conjunto de várias operações e processos unitários que sequencialmente promovem a remoção das substâncias seleccionadas, de acordo com as características exigidas ao efluente tratado.

14. A perspectiva enunciada no caso presente, que se traduz não simplesmente pelo tratamento dos efluentes para descarga mas sim na sua recuperação tendo em vista a sua reutilização, obriga a qualidade do efluente tratado mais afinada, ou seja, níveis de concentração nas substâncias consideradas poluentes mais baixos. Dir-se-ia, então, que o processo de tratamento forçosamente teria que corresponder a esquema mais completo, eventualmente com o processo biológico e físico-químico em série e, ainda, um tratamento terciário. Por outro lado, face à variabilidade do afluente, exige-se nesta perspectiva uma maior fiabilidade de resposta do sistema e maior constância na qualidade do seu efluente, tendo em conta a sua utilização no processo industrial.

15. A perspectiva de recuperação dos efluentes conduziu, então, ao equacionamento e desenvolvimento de novos processos de despoluição, dos quais se podem salientar a adsorção por carvão activado e as tecnologias de membrana. Apresentando teoricamente [EPA (1974)], eficiências semelhantes na remoção dos diferentes poluentes, ou seja, os níveis exigidos

dos pela reutilização do efluente, a escolha da alternativa basear-se-á, fundamentalmente, em factores económicos e na maior ou menor complexidade da sua instalação.

16. A adsorção por carvão activado, concretamente sobre colunas de carvão activado granulado, alcançando eficiências na remoção do carbono orgânico total e cor de 75 e 99% respectivamente [EPA (1974)], exige que a concentração em sólidos em suspensão do afluente à coluna não seja superior a 50 mg/l. Em presença de diferentes tipos de compostos orgânicos, a adsorção por carvão activado apresenta um grau de selectividade que pode alterar as eficiências de remoção previstas. Relativamente à utilização do carvão activado no tratamento de efluentes têxteis, pode afirmar-se [EPA (1974)] que a eficiência de remoção global de poluição é de facto assegurada, para a alternativa de reutilização, embora condicionada pelo pré-tratamento que engloba, de acordo com a qualidade do efluente a tratar, um número de operações e processos que pode conduzir a um sistema com alguma complexidade e com dificuldade de garantir constância de resultados finais, por inadaptação, em tempo real, às condições afluentes.

17. Os processos baseados em tecnologias de membrana, por seu lado, são referidos como capazes de eficiências elevadas de remoção, quer de matéria em suspensão quer de matéria dissolvida. A ultrafiltração, em particular, tem vindo a revelar-se como uma alternativa muito válida ao tratamento de diversos efluentes industriais, entre eles os têxteis. Esta afirmação fundamenta-se numa pesquisa de referências bibliográficas publicada nos últimos anos e orientada na perspectiva de recuperação de efluentes têxteis através de ultrafiltração. São então referidas [FLECHS *et al* (1981)] e [TINCHER *et al* (1981)] eficiências de remoção de matéria orgânica e cor de 90 e 95%, respectivamente, e capacidade de recuperação do efluente tratado até 95% do volume total consoante o efluente em estudo. A evolução tecnológica que se tem verificado nesta área traduz-se, no que respeita às membranas, numa gama de materiais diversos que se podem apropriar mais adequadamente às características de cada caso em estudo. Neste sentido o pré-tratamento exigido ao afluente às membranas é relativamente simples, dependendo, evidentemente, das características químicas e físicas do mesmo, mas podendo resumir-se à passagem por filtro de cartuchos de dimensão entre 25 e 100 μ . A ultrafiltração, entre os processos baseados em tecnologia de membranas - os outros são a osmose inversa e a microfiltração - apresenta características que a colocam numa posição vantajosa para o objectivo que se pretende atingir no caso em análise. Na verdade as membranas utilizadas na ultrafiltração apresentam a permeabilidade necessária à gama de macromoléculas e sólidos em suspensão que se pretendem separar. Quando comparada com a microfiltração, as membranas de ultrafiltração têm uma permeabilidade inferior, o que também é necessário para garantir um determinado nível de rejeição. Sob o ponto de vista económico, a ultrafiltração, face à osmose inversa, implica custos de exploração, associados à energia utilizada, mais baixos. Em qualquer situação há ainda a considerar os custos de exploração associados à manutenção das membranas, que vão depender, de uma forma especial, das características dos efluentes a tratar.

As tecnologias de membrana como solução seleccionada

18. Relativamente às tecnologias de membrana, naquilo que respeita à sua aplicabilidade na despoluição dos efluentes têxteis, poder-se-ão então enunciar as seguintes razões que fundamentaram, no caso em estudo,

a sua selecção:

- através de uma operação, atingem-se níveis de concentração das substâncias de referências que noutros processos só são atingidos através de uma sequência de várias operações;

- o pré-tratamento necessário, para o mesmo tipo de afluente, é mais simples num processo de membranas;

- relativamente aos outros processos de membrana com eficiência adequada, a ultrafiltração deverá corresponder a menores custos de exploração associados à energia, uma vez que a pressão de funcionamento é mais baixa;

- é possível, dadas as características qualitativas do filtrado, com percentagem de recuperação elevadas, reutilizar filtrado como água do processo e reutilizar, em determinadas condições do processo e laboração fabril, substâncias concentradas no rejeitado;

- o processo garante um grau de fiabilidade de resultados aceitável, que se traduz na capacidade de resposta e adequação do processo, às condições que se apresentem.

19. Não cabe no âmbito da presente comunicação o desenvolvimento dos princípios teóricos em que se baseiam as tecnologias de membrana.

A (1) selectividade, que constitui a capacidade da membrana discriminar as dimensões das partículas e moléculas e é determinada pela dimensão média e distribuição das dimensões do poro (associada ao "cut off value" da terminologia inglesa, que indica o peso molecular mínimo possível de ser rejeitado pela membrana em causa), o (2) fluxo da membrana, que tem uma relação directa com a viabilidade económica do processo, pretendendo-se obter fluxos elevados a pressões moderadamente baixas e (3) a vida útil das membranas, que traduz a estabilidade térmica, mecânica e química dos seus materiais constituintes - são três das propriedades fundamentais a ter em conta na selecção das membranas.

20. A fundamentação que conduziu à selecção da tecnologia de membranas assentou em referências bibliográficas da especialidade relatando situações concretas devidamente identificadas e documentadas, o que não dispensa, no entanto, dada a variabilidade e especificidade característica dos efluentes têxteis, que seja aferida esta solução através de ensaios piloto.

Ensaio piloto

21. A metodologia para a realização dos testes foi fixada tendo como objectivo concluir sobre:

- eficiência de remoção dos poluentes fundamentais, nomeadamente cor e matéria orgânica no ultrafiltrado, com diferentes tipos de membrana;

- selecção do tipo de membrana que tendo demonstrado aplicabilidade, conduza às melhores eficiências, quer sob o ponto de vista de despoluição quer sob o ponto de vista de volume final recuperado;

- as condições de funcionamento, na situação seleccionada anteriormente, em termos de fluxos de membrana e pressão de operação.

22. Do resultado destes testes poder-se-ão retirar as linhas de actuação face à instalação de recuperação à escala real se se garantirem simultaneamente: (1) a aplicabilidade da ultrafiltração traduzida na capacidade de remoção dos poluentes imposta e (2) a viabilidade económica da ultrafiltração traduzida na obtenção de recuperação elevada.

23. O equipamento de laboratório que integra a instalação piloto utilizada, comercializado pela empresa De Dansk Sukker Fabrikker Filtra-

tion, é constituído por:

- um filtro de cartuchos com abertura de dimensão 100 μ ;
- um módulo Mini-Lab 10 integrando 4 membranas, configuração plana, operando em série duas a duas e respectivos suportes;
- uma bomba com motor de 0,22 kW de potência funcionando a 1500 rpm e uma pressão máxima de 7 bar;
- os circuitos de afluente, rejeitado e ultrafiltrado, os dois primeiros munidos de manómetros e o circuito do rejeitado com uma válvula de regulação.

O filtro de cartuchos, através do qual se realiza o pré-tratamento do afluente às membranas, permite a remoção de sólidos em suspensão no sentido de preservar as membranas e alongar o ciclo de funcionamento.

O módulo Mini-Lab 10, que integra 4 membranas, como referido, apresenta uma área total efectiva de filtração de 336 cm² e um volume interno de 57 ml. Os caudais máximos e mínimos de operação são respectivamente 10 l/min e 3 l/min, e as pressões máxima de linha do afluente e mínima da linha do concentrado são de 7 e 0,5 bar, respectivamente.

Os tipos de membranas considerados no programa de testes, também da mesma proveniência já referida, apresentam as características sintetizadas no quadro seguinte.

TIPO	MATERIAL	CUT OFF VALUE (peso molecular)	FLUXO ÁGUA (l/m ² .h)	CONDIÇÕES OPERAÇÃO LIMITE RECOMENDADAS		
				pH	T (°C)	Pressão (bar)
CA600PP	Acetato celulose	20 000	150-215	2-8	0-50	0-20
GR61PP	Polisulfona	20 000	250-350	1-13	0-75	0-15
GR81PP	Polisulfona	6 000	100-300	1-13	0-75	0-15
GR90PP	Polisulfona	2 000	50-100	1-13	0-75	0-20
RC70PP	Celulósica	10 000	100-175	1-10	0-60	0-10

24. Os esquemas de operação testados são o sistema de passagem simples (representado na Figura) e o sistema contínuo com recirculação do rejeitado durante um intervalo de tempo de 1 hora.

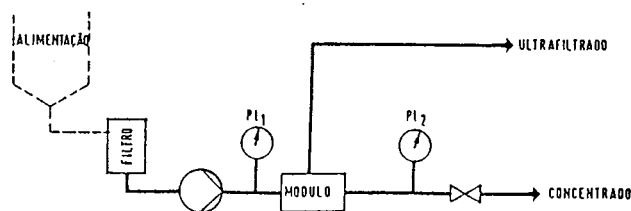


Fig. - Instalação piloto. Sistema passagem simples

25. O plano de ensaios definido é constituído pelas seguintes fases sequenciais:

- . 1ª fase - calibração do sistema com água.
- . 2ª fase - constituída por três etapas de (1) caracterização sistemática dos diferentes tipos de efluentes, quer de tinturaria quer de ultima-

ção, nos parâmetros de análise pH, temperatura, cor, condutividade, CQO, COT e ST, (2) ensaios na instalação piloto de cada uma das amostras caracterizadas a diferentes pressões com as membranas GR61PP e RC7OPP, (3) caracterização analítica dos ultrafiltrados nos parâmetros referidos.

. 3ª fase:

- efluentes de ultimateção - ensaios idênticos aos da 2ª fase incluindo agora um novo tipo de membrana CA600PP em dois tipos de operação (passagem simples e sistema contínuo) e, sempre que se demonstre necessário, adição de carvão activado;

- efluentes de tinturaria - integra duas etapas: (1) ensaios análogos aos da 2ª fase, testando as membranas GR81PP, GR90PP e RC7OPP em passagem simples e sistema contínuo e (2) adição de carvão activado ao ultrafiltrado.

26. O plano de ensaios está de momento cumprido até à 3ª fase no que respeita aos efluentes de ultimateção. Estão exactamente a decorrer, relativamente aos efluentes de tinturaria, os ensaios que constituem a 3ª fase descrita.

27. O elevado número de amostras analisado, cerca de 50, não permite a sua apresentação na globalidade. Dar-se-á conta, no entanto, dos resultados até agora obtidos nas conclusões. Apresentam-se, em seguida, dois exemplos representativos de uma amostra de efluente de ultimateção e de uma amostra de um efluente de tinturaria:

PARAMETROS	EFLUENTE BRUTO	ULTRAFILTRADO			EFLUENTE BRUTO	ULTRAFILTRADO RC7OPP
		RC7OPP	GR61PP	CA600PP		
pH	6,23	6,66	6,88	6,50	4,76	4,76
Temperatura, °C	18	21,7	18,4	20,5	20,6	20
Cor	cinzenta	incolor	incolor	incolor	verde	amar. pálido
Condutividade, µS/cm	199,5	173	141	146	9565	8311
CQO, mg/l O ₂	235	144	16	n/d	3888	n/d
COT, mg/l C	59	34,4	29	n/d	n/d	n/d
SDT, mg/l	220	141	70	140	5969	3835
Dureza, °F	1,6	0,8	1,0	1,4	n/d	n/d
Origem Matéria prima Corantes	ultimateção				tinturaria penteado lã metalizados	
Sistema de Operação	-	contínuo	contínuo	contínuo	-	passag. única
Pressão func., bar	-	5	5	5	-	5
Recuperação, %	-	33,6	11,6	5	-	3

Conclusões

28. Como primeira conclusão pode ser afirmado que a ultrafiltração demonstra aplicabilidade no objectivo pretendido, embora nalgumas situações sejam necessárias operações subsequentes.

29. Relativamente aos efluentes de ultimateção alinham-se as seguintes conclusões:

1º) os ensaios foram efectuados à pressão máxima 5 bar (diferencial de pressão 0,5 bar) na sua quase totalidade;

2º) a cor, em praticamente todas as amostras e independentemente da membrana utilizada, é removida na sua quase totalidade;

3º) relativamente aos outros parâmetros os melhores resultados são obtidos com as membranas GR61PP e RC7OPP. Obtiveram-se reduções no CQO entre 83% e 96%, no COT entre 50% e 80% e nos SDT entre 30% e 80%;

4º) ensaios realizados com dosagens variáveis de carvão activado aplicados sobre o ultrafiltrado nas situações em que a cor ainda se detectava, permitem atingir a remoção total da mesma;

5º) decorrente das conclusões foi tomada a decisão de desenvolvimento, a nível industrial, do sistema de recuperação dos efluentes de ultimação baseado em ultrafiltração seguida de carvão activado em coluna.

30. Quanto aos efluentes da tinturaria, embora o programa de ensaios não esteja completo, poder-se-á referir que:

1º) a pressão máxima a que foram efectuados os ensaios foi de 5 bar (diferencial de pressão 0,5 bar);

2º) a cor, embora seja removida não o é totalmente, mantendo-se sempre um residual dependente do tipo de corante. As membranas GR61PP e RC70PP apresentam um "cut off" baixo para o tipo de corantes veiculados (20 000 e 10 000 respectivamente), razão que justificou os ensaios em realização com membranas capazes de remover substâncias com menores pesos moleculares (GR90PP-2000 e GR81PP-6000);

3º) os ensaios realizados com carvão activado permitem a remoção total da cor, mas para concentrações bastante elevadas, numa gama entre 3 e 10 g/l;

4º) prevendo-se volumes de ultrafiltrados muito baixos com as membranas em ensaio, perspectiva-se o estudo, ainda piloto mas a uma escala mais elevada, de aplicação de osmose inversa ao ultrafiltrado. Dependendo da aplicabilidade que se venha a demonstrar tirar-se-ão orientações para a escala industrial.

31. Faz-se notar que as eficiências obtidas à escala de piloto laboratorial não são extrapoláveis para a escala industrial, uma vez que o seu objectivo é apenas indicar a aplicabilidade do processo de membrana. Serão quando muito indicadores mínimos dos valores a obter, porque de facto a configuração das membranas, elemento determinante da recuperação a obter, está optimizada apenas para escalas superiores, nomeadamente a industrial. Nesta perspectiva a capacidade do sistema de recuperação da linha de efluentes de ultimação será faseada de modo a que da 1ª fase sejam retirados indicadores precisos que fundamentem a concepção das fases seguintes.

32. Finalmente para os efluentes não reutilizáveis, desde já os rejeitados, perspectiva-se uma solução de tratamento autónomo, sendo a parcela de efluentes a tratar obviamente reduzida em função da percentagem recuperada.

BIBLIOGRAFIA

. FLECHS, Alan et al - "Indigo Recovery Via Hollow Fiber Ultrafiltration", in 6th Seminar of Membrane Separation Technology, 1, 1981.

. HOLDEN, W.S. - "Water Treatment and Examination" in J.S.D.C.. 87, pg.481, 1971.

. TINCHER, Wayne; AVERETTE, Linn - "Toward Zero Discharge Flow Textile Dyeing Processes", in Proceedings of the Water Reuse Symposium II, 1, 1981.

. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - Wastewater Treatment Systems - Upgrading Textile Operations to Reduce Pollution. Manual EPA - 625/3-74, 1974.

. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - Environmental Pollution Control. Textile Processing Industry. Manual EPA-625/7-78, 1978.