

# Características físico-químicas dos sais de prata oriundos de soluções fixadoras e filmes radiográficos usados em radiologia

## Autores:

**Ilan Hudson Gomes de Santana**

*Graduando em Odontologia pela Universidade Federal da Paraíba*

**Mayara Rebeca Martins Viana**

*Cirurgião-dentista pelo Centro Universitário de João Pessoa- UNIPÊ*

**Wellington Bruno Alves de Souza**

*Graduanda em Odontologia pela Universidade Federal da Paraíba*

**Lívia Silva Galiza**

*Graduanda em Odontologia pela Universidade Federal da Paraíba*

**Marcelo Augusto Oliveira de Sales**

*Professor da disciplina Radiologia Odontológica da Universidade Federal da Paraíba*

**Patricia de Medeiros Loureiro Lopes**

*Professora da disciplina Radiologia Odontológica da Universidade Federal da Paraíba, professora da UEPB, Lagoa Seca*

DOI: 10.58203/Licuri.22192

## Como citar este capítulo:

SANTANA, Ilan Hudson Gomes *et al.* Características físico-químicas dos sais de prata oriundos de soluções fixadoras e filmes radiográficos usados em radiologia. In: Jaily Kerller Batista (Org.). **Pesquisas e inovações em Ciências Ambientais e Agrárias**. Campina Grande: Licuri, 2024, p. 130-140.

ISBN: 978-65-85562-21-8

## Resumo

O advento dos raios X revolucionou a era moderna após a observação de sua capacidade quanto à sensibilização de placas fotográficas. O avanço das tecnologias diagnósticas foi contínuo, permitindo que suas aplicações fossem amplamente difundidas. Entretanto, a geração de detritos sólidos decorrentes do processamento convencional dos raios X representa um grande desafio ambiental. Logo, o objetivo do presente trabalho é abordar as possíveis aplicações do precipitado de prata oriundo das soluções fixadoras na indústria metalúrgica. Esse estudo trata-se de uma revisão integrativa da literatura. Para a seleção dos artigos, fez-se uma busca na base de dados PubMed. Para realizar a pesquisa na base de dados, utilizou-se os descritores indexados nos Descritores em Ciências da Saúde (DeSC/MeSH). Os critérios de inclusão abrangeram artigos em português ou inglês, publicados no PubMed, sem restrição de período de tempo. Também se usou o vocabulário não controlado. Ao todo, foram selecionados 03 (três) estudos, publicados no período de 2005 a 2021. Dentre os trabalhos selecionados, há informações sobre o reaproveitamento da prata para aplicação na indústria, no qual é um produto promissor, que pode ser recuperado e reintegrado à indústria de forma vantajosa. Além disso, também há relevância nas características físico-químicas da prata proveniente do processamento radiográfico. O reaproveitamento da prata advinda do processamento radiográfico apresenta-se como de grande valia para a reaplicação industrial, seu reuso é um processo com grande potencial para diminuir os impactos ambientais, ocasionados no processo de beneficiamento desse mineral.

**Palavras-chave:** Prata, Radiologia, Odontologia, Raio X e Radiografia.

## INTRODUÇÃO

No período de 1895 a 1897, o advento dos raios X revolucionou a era da física moderna. Tal descoberta suscitou o interesse de diversos cientistas, entre eles Wilhelm Conrad Röntgen que foi pioneiro no desenvolvimento da técnica, pois, observou a capacidade dos raios X sensibilizarem uma placa fotográfica. Atualmente, as propriedades dos raios X constatadas por Röntgen ainda são aceitas. Sabe-se que os raios X são invisíveis e induzem a fluorescência em substâncias específicas, além disso, eles se propagam em trajetória linear, similar à luz, e deixam impressões em chapas fotográficas, nunca sendo refletidos, refratados ou desviados por um campo eletromagnético em testes experimentais. Esta característica os diferencia dos raios catódicos, que podem ser desviados por tal campo (FENYO-PEREIRA ET AL., 2021; PACHECO; FREITAS-REIS, 2023).

Nesse sentido, por meio da excelente capacidade de penetração dos raios X, foi possível obter avanços significativos quanto ao progresso em tecnologias de radiografias diagnósticas para o auxílio do exercício profissional no contexto da área da saúde. Através das informações captadas em decorrência das propriedades apresentadas desse tipo de radiação, suas aplicações foram amplamente difundidas não só na orientação para aplicações médicas, mas também para outros propósitos, como por exemplo no âmbito industrial e de segurança. No campo da odontologia não foi diferente, o desenvolvimento proporcionado pela descoberta dos raios X permitiu que os dentistas pudessem concluir diagnósticos com mais precisão, minimizando os possíveis erros e assegurando de maneira satisfatória a segurança do paciente (OU ET AL., 2021; KONERU ET AL., 2014).

No entanto, a geração de subprodutos decorrentes do processamento (revelador, fixador e água de lavagem dos filmes radiográficos) resulta na produção de detritos sólidos, que incluem os elementos do filme radiográfico (filme, película de chumbo, papel preto e envelope plástico). Esses resíduos apresentam desafios ambientais, pois contêm compostos orgânicos e inorgânicos prejudiciais ao meio ambiente quando descartados de maneira inadequada (AMARAL ET AL., 2020).

Sendo assim, a técnica convencional para que uma radiografia seja realizada compreende a exposição dos filmes radiográficos aos raios X. Em seguida, o processamento envolve etapas essenciais para o êxito na obtenção da imagem radiográfica, sendo elas: revelação da imagem, lavagem, fixação e a finalização lavando e secando. Nessa perspectiva, os reveladores normalmente usados possuem um baixo teor de prata e possuem um alto pH, aproximadamente de 10. Em relação às soluções fixadoras, estas

desempenham um papel fundamental no processamento convencional da radiografia, visto que, removem cerca de 35-45% dos compostos de haleto de prata que não foram revelados na emulsão do filme. A composição do fixador baseia-se em uma alta concentração de níveis de prata (KONERU ET. AL., 2014).

Diante da importância de se diminuir impactos ambientais, visto que, a questão não é apenas a geração de resíduos, mas sim a destinação final associada à capacidade de tratamento dos mesmos, o objetivo do presente trabalho é abordar as possíveis aplicações do precipitado de prata oriundo das soluções fixadoras na indústria metalúrgica, entre outras. Tal abordagem é relevante, principalmente para países em desenvolvimento como o Brasil, onde há uma necessidade de recursos financeiros e tecnológicos para gerenciamento desses resíduos.

## METODOLOGIA

A metodologia empregada nesta pesquisa é uma revisão integrativa da literatura, que abrange diversas etapas para investigar o tema em questão (COSLOP ET AL., 2022). Dessa forma, não foi necessária a sua submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa. Inicialmente, delineamos nossa problemática a partir da seguinte pergunta norteadora: "Quais são as características físico-químicas dos sais de prata presentes nas soluções fixadoras e nos filmes radiográficos usados em radiologia?"

Para a seleção dos artigos, realizamos uma busca na base de dados PubMed, considerando também outros artigos relacionados ao tema que foram encontrados em buscas manuais. Para realizar a pesquisa na base de dados, utilizamos os descritores indexados nos Descritores em Ciências da Saúde (DeSC/MeSH), tanto em português quanto em inglês, sendo eles: "Radiologia" (Radiology), "Compostos de Prata" (Silver Compounds), "Filme para Raios X" (X-Ray Film) e "Fixadores" (Fixatives).

Nossos critérios de inclusão abrangeram artigos em português ou inglês, publicados no PubMed, sem restrição de período de tempo, a fim de abranger o maior número possível de artigos pertinentes. Priorizamos artigos que disponibilizaram resumos e que respondiam diretamente à nossa pergunta norteadora. Excluímos dessa pesquisa os estudos no formato de dissertações e teses, livros, editoriais, notas prévias, relatos de experiências, artigos que não estavam alinhados com a proposta deste estudo, resumos publicados em anais de eventos e manuais. A estratégia englobou também o vocabulário não controlado, que seria a utilização de palavras de texto, sinônimos, siglas, termos

relacionados, palavras-chave e variações de grafia. Isto garantiu uma recuperação de artigos mais antigos. Estes termos representam sinônimos, indexações prévias ou derivações do assunto, que contribuiu para a sensibilização da estratégia. Os termos seguintes foram escolhidos, e utilizados na estratégia de pesquisa: ((Description[All Fields] AND ("silver compounds"[MeSH Terms] OR ("silver"[All Fields] AND "compounds"[All Fields]) OR "silver compounds"[All Fields]) AND ("silver"[MeSH Terms] OR "silver"[All Fields]) AND (("silver"[MeSH Terms] OR "silver"[All Fields]) AND precipitates[All Fields])) AND ("radiology"[MeSH Terms] OR "radiology"[All Fields] OR "radiography"[MeSH Terms] OR "radiography"[All Fields]) OR ("x-ray film"[MeSH Terms] OR ("x-ray"[All Fields] AND "film"[All Fields]) OR "x-ray film"[All Fields] OR "x ray film"[All Fields])) AND ("fixatives"[All Fields] OR "fixatives"[MeSH Terms] OR "fixatives"[All Fields])).

A partir dessa estratégia de busca, foram consultados 121 trabalhos na íntegra; sendo 118 foram excluídos, pois não se encaixaram nos critérios de inclusão, 3 trabalhos foram selecionados após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.

O processo de seleção dos artigos começou com uma leitura inicial dos títulos de todas as publicações identificadas. Em seguida, foram lidos os resumos dos artigos que estavam alinhados com o escopo do estudo. Com base nessa avaliação, foram escolhidos os artigos que se alinhavam com nosso estudo e que desempenharam um papel significativo na composição final deste trabalho. O fluxo de seleção dos artigos pode ser visualizado no fluxograma apresentado na Figura 1.



**Figura 1.** Delimitação das etapas desta pesquisa

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionados 03 (três) estudos (Tabela 1), publicados no período de 2005 a 2021, os quais foram escritos e publicados nas línguas portuguesa e inglesa.

**Tabela 1.** Autores e principais resultados para as características físico-químicas dos precipitados de prata.

Artigo	Características físico-químicas dos precipitados de prata utilizado
<b>Autoria: Vieira, De Jesus &amp; Monnerat (2021)</b>	
<p>Título: Silver radiography extraction through the hydrometallurgical process: a partnership between metallurgy and reverse logistics.</p> <p>Objetivo: Obtenção de prata a partir de radiografias tradicionais utilizando um processo hidrometalúrgico que utiliza insumos e reagentes facilmente disponíveis e de baixo custo, com uma análise da previsão técnica e econômica do método.</p> <p>País: Brasil</p>	<p>Radiografias convencionais contêm uma base de poliéster com uma emulsão que inclui brometo e iodeto de prata. Isso as torna uma fonte secundária de obtenção de prata, e ao incorporá-las no processo de recuperação via processo hidrometalúrgico, estamos contribuindo para a preservação do meio ambiente e dos recursos naturais desse metal</p>
<b>Autoria: Koneru, Mahajan &amp; Mahalakshmi (2014)</b>	
<p>Título: Management of Dental Radiographic Waste: A Review.</p> <p>Objetivo: Abordar o impacto ambiental dos resíduos radiográficos odontológicos e descrever medidas que podem ser tomadas pelos dentistas e suas equipes para reduzir a produção de resíduos potencialmente nocivos.</p> <p>País: Índia</p>	<p>As soluções reveladoras utilizadas no processo possuem um baixo teor de prata, geralmente abaixo do limite regulatório de 5 mg/l de prata, e apresentam alto teor alcalino, com um pH em torno de 10. Por outro lado, as soluções fixadoras eliminam cerca de 35-45% dos compostos de haleto de prata que não foram revelados. O fixador contém níveis elevados de prata, principalmente na forma de complexos de tiosulfato de prata altamente estáveis, com baixas constantes de dissociação. Isso resulta em impactos ambientais mínimos relacionados à prata nas soluções fixadoras.</p>
<b>Autoria: Fernandes et. al., (2005)</b>	
<p>Título: Análise e gerenciamento de efluentes de serviços de radiologia.</p> <p>Objetivo: Realizar uma avaliação da manipulação e da disposição final dos resíduos, resultando na elaboração de um modelo de gestão para serviços de radiodiagnóstico.</p> <p>País: Brasil</p>	<p>Após analisar os componentes dos efluentes (revelador, fixador e água de lavagem), foi constatado que os teores de prata variam de 3,5 a 10,2 g/l. Essa prata é recuperada a partir da precipitação na solução fixadora que é usada nas radiografias.</p>

As pesquisas incluídas abordam as características físico-químicas dos sais de prata presentes nas soluções fixadoras e nos filmes radiográficos usados em radiologia.

Para facilitar a compreensão das pesquisas incluídas neste estudo, os autores optaram por dividir os resultados em dois tópicos distintos. O primeiro tópico aborda o reaproveitamento da prata para aplicação na indústria, os sais de prata oriundos dos processamentos radiográficos é um produto promissor, que pode ser recuperado e reintegrado à indústria de forma vantajosa. Enquanto isso, o segundo tópico concentra-se nas características físico-químicas da prata proveniente do processamento radiográfico. Essa divisão tem o propósito de analisar quais temas relacionados a esta pesquisa estão sendo abordados na literatura, com relação aos termos investigados neste trabalho de revisão. Isso permite uma organização mais clara e uma análise mais aprofundada das descobertas e tendências relacionadas à prata e seu potencial na indústria, bem como suas propriedades físico-químicas quando proveniente de processos radiográficos.

## Reaproveitamento da prata para aplicação na indústria

A prata está presente desde os primórdios das civilizações humanas, seu uso e consumo tiveram um aumento progressivo, principalmente com o desenvolvimento de aparelhos eletroeletrônicos [9 e 10]. Esse metal apresenta-se em quantidades restritas na crosta terrestre e pode ser encontrada geralmente associada a minérios de ouro (Au), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn) (PORTELINHA, ET AL., 2021).

Devido à ampla utilização da prata em várias indústrias, incluindo a fotográfica, radiográfica e elétrica, e por seu um recurso natural não renovável, a tendência é que sua disponibilidade diminua progressivamente. Isso torna essencial o desenvolvimento de tecnologias e processos de recuperação de prata, visando à conservação desse recurso precioso (BAHAR ET AL., 2023).

Segundo Bahar *et al.* (2023), o processo hidrometalúrgico apresenta-se como uma técnica eficiente, barata e ecologicamente correta para a recuperação da prata proveniente de filmes radiográficos, visto que não são necessários processos como oxidação, queima e eletrólise para a realização desse método. Esse processo usa, principalmente, da precipitação química para a recuperação desse elemento químico e consegue um nível de pureza da prata recuperada de até 99,8%, em experimentos realizados em um mesmo frasco, comprovando a eficiência da técnica frente a outros métodos (KUMAR, 2020).

Além de ser um método simples, o processo hidrometalúrgico mostra-se inovador por reduzir em muito a emissão de poluentes e obter um lucro significativo. Isso é particularmente relevante em conformidade com a Resolução nº 358/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), que classifica os efluentes de processos de imagem, como os efluentes radiográficos, como pertencentes ao grupo B. Essa classificação é atribuída devido à presença de substâncias químicas que apresentam potencial risco para a saúde pública e o meio ambiente, dependendo de suas propriedades, como inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. Conseqüentemente, de acordo com o artigo 21 da mesma Resolução, os resíduos do grupo B, quando não são submetidos a processos de reutilização, recuperação ou reciclagem, devem passar por tratamento e serem dispostos adequadamente, enfatizando a importância de abordagens inovadoras como o processo hidrometalúrgico na redução desses impactos ambientais (CALHEIROS, 2019; (CASTRO ET AL., 2021).

## Características físico-químicas da prata proveniente do processamento radiográfico

A prata, de símbolo químico "Ag" derivado da palavra latina "argentum", é um elemento químico que pertence ao grupo dos metais de transição na Tabela Periódica. Possui várias características notáveis que o tornam um material valioso em várias aplicações industriais e de consumo. Ela é conhecida por sua cor brilhante e metal cinza, o que a torna esteticamente atraente. Além disso, é altamente dúctil e maleável, o que significa que pode ser facilmente moldada em fios finos ou folhas muito finas. Sua massa atômica é de aproximadamente 107,88 g/mol, e ela é um excelente condutor de eletricidade e calor. Tem um ponto de fusão relativamente alto, em torno de 960°C, e um ponto de ebulição de aproximadamente 2.212°C, o que a torna adequada para várias aplicações de alta temperatura.

Ocorre associada a minerais de sulfeto, como argentita (Ag<sub>2</sub>S), cerargirita (AgCl), e outros minérios de metais como o chumbo, o zinco, o cobre, o níquel e o estanho. É amplamente utilizada em eletrônica, como contatos elétricos, espelhos, filmes fotográficos, painéis solares e na indústria de catalisadores (SOUZA ET AL., 2013; (MOSER ET AL., 2013).

Um aspecto interessante da prata é sua ação antibacteriana. Íons de prata têm propriedades antimicrobianas e são utilizados em diversos produtos, como curativos,



utensílios de cozinha, e até mesmo em roupas e calçados esportivos para prevenir o crescimento de bactérias e odores indesejados. Dada a crescente demanda e o seu valor, a reciclagem de prata é uma prática importante.

A prata é utilizada em muitos processos industriais, sendo usada a técnica adequada, possui a vantagem de poder ser recuperada e reutilizada. Essa prática não apenas ajuda a reduzir a dependência da mineração, mas também contribui para minimizar o impacto ambiental. No Brasil, a produção é relativamente pequena e, em grande parte, é obtida como subproduto do beneficiamento do ouro ou por meio de reciclagem de produtos que tenham a prata na composição. Os principais setores responsáveis pelo consumo deste elemento químico e seus compostos no Brasil incluem as indústrias fotográfica, radiográfica, de produtos odontológicos, de joalheria e de peças decorativas. Essas indústrias valorizam a prata devido às suas características físicas e químicas excepcionais, bem como ao seu apelo estético. A reciclagem da prata desempenha um papel fundamental na economia e na sustentabilidade ambiental, garantindo que esse recurso valioso seja aproveitado de forma eficiente e responsável (SOUZA ET AL., 2013).

Em seu estudo, Koneru, Mahajan & Mahalakshmi (2014) apontam que o fixador utilizado contém concentrações significativas de prata, predominantemente na forma de complexos de tiosulfato de prata altamente estáveis, que possuem baixas constantes de dissociação. Essa característica é vantajosa do ponto de vista ambiental, uma vez que resulta em impactos mínimos relacionados à prata nas soluções fixadoras. Isso significa que a prata permanece retida de forma eficaz na solução fixadora, reduzindo o potencial de contaminação ambiental.

Com o intuito de viabilizar o aproveitamento dos sais de prata oriundos do processamento radiográfico, Fernandes *et. al.*, (2005) afirma que após uma análise dos componentes dos efluentes, que incluem o revelador, o fixador e a água de lavagem, foi observado que os teores de prata variam significativamente, oscilando entre 3,5 e 10,2 gramas por litro (g/l). Além disso, o mesmo autor sugere que uma rota de recuperação desse metal precioso pode ocorrer por meio da precipitação na solução fixadora usada durante os processos de radiografia. Esse procedimento permite a extração eficaz da prata, contribuindo para sua reutilização e reduzindo o impacto ambiental associado à sua produção, tornando o processo mais ecologicamente sustentável.

Vieira, De Jesus & Monnerat (2021) reforçam que um outro produto que pode ser



utilizado para a recuperação da prata são os filmes radiográficos convencionais compostos por uma base de poliéster que contém uma emulsão contendo brometo e iodeto de prata. Essa característica faz delas uma fonte secundária valiosa para a obtenção de prata. E, ao incorporá-las em um processo de recuperação por meio da hidrometalurgia, estamos não apenas recuperando esse metal precioso, mas também contribuindo significativamente para a preservação do meio ambiente e dos recursos naturais associados à prata. Essa prática demonstra um compromisso com a sustentabilidade e a utilização responsável dos recursos naturais não renováveis.

## CONCLUSÕES

Diante do exposto, o reaproveitamento da prata advinda do processamento radiográfico apresenta-se como de grande valia para a reaplicação industrial, pelas suas amplas características físico-químicas, bem como, principalmente, pela diminuição do impacto ambiental causado pela mineralogia, favorecendo consideravelmente para a preservação ambiental. Além disso, o reaproveitamento é de suma importância para a economia. O processo hidrometalúrgico apresentou-se como uma técnica eficiente e ecologicamente correta para o reuso da prata, recuperando esse elemento químico em um nível de pureza de até 99,8%, além de diminuir a emissão de poluentes.

Portanto, o reuso da prata é um processo com grande potencial para diminuir as consequências ambientais presentes na obtenção desse metal não-renovável que se encontra em quantidades restritas na crosta terrestre.

Uma limitação encontrada para realizar o presente estudo foi a escassez de estudos primários acerca da temática, o que evidencia a necessidade de se abordar o assunto utilizando diferentes metodologias, para aprofundar o conhecimento e embasar pesquisas futuras.

## REFERÊNCIAS

FENYO-PEREIRA M, et al. Radiologia odontológica e imaginologia. São Paulo: Santos; 2021.

PACHECO LL, FREITAS-REIS I. Principais Contribuições responsáveis pela descoberta dos raios X: a estirpe coletiva da ciência. Rev Bras Ensino Fís. 2023;45:e20230016.

OU X, et al. Recent development in x-ray imaging technology: Future and challenges. Research. 2021;2021.

KONERU J, MAHAJAN N, MAHALAKSHMI M. MANAGEMENT OF DENTAL RADIOGRAPHIC WASTE: A REVIEW. *Int J Med Dent*. 2014;18(3).

AMARAL DC, et al. Impacto ambiental sustentável com a implantação do protocolo do fluxo digital na redução dos resíduos na Clínica Odontológica. *Rev Odontol Brasil Central*. 2020;29(88).

COSLOP S, et al. Estrutura e atividades dos Núcleos de Segurança do Paciente em hospitais: uma revisão integrativa. *Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia*. 2022;10(1):55-63.

FERNANDES GS, et al. Análise e gerenciamento de efluentes de serviços de radiologia. *Radiol Bras*. 2005;38:355-358.

SYED, Sabir. A critical review on the recovery of silver from photographic processing waste. *J. Saudi Chem. Soc*, v. 9, p. 243-252, 2005.

VATS, M. C.; SINGH, S. K. Assessment of gold and silver in assorted mobile phone printed circuit boards (PCBs). *Waste Management*, v. 45, p. 280-288, 2015.

CHOI C, CUI Y. Recovery of silver from wastewater coupled with power generation using a microbial fuel cell. *Bioresour Technol*. 2012 Mar;107:522-5. doi: 10.1016/j.biortech.2011.12.058. Epub 2011 Dec 16. PMID: 22217729.

PORTELINHA MK, et al. Interlaces among health, sustainability and environment: an integrative review/Entrelaces entre a saúde, sustentabilidade e meio ambiente: uma revisão integrativa. *Rev Pesq Cuidado é Fundam Online*. 2021;13:1001-1006.

BAHAR SS, et al. Silver Recovery Method from Radiographic and X-Ray Film Waste-A Review. *Tex J Multidiscip Stud*. 2023;23:10-18.

NAKIBOĞLU N, TOSCALI D, NISLI G. A novel silver recovery method from waste photographic films with NaOH stripping. *Turk J Chem*. 2003;27(1):127-133.

KUMAR P, et al. Silver Recovery from X-Ray Film Waste: A Review. *IJRASET*. 2020;8:1288-1292.

CALHEIROS WR. Desenvolvimento de um equipamento para retirada de prata como tratamento dos efluentes de serviços de radiologia no Distrito Federal e Entorno. 2019.

CASTRO Vieira P, de Jesus FN, Monnerat CS. Extração da prata de radiografias via processo hidrometalúrgico: uma parceria entre a metalurgia e a logística reversa. *Braz J Dev*. 2021;7(5):49629-49649.

SOUZA GD, et al. Prata: breve histórico, propriedades e aplicações. *Educ Quím.* 2013;24(1):14-16.

MOSER H, PEREIRA RR, PEREIRA MJL. Evolução dos curativos de prata no tratamento de queimaduras de espessura parcial. *Rev Bras Queimaduras.* 2013;12(2):60-67.