

Recuperação de prata em resíduos radiográficos: implicações ambientais e potencial de reciclagem na odontologia

Andressa M Bliscosque, Odontologia, Centro Universitário Integrado, Brasil

Andressa M Caris, Odontologia, Centro Universitário Integrado, Brasil

Emanuely Mendes, Odontologia, Centro Universitário Integrado, Brasil

Giovani C Mansano, Odontologia, Centro Universitário Integrado, Brasil

João Victor Nicola, Odontologia, Centro Universitário Integrado, Brasil

Manuela Lupes Rodrigues, Odontologia, Centro Universitário Integrado, Brasil

Renata Leal, Odontologia, Centro Universitário Integrado, Brasil

Manuel da Fonseca Rodrigues, Odontologia, Centro Universitário Integrado, Brasil. E-mail: manuel.rodrigues@grupointegrado.br

Marisa Lupes Rodrigues, Odontologia, Centro Universitário Integrado, Brasil, E-mail: marisa.lupes@grupointegrado.br

Resumo

A radiografia convencional ainda é amplamente utilizada na Odontologia, gerando resíduos químicos líquidos e sólidos que contêm prata, um metal de alto valor comercial e elevado potencial poluidor. Este artigo tem como objetivo revisar e comparar os principais métodos de recuperação de prata a partir de resíduos radiográficos líquidos (solução fixadora) e sólidos (filmes) analisando criticamente sua eficiência, viabilidade econômica e relevância ambiental. Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, baseada em artigos publicados entre 1993 e 2024, obtidos nas bases SciELO, PubMed e Google Acadêmico. Verificou-se que, para efluentes líquidos, a eletrólise apresenta maior eficiência e pureza (cerca de 98%), sendo ideal para grandes geradores. Já a precipitação química com NaCl ou H₂O₂ destaca-se pela simplicidade e baixo custo, adequada a clínicas odontológicas de pequeno porte. Para resíduos sólidos, a desglatinização alcalina com posterior fusão mostrou-se eficiente, permitindo inclusive a reciclagem da base plástica do filme. Conclui-se que a recuperação da prata é um imperativo ético, ambiental e legal (RDC nº 306/2004), além de representar uma prática sustentável alinhada aos princípios da economia circular.

Palavras-chave: Resíduos odontológicos. Resíduos tóxicos. Desenvolvimento sustentável. Radiografia.

Abstract

Conventional radiography is still widely used in Dentistry, generating liquid and solid chemical wastes that contain silver, a metal with high commercial value and significant polluting potential. This article aims to review and compare the main methods of silver recovery from radiographic waste both liquid (fixer solution) and solid (films) critically analyzing their efficiency, economic feasibility, and environmental relevance. This is a narrative literature review based on articles published between 1993 and 2024, obtained from SciELO, PubMed, and Google Scholar. It was found that, for liquid effluents, electrolysis offers higher efficiency and purity (around 98%), making it ideal for large generators. In contrast, chemical precipitation with NaCl or H₂O₂ stands out for its simplicity and low cost, making it suitable for small dental clinics. For solid waste, alkaline degelatinization followed by melting proved effective, even allowing the recycling of the film's plastic

base. It is concluded that silver recovery is an ethical, environmental, and legal imperative (RDC No. 306/2004), as well as a sustainable practice aligned with the principles of the circular economy.

Keywords: Dental waste. Toxic waste. Sustainable development. Radiography.

INTRODUÇÃO

A radiografia convencional, embora tenha apresentado declínio frente à crescente adoção de sistemas digitais, permanece relevante no diagnóstico e monitoramento clínico em Odontologia, especialmente em consultórios e unidades com acesso limitado a tecnologias digitais avançadas (Souza-Neto et al., 2012). Esse método, fundamentado na sensibilização de películas radiográficas por haletos de prata, apresenta elevada resolução diagnóstica, custo inicial reduzido e facilidade de armazenamento. Entretanto, seu processamento químico envolve reagentes potencialmente tóxicos, resultando na geração de resíduos líquidos e sólidos com significativo impacto ambiental (Passos & Castro, 2014; Figueira et al., 2023).

Os resíduos radiográficos podem ser classificados em dois grupos principais: soluções fixadoras exauridas, ricas em complexos solúveis de tiosulfato de prata ($\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$), e películas radiográficas descartadas, contendo prata metálica e haletos de prata incorporados à emulsão de gelatina (Bendassolli et al., 2003; DNPM, 1989). A presença de prata, metal pesado reconhecido como poluente prioritário pela Environmental Protection Agency (EPA, 2022), confere a esses subprodutos elevado potencial de contaminação ambiental, mesmo em baixas concentrações (Almeida et al., 2016). O descarte inadequado pode resultar na lixiviação de prata, promovendo bioacumulação e toxicidade em organismos aquáticos, com efeitos mutagênicos e citotóxicos relatados na literatura (Bortolletto et al., 2007).

Do ponto de vista farmacotoxicológico, o íon prata (Ag^+) interage com grupos sulfidríla de proteínas, interferindo em processos enzimáticos e respiratórios celulares. Em ambientes aquáticos, sua elevada afinidade por matéria orgânica dissolvida favorece a formação de compostos persistentes, de difícil remoção por processos convencionais de tratamento de efluentes (Alberigi et al., 2020). Esses aspectos ressaltam a necessidade de métodos específicos de recuperação e de monitoramento laboratorial, constituindo uma interface entre Odontologia e Farmácia no gerenciamento de resíduos químicos e na toxicologia ambiental.

No contexto brasileiro, a destinação adequada de resíduos radiográficos é determinada por normativas legais, como a Resolução RDC nº 306/2004 da ANVISA e a Resolução CONAMA nº 358/2005, que estabelecem o Gerenciamento

de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS) e obrigam o tratamento prévio de resíduos contendo metais pesados antes do descarte (Brasil, 2004; Brasil, 2005). Contudo, estudos indicam que grande parte das clínicas odontológicas ainda descarta soluções fixadoras diretamente na rede de esgoto ou armazena películas antigas de forma inadequada, gerando passivos ambientais persistentes (Souza-Neto et al., 2012; Figueira et al., 2023).

Além do impacto ambiental, a recuperação da prata apresenta relevância econômica e estratégica. Trata-se de um metal nobre com ampla aplicação nas indústrias eletrônica, fotográfica, biomédica e odontológica, cujo valor de mercado mantém-se elevado (Cavalheiro & Mion, 2023). A reintegração da prata ao ciclo produtivo está alinhada aos princípios da economia circular, promovendo a redução de custos e a conservação de recursos naturais (Veloso et al., 2015).

Sob uma perspectiva socioambiental, a prática de recuperação da prata contribui para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular o ODS 12, que estabelece metas de consumo e produção responsáveis (ONU, 2015). Ademais, representa um avanço em biossegurança odontológica, estimulando uma formação profissional pautada em consciência ambiental e sustentabilidade (Santos, 2020).

Diante de sua relevância multidimensional, ambiental, legal, econômica e ética o manejo inadequado de resíduos radiográficos constitui um desafio ainda pouco enfrentado na prática clínica, demandando ações integradas entre profissionais e políticas institucionais de educação e reciclagem. Nesse contexto, o presente estudo objetiva analisar e comparar os principais métodos de recuperação de prata provenientes de resíduos radiográficos odontológicos, tanto líquidos quanto sólidos, destacando seus fundamentos técnicos, eficiências, limitações, viabilidade econômica e contribuição para a sustentabilidade e economia circular.

MÉTODO

Trata-se de uma revisão narrativa de literatura, elaborada com o propósito de examinar, sob enfoque técnico, os métodos empregados para a recuperação de prata provenientes de resíduos radiográficos líquidos e sólidos. A busca bibliográfica foi conduzida nas bases SciELO, PubMed e Google Acadêmico, contemplando publicações entre 1993 e 2025. Foram empregados os seguintes descritores: “*resíduos odontológicos*”, “*resíduos tóxicos*”, “*desenvolvimento sustentável*” e “*radiografia*”. A etapa inicial de busca resultou em 35 referências, das quais 19 atenderam aos critérios de elegibilidade estabelecidos.

Foram incluídos estudos que apresentassem dados quantitativos referentes ao desempenho dos métodos de recuperação (rendimento, massa recuperada ou grau de pureza) e descrição metodológica suficiente para reprodução do procedimento. Excluíram-se trabalhos que abordavam processos de reciclagem não

relacionados ao processamento radiográfico, bem como artigos indisponíveis na íntegra.

A análise do material selecionado foi estruturada comparativamente, considerando três eixos de avaliação: eficiência técnica dos métodos, viabilidade econômica e impactos ambientais associados. Essa abordagem permitiu identificar convergências e divergências entre as técnicas descritas, bem como suas implicações para o gerenciamento de resíduos radiológicos.

REVISÃO DE LITERATURA

A prata pode ser recuperada a partir de duas fontes principais da radiologia odontológica convencional:

- Solução Fixadora Exaurida (resíduo líquido): Contém a maior concentração de prata solúvel, na forma de complexo tiosulfato ($\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$).
- Filmes Radiográficos (resíduo sólido): Possuem prata metálica e, nos filmes não processados, haletos de prata incorporados à emulsão de gelatina.

Os métodos (Tabela 1) aplicados ao resíduo líquido visam quebrar o complexo de prata e permitir a recuperação do metal, garantindo que o efluente tratado atenda aos limites ambientais de descarte (geralmente $< 5 \text{ mg/L}$ de Ag) (Figueira *et al.*, 2023).

Tabela 1 – Métodos de recuperação de prata de soluções fixadoras

Método	Descrição resumida	Vantagens	Desvantagens / Observações
Precipitação Química (H_2O_2)	Oxida o tiosulfato, liberando a prata para precipitação.	Alta eficiência ($>80\%$); baixo custo.	Pode gerar subprodutos; requer ajuste de pH.
Troca Metálica (Fe ou Zn)	Reduz Ag^+ a Ag^0 por substituição redox (cimento de prata).	Simples; alta pureza com Fe; eficiente para grandes volumes (Bendassolli <i>et al.</i> , 2003).	Gera lodo e exige descarte correto.
Eletrólise	Redução eletroquímica de Ag^+ no cátodo.	Alta pureza; fixador pode ser reutilizado em ciclos.	Custo inicial mais alto; requer energia elétrica constante.

Método	Descrição resumida	Vantagens	Desvantagens / Observações
Adsorção e Troca Iônica	Remoção da prata em efluentes de baixa concentração, utilizando materiais como carvão ativado.	Ideal para águas residuais e efluentes tratados.	Baixa capacidade de adsorção sem pré-tratamento; mais lento.

Além das técnicas de precipitação química e eletrólise, amplamente utilizadas para o fixador, métodos como Troca Metálica com Ferro e Adsorção têm sido explorados em estudos visando maior pureza e tratamento de efluentes de baixa concentração.

Nos filmes radiográficos (Tabela 2), a prata está associada à emulsão de gelatina. A desgelatinização alcalina é a etapa fundamental para liberar o metal, seguida da fusão com bórax e carbonato de sódio para purificação e obtenção de prata metálica.

Tabela 2 – Métodos de recuperação de prata de filmes radiográficos

Método	Descrição resumida	Vantagens	Desvantagens / Observações
Desgelatinização Alcalina (NaOCl/NaOH)	Degrada a gelatina e libera o resíduo de prata.	Simple; boa eficiência (aprox 5g Ag ²).	Requer controle de pH; manuseio cuidadoso.
Descolagem Mecânica + Fusão	Raspagem da emulsão e fundição do precipitado com bórax.	Alta pureza do produto metálico; recuperação da base plástica (PET).	Processo mais demorado e energético.
Precipitação de AgCl	Solubiliza a emulsão e precipita AgCl para refino posterior.	Controle fácil da reação (Veloso <i>et al.</i> , 2015).	Gera resíduos secundários e requer reagentes específicos.

A Tabela 3 sintetiza a eficiência de diferentes abordagens para recuperação de prata a partir de resíduos radiográficos, permitindo comparação direta entre técnicas, matrizes e rendimentos reportados na literatura. Observa-se que Kuya (1993) avaliou a desgelatinização alcalina associada à fusão aplicada a filmes radiográficos convencionais, obtendo massa aproximada de 5 g de prata metálica por área tratada. Esse resultado demonstra a eficácia do método quando a emulsão é suficientemente degradada, revelando potencial expressivo para recuperação de prata em resíduos sólidos com alto teor desse metal.

Tabela 3 – Resultados comparativos de eficiência em estudos selecionados

Autor(es) / Ano	Fonte do Resíduo	Método de Recuperação	Parâmetro Avaliado	Eficiência / Rendimento
KUYA (1993)	Filmes	Desgelatinização	Massa de prata	5g Ag ²

Autor(es) / Ano	Fonte do Resíduo	Método de Recuperação	Parâmetro Avaliado	Eficiência / Rendimento
	radiográficos	alcalina + fusão	recuperada	
BENDASSOLLI <i>et al.</i> (2003)	Efluentes diversos	Eletrólise e Cimento (Zn)	Ag residual no efluente	< 1 mg/L
BORTOLLETO <i>et al.</i> (2007)	Solução fixadora	Precipitação H ₂ O ₂ 0,17 mol/L	% remoção de Ag	84%
VELOSO <i>et al.</i> (2015)	Filmes "dry"	Precipitação de AgCl	Massa de AgCl obtida	3,57g AgCl aprox 2,7g Ag

Nos estudos de Bendassolli *et al.*, (2003), foram avaliados efluentes provenientes de diversas fontes radiográficas, utilizando dois processos distintos: eletrólise e cimentação por zinco. Ambos os procedimentos alcançaram valores residuais inferiores a 1 mg/L de prata, indicando desempenho elevado na remoção dos íons metálicos solúveis. A eletrólise se destaca pela possibilidade de obtenção de prata com alto grau de pureza, enquanto o processo de cimentação apresenta menor custo operacional, sendo uma alternativa viável para unidades com infraestrutura mais limitada.

Bortolletto *et al.*, (2007) aplicaram precipitação química com peróxido de hidrogênio (H₂O₂ 0,17 mol/L) para tratamento de solução fixadora exaurida, obtendo eficiência de remoção de 84%. Esse desempenho demonstra que o H₂O₂ é um oxidante capaz de romper o complexo tiosulfato de prata, embora sua eficiência seja influenciada por parâmetros como pH, concentração de tiosulfato e tempo de reação.

Por fim, Veloso *et al.*, (2015) avaliaram a recuperação de prata em filmes radiográficos "dry", obtendo 3,57 g de AgCl, correspondendo aproximadamente a 2,7 g de prata metálica após conversão. Esse resultado evidencia que, mesmo em tecnologias avançadas e películas secas, a prata permanece disponível para recuperação, reforçando a importância do aproveitamento desse tipo de resíduo.

De modo geral, os resultados apresentados na Tabela 3 mostram que a eficiência dos processos de recuperação de prata varia conforme a natureza do resíduo, os parâmetros operacionais e a tecnologia utilizada. Métodos eletroquímicos apresentam maior controle e alta eficiência, enquanto processos químicos de precipitação e desgelatinização se mostram robustos e economicamente acessíveis, especialmente em unidades odontológicas de pequeno porte.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A recuperação de prata proveniente de resíduos radiográficos odontológicos integra biossegurança, proteção ambiental e economia circular, sendo influenciada pela natureza do resíduo, pela escala de geração e pelos recursos técnicos disponíveis. Nos resíduos líquidos, a eletrólise apresenta o melhor desempenho, produzindo prata de alta pureza e reduzindo de forma significativa a concentração de íons metálicos no efluente, o que a torna adequada para grandes geradores com infraestrutura laboratorial consolidada. Já os métodos de precipitação química com NaCl ou H₂O₂ destacam-se pela simplicidade, eficiência e baixo custo, sendo ideais para consultórios odontológicos e pequenas clínicas. Nos resíduos sólidos, a desgelatinização alcalina associada à fusão permanece como a alternativa mais eficiente e acessível, com a vantagem de permitir a reciclagem da base plástica (PET), enquanto estudos com filmes “dry” mostram que mesmo tecnologias mais recentes mantêm potencial para recuperação de prata.

Assim, a recuperação da prata deve ser compreendida como uma responsabilidade técnica e ética da prática odontológica contemporânea, indo além do cumprimento legal e da viabilidade econômica. A adoção de métodos adequados de tratamento e reciclagem de resíduos radiográficos é fundamental para reduzir impactos ambientais, promover a sustentabilidade e consolidar uma atuação profissional segura, qualificada e alinhada às diretrizes de biossegurança e aos princípios da gestão ambiental responsável.

REFERÊNCIAS

ALBERIGI, V. T. *et al.* Gerenciamento do descarte de resíduos químicos radiológicos. **Tecnologia, Ciência & Educação (TECCEN)**, v. 13, n. 2, p. 41–46, 2020. Disponível em: <https://editora.univassouras.edu.br/index.php/TECCEN/article/view/2487/1519>. Acesso em: 12 out. 2025.

ALMEIDA, A. P. C. *et al.* Relação entre resíduos radiológicos contendo prata e a contaminação do meio ambiente. **Journal of Orofacial Investigation**, v. 3, n. 3, p. 110–117, 2016. Disponível em: <https://revistas.faculadefacit.edu.br/index.php/JOFI/article/view/72/0>. Acesso em: 12 out. 2025.

BENDASSOLLI, J. A. *et al.* Procedimentos para recuperação de Ag de resíduos líquidos e sólidos. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 578–581, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000400017>. Acesso em: 12 out. 2025.

BORTOLLETO, E. C. *et al.* Remoção da prata em efluentes radiográficos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 11–18, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000100002>. Acesso em: 12 out. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 306, de 7 de dezembro de 2004. Brasília, DF: **ANVISA**, 2004. Disponível em: https://bvsmis.saude.gov.br/bvsmis/saudelegis/anvisa/2004/rdc0306_07_12_2004.html. Acesso em: 12 out. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005. Brasília, DF: **CONAMA**, 2005. Disponível em: <https://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35805.pdf>. Acesso em: 12 out. 2025.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM). Recuperação de prata de fixadores fotográficos exauridos por eletrólise. Rio de Janeiro: **CETEM**, 1989. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/208/1/stm-29.pdf>. Acesso em: 12 out. 2025.

CAVALHEIRO, M. C. H. T.; MION, C. F. Estudo da viabilidade econômica da recuperação da prata em resíduos provenientes de análises de DQO. **Congresso dos Profissionais das Universidades Estaduais de São Paulo**, 2023. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/eventos/index.php/conpuesp/article/view/4981>. Acesso em: 12 out. 2025.

FIGUEIRA, K. L. *et al.* Descarte de efluentes radiográficos em instalações de saúde: uma revisão da literatura. **Vigilância Sanitária em Debate**, v. 11, p. 1–9, 2023. Disponível em: <https://visaemdebate.incqs.fiocruz.br/index.php/visaemdebate/article/view/2084/1490>. Acesso em: 12 out. 2025.

KUYA, M. K. Recuperação de prata de radiografias: uma experiência usando recursos caseiros. **Química Nova**, v. 16, n. 5, p. 474–476, 1993. Disponível em: [http://submission.quimicanova.sbg.org.br/qn/qnol/1993/vol16n5/v16_n5_%20\(15\).pdf](http://submission.quimicanova.sbg.org.br/qn/qnol/1993/vol16n5/v16_n5_%20(15).pdf). Acesso em: 12 out. 2025.

ONU. Organização das Nações Unidas. Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: **ONU**, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 12 out. 2025.

PASSOS, D. D. F.; CASTRO, R. C. A radiologia odontológica e o meio ambiente. **Revista de Odontologia da Universidade Cidade de São Paulo**, v. 26, n. 1, p. 61–70, 2014. Disponível em: https://arquivos.cruzeirosuleducacional.edu.br/principal/old/revista_odontologia/pdf/janeiro_abril_2014/Odonto_26_2014_61-70.pdf. Acesso em: 12 out. 2025.

RECICLOTECA. **Recuperação de prata a partir de radiografias**. 2023. Disponível em: <https://www.recicloteca.org.br/projetos/recuperacao-de-prata-de-radiografias/>. Acesso em: 12 out. 2025.

SIMPAR

Simpósio de Pesquisa, Extensão e Inovação do Paraná

Realização



Apoio



FUNDAÇÃO
ARAUCÁRIA
Apoio ao Desenvolvimento Científico
e Tecnológico do Paraná

SANTOS, L. P. A importância da reciclagem dos filmes radiográficos para o meio ambiente e saúde pública. **Anais do Salão de Iniciação Científica Tecnológica**, 2020. Disponível em: <https://phantomstudio.com.br/index.php/sic/article/view/414>. Acesso em: 12 out. 2025.

SOUZA-NETO, M. D. *et al.* Gerenciamento dos resíduos radiológicos em consultórios odontológicos da cidade de Pelotas (RS). **Revista Odonto**, v. 20, n. 40, p. 43–48, 2012. Disponível em: http://revodonto.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-09392012000400006. Acesso em: 12 out. 2025.

VELOSO, S. D. *et al.* Recuperação de cloreto de prata a partir de filmes radiográficos “dry”. **Congresso Internacional de Ciências da Saúde**, 2015. Disponível em: https://www.umc.br/img/diversos/pesquisa/pibic_pvic/XIX_congresso/artigos/Samira_Diniz_Veloso.pdf. Acesso em: 12 out. 2025.