

ANÁLISE E GERENCIAMENTO DE EFLUENTES DE SERVIÇOS DE RADIOLOGIA*

Geraldo Sérgio Fernandes¹, Ana Cecília Pedrosa de Azevedo², Antonio Carlos Pires Carvalho³, Maria Lucia Couto Pinto⁴

Resumo **OBJETIVO:** Com o intuito de prevenir e minimizar os riscos de ocorrência de danos ambientais, foram avaliados a manipulação e o destino final dos rejeitos e foi elaborado um modelo de gestão para serviços de radiodiagnóstico que visa à obtenção de recursos para o setor. **MATERIAIS E MÉTODOS:** Foram analisados a manipulação e os rejeitos, baseados em análises de amostras de efluentes das processadoras automáticas de filmes de serviços de radiologia. Foi feita uma análise econômica da viabilidade do modelo proposto. **RESULTADOS:** As observações *in loco* enfatizam que os princípios da gestão devem ser obedecidos, ou seja, os componentes dos efluentes (revelador, fixador e água de lavagem) necessitam ser tratados convenientemente antes de serem lançados direta ou indiretamente no meio ambiente, o que não ocorre. A análise econômica confirmou que a receita resultante da comercialização da prata (que varia de 3,5 a 10,2 g/l), recuperada a partir do fixador usado, acrescida da economia proporcionada pela reciclagem do fixador após seu beneficiamento, na pior das hipóteses (quando existe concentração de prata no fixador igual a 3,5 g/l) é suficiente para que toda a despesa correspondente à sua implantação seja paga. **CONCLUSÃO:** O modelo de gestão proposto demonstra que o reprocessamento do fixador pode ser uma escolha adequada para solucionar os problemas ambientais e financeiros desses serviços. O modelo proposto poderá se tornar, além de ecologicamente correto, uma fonte de recursos para os setores de diagnóstico por imagem e pode ser aplicado a outras instituições, em face da semelhança de problemas e recursos.

Unitermos: Processamento radiográfico; Revelador; Fixador; Prata; Meio ambiente.

Abstract *Analysis and management of effluents from radiology departments.*

OBJECTIVE: With the aim of reducing and preventing environmental damages, handling and disposing practices of chemical effluents from radiology departments were investigated and a service management model was created in order to obtain financial resources for the department. **MATERIALS AND METHODS:** The proposed model, based on the evaluation of chemical effluents from automatic processors of radiographic films, showed that fixer reprocessing can be an adequate choice to solve environmental and financial problems in these departments. This model also emphasizes that compliance with management guidelines should be observed, i.e. other effluents (developer and water) must be chemically treated before disposal in the natural environment. The economical analysis has confirmed that the income originated from commercializing the silver (of which concentration ranges from 3.5 to 10.2 g/l), recovered from the used fixer, in addition to the income from the reuse of the fixer (after its recovery), is in the worst scenario (when the silver concentration is 3.5 g/l) enough to cover all the expenses with the implementation of the project. **CONCLUSION:** The proposed model can be a good choice for solution of environmental and financial problems. Moreover, it is ecologically correct, a potential source of financial resources to radiology departments, and can be applied to other institutions due to the similarity of problems and resources.

Key words: X-ray film processing; Developer; Fixer; Silver; Natural environment.

* Trabalho realizado no Departamento de Radiologia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio de Janeiro (FM-UFRJ), Rio de Janeiro, RJ.

1. Aluno do Programa de Pós-graduação em Radiologia (Mestrado) da FM-UFRJ.

2. Física da FM-UFRJ, Doutora, Pesquisadora da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca-CESTEH.

3. Professor Adjunto Doutor, Coordenador Adjunto do Programa de Pós-graduação em Radiologia da FM-UFRJ.

4. Doutora, Laboratório de Análise Ambiental e Mineral do Instituto de Química da UFRJ.

Endereço para correspondência: Dra. Ana Cecília Pedrosa de Azevedo. Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca-CESTEH. Rua Leopoldo Bulhões, 1480, Manguinhos. Rio de Janeiro, RJ, 21041-210. E-mail: acpa@ensp.fiocruz.br

Recebido para publicação em 30/7/2004. Aceito, após revisão, em 7/1/2005.

INTRODUÇÃO

O cenário atual dos hospitais, clínicas e assemelhados mostra que, apesar dos esforços em investimento para o aprimoramento de profissionais, processos e equipamentos, pouco tem sido feito para controlar o impacto ambiental causado por efluentes originados de serviços de radiodiagnóstico. O serviço de diagnóstico por imagem, um dos mais importantes instrumentos de apoio a inúmeras áreas da medicina, é um exemplo típico de não-con-

formidades com as normas e leis de segurança e ambientais em vigência no Brasil, que incluem os impactos ambientais causados pela geração de emissões e efluentes (soluções de fixador, de revelador e água de lavagem dos filmes radiográficos) contendo substâncias tóxicas e da geração de resíduos sólidos (os filmes radiográficos) constituídos de material plástico impregnado com metal pesado (prata). São observados, também, atos inseguros, tais como: preparação e manuseio de soluções tóxicas sem utilização de vestimentas de pro-

teção individual (VPI), auxílio a pacientes deficientes com doenças contagiosas sem utilização de VPI, ambientes onde há insalubridade resultante da presença de agentes químicos tóxicos fora dos limites estabelecidos por lei e ambientes onde a ventilação está fora das especificações.

O objetivo deste trabalho é fazer uma análise das condições de manipulação e descarte dos rejeitos de um serviço de diagnóstico por imagem, propondo soluções que reduzam o impacto ambiental gerado pelos seus efluentes e viabilizem a obtenção de recursos financeiros para o setor.

MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de revelação de filmes radiográficos é bastante antigo e vem sendo empregado até hoje nos serviços radiológicos de saúde. Os filmes radiográficos⁽¹⁾ são folhas de acetato de celulose revestidas por duas camadas de emulsão de gelatina contendo haletos de prata. A exposição de cloreto de prata à radiação ionizante excita os cristais de cloreto de prata, iniciando um processo de redução dos íons de Ag^+ a prata metálica, Ag^0 , e formação de cloro ou outras substâncias, no caso do cloreto de prata misturado com gelatina, por exemplo. Esta exposição forma uma "imagem latente". O processo tradicional de revelação dos filmes envolve as seguintes etapas: a revelação da imagem latente (que reduz a prata metálica dos cristais excitados), a fixação (remoção do cloreto de prata não afetado pela exposição), a lavagem e a secagem.

As soluções geradas nesse processo não podem ser descartadas como efluentes no meio ambiente, pois estão completamente fora dos padrões do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama)⁽²⁾ (Resolução nº 20, de 1986, Artigo 21) e da Comissão Estadual de Controle Ambiental/Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (Ceca/Feema) (NT-202).

A etapa de lavagem, após a revelação e fixação, também gera efluentes^(3,4) contendo todos os componentes do revelador e do fixador e de seus produtos de reação: hidroquinona, quinona, metol, tiosulfato de sódio, sulfato de sódio, enxofre elementar, ácido acético, acetato de sódio, ácido bórico e outros, além de prata, sob a for-

ma de íons complexos com $S_2O_3^-$. Esses efluentes também não podem ser descartados no meio ambiente, pois, da mesma maneira que os demais, não satisfazem aos padrões para lançamento de efluentes estabelecidos pelos órgãos reguladores.

Apesar de ser clara a legislação quanto à consequência da infração, os efluentes e os resíduos gerados pelos serviços de diagnóstico por imagem seguem em geral os seguintes caminhos: algumas instituições lançam tanto os efluentes (soluções de fixador, de revelador e de água de lavagem) quanto os resíduos (filmes radiográficos) no meio ambiente, sem nenhum tratamento adequado. Outras vendem a solução de fixador e filmes radiográficos a terceiros e lançam as soluções de revelador e de água de lavagem na rede de esgotos, sem nenhum tratamento; um terceiro grupo estabelece contratos com empresas fornecedoras de separadores eletrolíticos para recuperar a prata a partir da solução do fixador usado, porém os demais efluentes são descartados de maneira semelhante às acima. Neste último exemplo, cláusulas contratuais são estabelecidas para determinar o rateio da quantidade de prata obtida.

Em face da dificuldade atual em alterar o processo de revelação de filmes radiográficos por meio de novos produtos, processos ou técnicas menos poluentes, a opção restante para sua otimização ambiental consiste em interferir em seu final através de uma estação de tratamento dos efluentes. Embora poluente, se tratado apropriadamente, o fixador poderá se tornar um insumo que gere receita e economia ao serviço, por ser reutilizado.

Propõe-se a construção de uma estação que fará a separação da prata por processo eletrolítico a partir da solução de fixador usado, realizando posteriormente o beneficiamento do fixador restante para que este, tendo as características próprias para perfeita revelação de radiografias, possa ser reciclado. Em sua etapa final a estação fará o tratamento do revelador e da água de lavagem para deixá-los dentro dos padrões determinados por lei.

Merece esclarecimento o fato de que o processo de beneficiamento do fixador já foi desenvolvido^(5,6) pelo Laboratório de Análise Ambiental e Mineral (LAM) do Instituto de Química da Universidade Fe-

deral do Rio de Janeiro (IQ-UFRJ), com aprovação de alguns médicos radiologistas que obtiveram revelações perfeitas tendo utilizado a solução reciclada.

Neste trabalho foram analisados rejeitos provenientes de processadoras automáticas de filmes radiológicos de dois hospitais públicos de grande porte na cidade do Rio de Janeiro. O hospital X tem como rotina, através de licitação, vender lotes de filmes radiográficos e volumes de solução de fixador. O hospital Y estabelece contratos com empresas fornecedoras de separadoras eletrolíticas de prata a partir da solução do fixador usado.

RESULTADOS

Os resultados das análises das amostras de soluções de fixador foram realizados no LAM/IQ-UFRJ.

Hospital X

– Todo o volume de solução de fixador já usado é acondicionado em tambores de material plástico para posterior venda. Mensalmente, o seu consumo é de aproximadamente 800 litros.

– Mediante acompanhamento das tubulações hidráulicas pôde ser constatado que as soluções de revelador e água de lavagem não recebem nenhum tratamento antes de serem lançadas na rede de esgotos.

– Foram recolhidas em frascos plásticos algumas amostras de solução de fixador já usado. As amostras foram levadas para o LAM/IQ-UFRJ para as devidas análises.

Hospital Y

Autoriza o trabalho de duas empresas, A e B, que utilizam equipamentos e processos diferentes para a separação de prata a partir da solução de fixador gerado. A empresa A tem contrato há mais de dez anos com o hospital Y.

– Foi verificado que, com a utilização de um processo eletrolítico contínuo, a solução de fixador é conduzida por tubos plásticos da processadora de filmes até a separadora de prata. Após esta etapa a solução resultante é conduzida também por tubos diretamente à rede de esgotos, sem nenhum outro tratamento. O seu descarte mensal é igual à quantidade de consumo, isto é, aproximadamente 400 litros/mês.

– Mediante acompanhamento das tubulações hidráulicas pôde ser constatado que as soluções de revelador e água de lavagem não recebem nenhum tratamento antes de serem lançadas na rede de esgotos.

– Foram apresentados, pela chefia do serviço de radiologia, os relatórios com os resultados das pesagens da prata separada, em períodos que variam de quatro a seis meses. Tais quantidades são rateadas entre o hospital e a empresa. Após esse acerto, o hospital recebe da contratada o valor correspondente que lhe cabe.

Quanto à empresa B (em experiência):

– Por meio de um sistema constituído de um filtro para metais pesados, destinado à separação de prata, e um descontaminador, a empresa informa, no catálogo do equipamento, que o efluente composto (revelador, fixador e água) gerado pela processadora de filmes é lançado na rede de esgoto pública com todos os seus parâmetros dentro dos limites toleráveis pelas leis ambientais brasileiras. Durante as observações realizadas num período de quatro dias, cada um com sete horas ininterruptas, foi constatado que o efluente, composto de soluções de fixador (após a separação da prata), revelador e água de lavagem, sofre no descontaminador apenas uma diluição contínua com água corrente. Isto contraria a legislação nacional, que proíbe a diluição de efluentes.

– Foram recolhidas em frascos plásticos algumas amostras de solução de fixador, de revelador e água de lavagem provenientes das duas processadoras em uso no serviço. As amostras foram levadas para o LAM/IQ-UFRJ para as devidas análises.

Como a viabilidade econômica proposta neste modelo está baseada, além da reciclagem do fixador, também numa concentração de prata mínima que coopere com uma boa relação custo-benefício para o projeto, a escolha do método de avaliação se torna muito importante. Segundo metodologia analítica clássica, a determinação de prata em fixadores pode ser feita usando-se método analítico absoluto, em que os resultados apresentam erros inferiores a 1%, razão pela qual este método foi o escolhido para este projeto.

Como normalmente as soluções fixadoras, além da prata, contêm elevados teores de tiosulfato em meio acético, a primeira

etapa foi a retirada da prata deste meio fortemente redutor, por precipitação da prata sob a forma de sulfeto, o que foi conseguido passando-se gás sulfídrico (H_2S) pela solução fixadora, formando-se sulfeto de prata. A suspensão foi centrifugada e filtrada. Após a separação, o precipitado foi lavado várias vezes para que não sobrassem resíduos da solução redutora e foi feita a dissolução do precipitado com ácido nítrico (HNO_3). Novo precipitado se formou, mas este foi abandonado por se tratar de enxofre. A solução resultante após essa etapa continha prata sob a forma de nitrato de prata ($AgNO_3$). Assim sendo, pôde-se dosar o teor de prata pelo método de Volhard, que apresenta grande precisão.

O hospital X mostrou concentração média de 10,2 g de prata por litro de solução de fixador, e o hospital público Y, 3,5 g/l.

A razão da concentração de prata existente na solução oriunda do hospital Y ser um terço da proveniente do hospital X tem como explicação, dentre outros, o fato de que a solução deste hospital é regularmente reutilizada. Este fato, embora não recomendado, é prática comum nos serviços de radiologia por medida de economia.

A quantidade de prata mensalmente existente nas soluções de fixador usado no hospital X foi de aproximadamente 8 kg e no hospital Y, de aproximadamente 1,4 kg.

É preciso considerar o custo de operação e de comercialização, já incluídos impostos e taxas, calculado como sendo 50% desse valor. E que o custo do sistema de separação de prata e de beneficiamento do fixador é de cerca de R\$ 5.000,00.

A análise da relação custo \times benefício para o sistema de separação de prata e de beneficiamento do fixador para reciclagem apresentou os seguintes resultados:

a) Hospital X

1) Benefício relativo à prata:

Preço de venda da prata: R\$ 500,00/kg.

Valor da prata existente: 8 kg \times R\$ 500,00/kg = R\$ 4.000,00.

Custo de operação e de comercialização = R\$ 2.000,00.

Saldo positivo mensal: R\$ 2.000,00.

2) Benefício relativo ao fixador:

Valor gasto mensal com fixador: 11 conjuntos \times R\$ 178,00/conjunto = R\$ 1.958,00.

É preciso considerar em 10% as perdas possíveis durante o processo, ou seja, a necessidade de compra de fixador será significativamente reduzida, porque a reutilização do fixador após sua reciclagem proporciona grande economia.

Economia obtida com a reciclagem = R\$ 1.958,00 \times 0,90 = R\$ 1.762,20.

3) Saldo positivo total mensal:

R\$ 3.762,20 no Hospital X.

A partir do 40º dia após a implantação do sistema de separação de prata e beneficiamento do fixador, o mesmo já estará pago e rendendo lucro, que poderá ser investido para a fabricação e instalação da estação de tratamento do efluente restante (água de lavagem e revelador).

Outro modelo de análise comparativa pode ser considerado, por exemplo, o processo de licitação para venda da solução de fixador, método mais usado em hospitais públicos. O hospital X obteve, com a venda de 1.560 litros de fixador acumulados, receita de R\$ 639,00 (1.560 l \times R\$ 0,41/l). Se a prata tivesse sido retirada e beneficiada, na concentração de 10 g/l, teríamos 15,6 kg de prata, que vendida ao preço de mercado resultaria em R\$ 3.900,00 (considerando o custo e impostos de 50%). Ou seja, arrecadação, apenas com este “lote” de fixador, 6,1 vezes maior.

E, ainda, para fins de comparação do saldo positivo, se considerado o processo proposto, tem-se que 1.560 litros de fixador custariam cerca de R\$ 3.818,00. Que não precisariam ser comprados, porque seriam reutilizados após reciclagem.

b) Hospital Y

Análise semelhante feita com relação ao hospital Y, que apresenta benefício relativo a 1,4 kg de prata e utiliza sete conjuntos de fixador por mês, mostrou que se obtém, com sua reciclagem, economia de R\$ 1.121,40, que acrescidos ao valor auferido com a comercialização da prata, produz um saldo positivo total mensal de R\$ 1.471,40. Nesse hospital, a partir de 110º dia após a implantação do sistema de separação de prata e de beneficiamento do fixador resultante, o mesmo já estará pago.

Outro modelo de análise comparativa também deve ser considerado. De acordo com um contrato estabelecido com a empresa A, para um consumo médio mensal

de solução de fixador de 400 litros, as quantidades de prata destinadas ao hospital Y foram rateadas na base de 70% para o hospital Y e 30% para a empresa A. Ou seja, o hospital Y recebe um valor médio de aproximadamente R\$ 130,00 por mês da empresa A. Assim sendo, pode-se concluir que após o pagamento do sistema de separação de prata e de beneficiamento do fixador restante (R\$ 5.000,00), a vantagem financeira mensal será 11,3 vezes maior que o obtido atualmente.

Além das vantagens apresentadas acima, os resultados das análises realizadas pelo LAM, nas amostras dos efluentes provenientes dos hospitais X e Y, revelam que elas estão fora dos padrões estabelecidos pelo Conama e pela Feema, mas mesmo assim são lançadas na rede de esgotos.

A solução de fixador contém tiosulfato, sulfito de sódio e isotiazolonas, que são grandes consumidores de oxigênio, sendo o tiosulfato o mais nocivo, tendo em vista suas propriedades e sua alta concentração. Ele é o responsável tanto pela alta demanda química de oxigênio (DQO), da ordem de 55 g O₂/l, aproximadamente 280 vezes o limite estabelecido na legislação, quanto como complexante para diversos metais pesados, favorecendo a dissolução de compostos metálicos, mantendo-os em solução, como prata, cobre, zinco-cádmio e mercúrio, por exemplo.

A solução de revelador usada contém compostos aromáticos fenólicos (hidroquinona/quinona), sais de aminoácidos e pH alto, fora do intervalo permitido (de 5 a 9). A sua DQO é alta, cerca de 3.800 mg O₂/l, cerca de 20 vezes o limite máximo que a legislação permite para o descarte.

A água resultante da lavagem também constitui um componente do efluente que contém todos os compostos do revelador, do fixador e de seus produtos de reação, o que também a torna carente de tratamento antes de ser lançada na rede de esgotos.

Os resultados das análises realizadas pelo LAM nas amostras do efluente final processado pela estação de tratamento fornecida, em período experimental, pela empresa B, também não satisfazem à legislação vigente.

Assim sendo, pode-se concluir que esses efluentes não devem ser descartados no meio ambiente sem um tratamento devido,

pois não atendem aos padrões de lançamento determinados pelos requisitos ambientais nacionais.

DISCUSSÃO

Os resultados das avaliações mostram que os hospitais analisados não possuem uma gestão para o meio ambiente que satisfaça a legislação ambiental vigente no Brasil. O tratamento dos efluentes gerados pelos serviços de radiologia, conforme foi constatado, quando existem, nada mais são do que máquinas separadoras de prata, mal projetadas e operadas sem nenhum controle ou compromisso com o meio ambiente. Foi constatado que efluentes são lançados *in natura* na rede de esgotos, independentemente de possuírem altíssima DQO e pH fora do intervalo permissível. A concentração de prata encontrada nas análises das amostras, em qualquer dos componentes do efluente, até mesmo no fixador após o processo de separação, é no mínimo de 0,5 g/l de solução, quando o Art. 21 da Resolução Conama nº 20 determina 0,1 mg/l o limite para lançamento direto ou indireto no meio ambiente. Um dos equipamentos analisados, fornecido pela empresa B, é amplamente vendido no Brasil, segundo relação de clientes apresentada no catálogo. Conforme exposto anteriormente, ele realiza, no descontaminador, a diluição contínua do efluente com água, com o intuito de reduzir a sua concentração. Para a comparação econômica entre o sistema sugerido, composto de separação da prata e de beneficiamento do fixador, e os métodos de separação de prata atuais, foi considerada a pior situação encontrada, ou seja, o hospital Y, cuja receita é a menor em face da concentração de prata existente na solução de fixador (3,5 g/l) e o contrato estabelecido por sua administração e a empresa A. O sistema proposto (separação de prata e beneficiamento de fixador) gera uma receita mensal relativa à separação da prata de R\$ 350,00. A economia mensal relativa à reciclagem do fixador é de R\$ 1.121,40 e o benefício mensal total bruto, de R\$ 1.471,40. Sendo a receita média mensal atual de R\$ 130,00, a diferença mensal a favor do sistema proposto é de R\$ 1.341,40. Se for levado em conta o sistema sugerido, operando durante um período

igual a seis meses, a receita e a economia obtidas totalizarão R\$ 8.828,40. Tal valor poderá ser usado para cobrir o custo relativo à sua implantação (R\$ 5.000,00), bem como a modificações propostas para as melhorias do meio ambiente de trabalho. A partir do sétimo mês de operação, a receita mensal de R\$ 1.471,40 poderá ser destinada aos compromissos financeiros relativos à fabricação e instalação da estação de tratamento do efluente restante (água de lavagem e revelador). Assim sendo, após a quitação desses últimos compromissos, a gestão ambiental estará plenamente estabelecida e gerando lucro para o serviço de radiologia.

Com base nos resultados apresentados, foi possível concluir que:

1 – O modelo de gestão proposto é executável, tendo em vista a disponibilidade no Brasil dos materiais, equipamentos e mão-de-obra capacitada necessários.

2 – O modelo de gestão proposto é um bom investimento, visto ser auto-sustentável e lucrativo financeiramente.

3 – O modelo de gestão proposto, uma vez implantado, é capaz de manter a biossegurança num serviço de radiologia.

4 – O modelo de gestão proposto pode ser aplicável no serviço de radiologia de outras instituições, pela semelhança dos problemas e das fontes de recursos.

Agradecimentos

Ao Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, ao Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro e ao Instituto Fernandes Figueira da Fundação Oswaldo Cruz.

REFERÊNCIAS

1. Haus AG, Jaskulski SM. The basics of film processing in medical imaging. Madison: Medical Physics Publishing, 1997.
2. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Resolução nº 001 de 23 de janeiro de 1986.
3. Brasil FS. Gerência de riscos – análise preliminar de riscos. Rio de Janeiro: Ed. Funcefet – Cefet/RJ.
4. Carvalho ABM. Integração de sistemas – foco na qualidade, meio ambiente, saúde e segurança. Revista Banas Ambiental 2000;46–52.
5. Pinto MLCC. Metodologia para determinação de teor de prata no fixador. Rio de Janeiro: LAM/IQ-UFRJ, 2003 (publicação interna).
6. Pinto MLCC. Tratamento e reciclagem de efluentes de processo de revelação de filmes radiográficos. Rio de Janeiro: LAM/IQ-UFRJ, 2003 (publicação interna).