



MANEJO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DA SAÚDE: UMA REVISÃO DAS ESTRATÉGIAS DE TRATAMENTO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.VI-003>

Róbson Ilha (*), Juliana Ferreira Soares

* Centro Universitário Unifacvest – ilha.robson@gmail.com

RESUMO

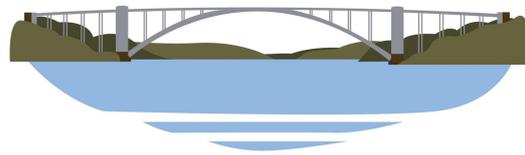
No gerenciamento dos resíduos de serviços da saúde (RSS), o tratamento é etapa fundamental para o adequado manejo e garantia da segurança do processo. No entanto, todas as tecnologias tradicionais possuem sérias deficiências, como a duração do procedimento, subprodutos produzidos, consumo de energia e os custos associados que são geralmente elevados. Situações que apressam a necessidade de avanço tecnológico para superar essas limitações. O objetivo deste artigo é revisar e discutir as estratégias atuais utilizadas para o tratamento dos resíduos de serviços da saúde. A análise focou no estudo de técnicas tradicionais e técnicas modernas utilizadas no tratamento dos RSS. Este trabalho utilizou o método de pesquisa descritiva, com fonte de dados documentais. Optou-se pela pesquisa das informações em três bases de dados: *Scientific Electronic Library (SciELO)*, *Scopus* e *Science Direct*. Entre as técnicas pesquisadas, a incineração de RSS é a que possui mais desvantagens do ponto de vista ambiental, pois nessa técnica ocorre a emissão de gases do efeito estufa e outros gases poluentes, podendo contribuir também com o agravamento de doenças respiratórias. A escala dos resíduos a serem tratados é crucial para a seleção da tecnologia. O ozônio e a radiação UV são comumente utilizados para desinfecção de águas residuais hospitalares e tratamento de EPIs, enquanto os tratamentos térmicos são frequentemente utilizados para a desinfecção de resíduos sólidos hospitalares. Ainda é necessário o maior aprimoramento das tecnologias existentes visando a viabilidade econômica dos procedimentos de maior eficiência de tratamento. Uma alternativa para baixar custos é investir na melhor segregação e destinação adequada dos resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos da saúde, incineração, autoclave, ozonização, irradiação.

ABSTRACT

In healthcare waste (HCW) management, treatment is a crucial step for proper handling and ensuring process safety. However, all traditional technologies have serious deficiencies such as long procedure duration, by-products produced, high energy consumption, and associated costs, which are usually high. These situations require technological advancements to overcome these limitations. The objective of this article is to review and discuss current strategies used for HCW treatment. The analysis focused on the study of traditional and modern techniques used in HCW treatment. This work used the descriptive research method with documentary data sources. Information was searched from three databases: *Scientific Electronic Library (SciELO)*, *Scopus*, and *Science Direct*. Among the techniques researched, HCW incineration has the most environmental disadvantages as this technique emits greenhouse gases and other pollutants, contributing to the aggravation of respiratory diseases. The scale of the waste to be treated is crucial for technology selection. Ozone and UV radiation are commonly used for hospital wastewater disinfection and personal protective equipment treatment, while thermal treatments are frequently used for hospital solid waste disinfection. Further improvement of existing technologies is still necessary to achieve economic viability of more efficient treatment procedures. An alternative to lowering costs is to invest in better waste segregation and appropriate disposal.

KEY WORDS: healthcare waste, incineration, autoclaving, ozonation, irradiation.



INTRODUÇÃO

Os resíduos de serviços da saúde (RSS) são compostos por um abrangente grupo de materiais, por exemplo, seringas e agulhas utilizadas, medicamentos, sangue, materiais radioativos, máscaras cirúrgicas, embalagens de medicamentos entre outros. Dependendo de suas propriedades químicas e risco para os indivíduos e ao meio ambiente, podem ser classificados como perigosos ou não perigosos.

O descarte de produtos perigosos e não perigosos requer técnicas eficientes, pois o descarte inadequado pode causar problemas ambientais e de saúde. Entre esses problemas estão a contaminação de fontes de água utilizadas para o abastecimento, o comprometimento no tratamento de esgoto pelo descarte incorreto de antibióticos e desinfetantes não biodegradáveis, além do evidente risco a saúde pública pelo descarte ilegal de objetos contaminados junto aos resíduos sólidos urbanos.

O setor de serviços da saúde é visto como o quinto maior produtor de gases de efeito estufa (GEE) em todo o mundo, contribuindo com 4,4% das emissões, e o segundo maior contribuinte de resíduos para aterros sanitários (CORVALAN *et al.*, 2020). De acordo Mazzei e Specchia (2023) a geração de RSS está crescendo rapidamente a uma taxa anual de cerca de 20%. Ainda segundo os autores isso deve-se ao aumento da população idosa, a maior busca por tratamentos, ao aumento das despesas com serviços médicos, à utilização de embalagens não retornáveis e ao desenvolvimento da tecnologia médica e, conseqüentemente, ao crescimento das indústrias da saúde.

Os RSS são constituídos por vários tipos de materiais plásticos, representando 35% do volume total (SINGH, OGUNSEITAN e TANG, 2022). Os materiais plásticos têm alto teor de hidrogênio e carbono, enquanto a quantidade de oxigênio é menor do que em muitas outras matérias-primas, e os teores de nitrogênio e enxofre são próximos de zero (SU *et al.*, 2021). Por essas razões segundo Mazzei e Specchia (2023) se os RSS forem tratados de forma inadequada, como por exemplo apenas pelo processo de incineração, podem contribuir com emissões de GEE para o ambiente.

A gestão eficiente dos resíduos provoca um impacto positivo na economia, que se reflete na redução dos custos com descarte de resíduos, somados às vantagens do ponto de vista da saúde humana e do meio ambiente. Conforme a Resolução RDC Nº 222, de 28 de março de 2018 (BRASIL, 2018), que regulamenta as boas práticas de gerenciamento dos RSS, o gerenciamento deve abranger, conforme ilustra a figura 1, todas as etapas de planejamento dos recursos físicos, dos recursos materiais e da capacitação dos recursos humanos envolvidos no manejo dos RSS.

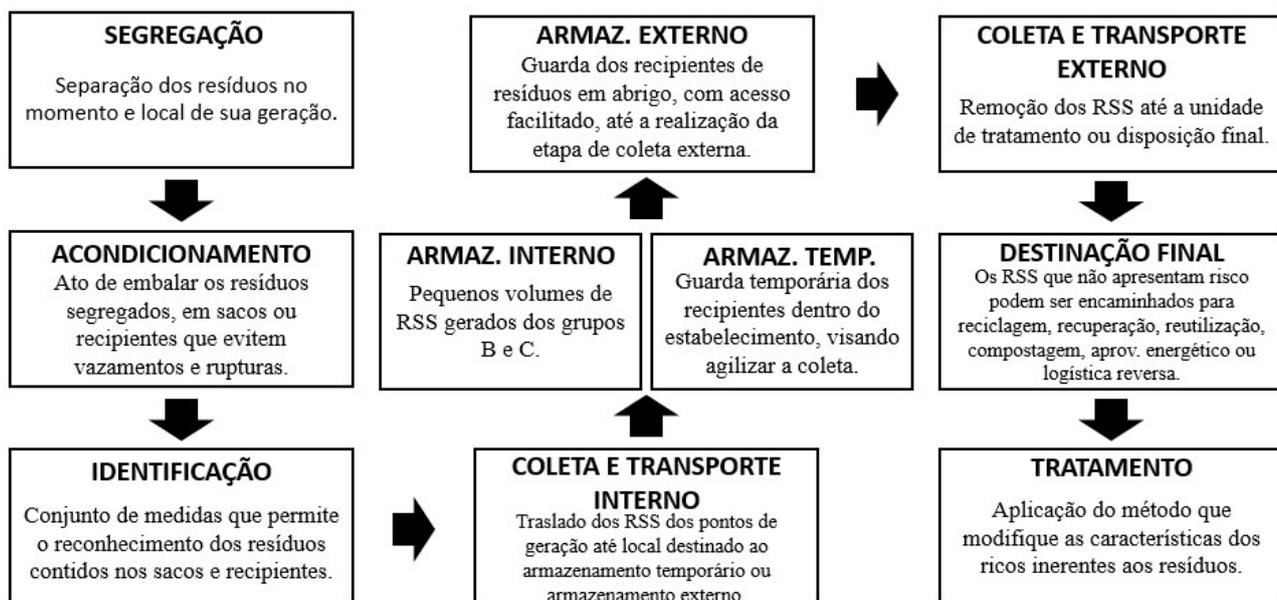


Figura1: Etapas do Manejo dos RSS. Fonte: Autor do Trabalho

Na etapa do tratamento, no entanto, todas as tecnologias tradicionais têm deficiências, como a duração do procedimento, os subprodutos produzidos, o consumo de energia e os custos associados que são geralmente elevados, o que pressiona a necessidade de avanço tecnológico para superar essas limitações.



OBJETIVO

O objetivo deste artigo é revisar e discutir as estratégias atuais utilizadas para o tratamento dos resíduos de serviços da saúde. A análise focou no estudo de técnicas tradicionais e técnicas modernas utilizadas no tratamento dos RSS.

METODOLOGIA

Este trabalho utilizou o método de pesquisa descritiva, com fonte de dados documentais. Optou-se pela pesquisa das informações em três bases de dados: *Scientific Electronic Library (SciELO)*, *Scopus* e *Science Direct*. Utilizou-se os descritores na língua portuguesa “resíduos de serviços da saúde”, “tratamento de resíduos de serviços da saúde”, “incineração”, “esterilização por vapor”, “ozonização” e “irradiação”, e os descritores equivalente na língua inglesa “healthcare waste”, “healthcare waste treatment”, “incineration”, “steam sterilization”, “Ozonation” e “irradiation”.

Como critérios de elegibilidades para análise dos artigos, foram adotados: publicações a partir do ano de 2003, artigos indexados e originais e documentos escritos em língua portuguesa e inglesa. Os critérios de exclusão foram: documentos que não atenderam aos critérios de elegibilidade.

RESULTADOS

A seguir são apresentadas algumas das formas atuais de tratamento dos resíduos de serviços da saúde.

Incineração

A incineração é o tratamento térmico mais utilizado mundialmente para a disposição de resíduos de serviços da saúde (MAZZEI e SPECCHIA, 2023). Essa técnica envolve a queima de materiais orgânicos na presença de elevado teor de oxigênio para garantir a combustão completa. Os principais produtos da combustão são cinzas, gases, material particulado e calor. É uma atividade estável e proporciona grande desinfecção, esterilização e eliminação de poluentes. Além de promover a estabilização dos resíduos outra grande vantagem da incineração está na redução significativa do volume de material, podendo chegar até a ordem de 90% (DATTA, MOHI e CHANDER, 2018).

Apesar desta tecnologia ser adequada para a maioria dos resíduos infecciosos, ela não é recomendada para recipientes de gás pressurizado, resíduos químicos reativos, sais de prata, plásticos de PVC, metais pesados, materiais radioativos e produtos farmacêuticos instáveis (CAPOOR e BHOWMIK, 2017). Compostos tóxicos e cancerígenos podem ser emitidos durante o processo, como dioxinas policloradas e furanos. Em particular o teor de dioxinas é especialmente elevado em materiais médicos e produtos plásticos (JIANG, LI e YAN, 2019). Outra desvantagem está relacionado ao alto custo de instalação e operação da técnica. Nesse sentido, estudos devem ser orientados para a evolução de técnicas alternativas a incineração.

Esterilização por vapor

A esterilização a vapor por autoclave é o segundo tratamento mais utilizado após a incineração (GHASEMI e YUSUFF, 2016). O autoclave consiste basicamente de um arranjo de tubos e escotilhas através do qual o vapor é introduzido e removido em uma câmara metálica, cujos materiais de construção são resistentes a elevadas pressões e temperaturas. A desinfecção dos objetos ocorre pelo processo de desnaturação das proteínas e consequentemente pela perda da função vital das células dos microrganismos patogênicos.

Autoclaves que operam sob pressão de vapor a alta temperatura são amplamente utilizadas em laboratórios biológicos para esterilização e descontaminação. A combinação de vapor e calor sob pressão fornece um excelente meio de destruição dos microrganismos. Uma grande variedade de materiais introduzidos na autoclave incluem vários tipos de utensílios, vidrarias, plásticos e meios de cultura. O uso do autoclave é recomendado para objetos descartáveis, resíduos microbiológicos e materiais cortantes (FERDOWSI, FERDOSI E MEHRANI, 2013).

As condições de operação típicas são temperatura de 121 °C a uma pressão de 105 kPa por um período de pelo menos 60 minutos. Resíduos anatômicos e patológicos, radioativos, solventes orgânicos, produtos químicos de laboratórios e de quimioterapia não devem ser tratados em autoclave (AL-KHATIB, AL-QAROOT e ALI-SHTAYEH, 2009). Deve ser evitado a colocação de produtos químicos perigosos na autoclave ao descontaminar materiais biológicos. Além dos danos ao equipamento, pode haver emissão de gases tóxicos gerando riscos para a saúde.



Ozonização

O ozônio é um forte oxidante e, conseqüentemente, um forte antibacteriano. Um dos cuidados ao utilizar a técnica é que, em doses altas, promove mau cheiro e pode provocar poluição secundária (WANG *et al.*, 2020). Pode ser empregado em resíduos farmacêuticos e no tratamento da água e do ar. Em condições controladas, o ozônio não representa risco ambiental, uma vez que é convertido em oxigênio em poucos minutos sob condições atmosféricas.

No entanto, uma vez que é tóxico e explosivo com certos componentes, requer mais pesquisas quanto a utilização da ozonização de RSS. Além disso, os custos de operação da preparação de ozônio são altos, tornando-o mais adequado para aplicações de pequena escala (WANG *et al.*, 2020).

Irradiação

A irradiação desinfeta os resíduos, expondo-os a radiações que são fatais para as bactérias e outros organismos patogênicos. A radiação ionizante, como o feixe de elétrons, gama ou ultravioleta (UV), baseia-se principalmente na ação inibidora sobre o DNA dos microrganismos patogênicos. É adequado para desinfecção rápida e requer uma contenção especial para evitar que a radiação atinja locais não desejados. Além disso, não produz emissões tóxicas ou efluentes líquidos (DATTA, MOHI e CHANDER, 2018).

O uso de luz ultravioleta tem sido aplicado para a desinfecção de equipamentos de proteção individual (EPI), mostrando-se eficaz na eliminação de patógenos mas possui sua eficiência comprometida em EPIs com geometrias complexas. Isso acontece por causa do efeito do sombreamento, fazendo com que a eficiência do tratamento seja menor nas áreas que não recebem incidência direta da radiação (HOOSHMAND *et al.*, 2020).

A irradiação não deve ser usada em equipamentos que contenham metal, nem em substâncias orgânicas voláteis, mercúrio e em resíduos radiológicos. Por outro lado, vem sendo recomendado para o tratamento de resíduos infecciosos, incluindo resíduos humanos, resíduos de laboratório e materiais cortantes (DATTA, MOHI e CHANDER, 2018).

DISCUSSÃO

Estudos sobre tratamento de resíduos da saúde mostram que, entre os muitos métodos de tratamento, cerca de 59-60% são tratados via incineração, 20-37% por esterilização a vapor e 4-5% por outras tecnologias de tratamento (GHASEMI e YUSUFF, 2016). Assim, as vantagens e desvantagens de cada tecnologia abordada nesse estudo estão resumidas na Tabela 1.

Entre as técnicas pesquisadas, a incineração de RSS é a que possui mais desvantagens do ponto de vista ambiental, pois nessa técnica ocorre a emissão de gases do efeito estufa e outros gases poluentes, contribuindo também com o agravamento de doenças respiratórias. A escala dos resíduos a serem tratados é crucial para a seleção da tecnologia. A incineração é geralmente considerada para tratar resíduos em grande escala, enquanto para aplicações em pequena escala são usadas tecnologias com menor investimento.

O ozônio e a radiação UV são comumente utilizados para desinfecção de águas residuais hospitalares e tratamento de EPIs, enquanto os tratamentos térmicos são frequentemente utilizados para a desinfecção de resíduos sólidos hospitalares (WANG *et al.*, 2020). Isso destaca um ponto crítico, em que nem todas as tecnologias podem tratar todos os tipos de RSS.

Uma abordagem interessante é dada por (DEEPAK, SHARMA e KUMAR, 2022), os quais propuseram um sistema baseado com múltiplas tecnologias, em que cada uma trata um determinado RSS. Nesse referido estudo, desenvolvido em um hospital, os resíduos patológicos e infecciosos foram tratados com incineração, depois, em outra etapa, os materiais de cirurgia como luvas foram tratados em autoclave e, por último, os materiais de vidro foram tratados com desinfecção química. Este tipo de abordagem pode ser útil para aplicar na instalação de novas unidades de tratamentos. Assim, todos os tipos de RSS gerados podem ser tratados, sem ter o problema da seletividade ao usar uma única tecnologia.



Tabela 1. Comparação entre as tecnologias de tratamento.

Fonte: (Ghasemi e Yusuff, 2016; Hooshmand *et al.*, 2020; Jiang, Li e Yan, 2019; Wang *et al.*, 2020).

Tecnologias de tratamento				
	Incineração	Autoclave	Ozonização	Irradiação
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Aceita grande variedade de resíduos. • Redução significativa do volume. • Possibilidade de reaproveitamento energético. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo (comparado a incineração). • Fácil implementação da tecnologia. • Sem necessidade de pré e/ou pós-tratamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser empregado em RSS e no tratamento da água e de gases provenientes de sistemas de incineração. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rápida desinfecção. • Não há emissão de gases tóxicos. • Não há geração de efluentes líquidos.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Custo elevado. • Emissões de gases poluentes. • Metais pesados presentes nas cinzas. • Conversão de um problema biológico em problemas de qualidade do ar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de mecanismos de secagem. • Emissão de maus odores. • Precisa triturador para reduzir volume. • Seletividade dos resíduos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Em altas doses pode gerar mau cheiro e poluição do tipo secundária. • Pouco estudado e aplicado em condições de média e grande escala. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiência comprometida em objetos com geometrias complexas. • Não pode ser utilizado em objetos que contenham metal. • Não deve ser utilizado em substâncias orgânicas voláteis.

Aspectos técnicos, ambientais e sociais são importantes, mas o custo das tecnologias determina a viabilidade de sua aplicação. Os custos de capital das unidades de tratamento devem incorporar transporte, planejamento do local, instalação, gerenciamento de projetos e taxas administrativas. Os custos operacionais incluem mão de obra, insumos, manutenção e testes periódicos. Custos de desinfecção de EPIs e treinamento da equipe também devem ser considerados.

Lee, Ellenbecker e Moure-Ersaso (2004) investigaram os custos com o tratamento de RSS em cinco hospitais e em três faculdades de medicina na cidade de Massachusetts, nos Estados Unidos da América. Os autores estimaram que os custos totais com a gestão dos RSS são cinco vezes maiores do que os com os resíduos sólidos urbanos. Isso indica que a segregação correta nos hospitais e o desenvolvimento de técnicas de tratamento visando também a viabilidade econômica precisam ser desenvolvidos.

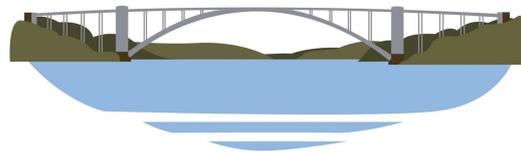
CONCLUSÕES

Este artigo de revisão apresenta algumas das principais técnicas de tratamento dos RSS. Os principais problemas da gestão desses resíduos estão relacionados ao treinamento dos trabalhadores, a logística de transporte, fiscalização, custo e uso da técnica adequada considerando as características do material a ser tratado.

Ainda é necessário o maior aprimoramento das tecnologias existentes visando a viabilidade econômica dos procedimentos de maior eficiência de tratamento. Uma alternativa para baixar custos é investir na melhor segregação e destinação adequada dos resíduos. Fazer o tratamento dos RSS com mais de uma técnica é o ideal na maioria dos casos para promover a correta desinfecção e destinação dos resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-KHATIB, I. A.; AL-QAROOT, Y. S.; ALI-SHTAYEH, M. S. Management of healthcare waste in circumstances of limited resources: A case study in the hospitals of Nablus city, Palestine. **Waste Management and Research**, v. 27, n. 4, p. 305–312, 2009.
2. BRASIL. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 222, de 28 de março de 2018. **Diário Oficial da União**, v. 2018, p. 1–4, 2018.
3. CAPOOR, M. R.; BHOWMIK, K. T. Current perspectives on biomedical waste management: Rules, conventions and treatment technologies. **Indian Journal of Medical Microbiology**, v. 35, n. 2, p. 157–164, 2017.
4. CORVALAN, C. *et al.* Towards climate resilient and environmentally sustainable health care facilities. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 23, p. 1–18, 2020.
5. DATTA, P.; MOHI, G.; CHANDER, J. Biomedical waste management in India: Critical appraisal. **Journal of Laboratory Physicians**, v. 10, n. 01, p. 006–014, 2018.



6. DEEPAK, A.; SHARMA, V.; KUMAR, D. Life cycle assessment of biomedical waste management for reduced environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 349, n. February 2021, p. 131376, 2022.
7. FERDOWSI, A.; FERDOSI, M.; MEHRANI, M. Incineration or Autoclave? A Comparative Study in Isfahan Hospitals Waste Management System (2010). **Materia Socio Medica**, v. 25, n. 1, p. 48, 2013.
8. GHASEMI, M. K.; YUSUFF, R. B. M. Advantages and disadvantages of healthcare waste treatment and disposal alternatives: Malaysian scenario. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 25, n. 1, p. 17–25, 2016.
9. HOOSHMAND, S. *et al.* Biomedical waste management by using nanophotocatalysts: The need for new options. **Materials**, v. 13, 2020.
10. JIANG, X.; LI, Y.; YAN, J. **Hazardous waste incineration in a rotary kiln: a review**. [s.l.] Springer Singapore, 2019. v. 1
11. LEE, B. K.; ELLENBECKER, M. J.; MOURE-ERSASO, R. Alternatives for treatment and disposal cost reduction of regulated medical wastes. **Waste Management**, v. 24, n. 2, p. 143–151, 2004.
12. MAZZEI, H. G.; SPECCHIA, S. Latest insights on technologies for the treatment of solid medical waste: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 11, n. 2, p. 109309, 2023.
13. SINGH, N.; OGUNSEITAN, O. A.; TANG, Y. Medical waste: Current challenges and future opportunities for sustainable management. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 52, n. 11, p. 2000–2022, 2022.
14. SU, G. *et al.* Valorisation of medical waste through pyrolysis for a cleaner environment: Progress and challenges. **Environmental Pollution**, v. 279, 2021.
15. WANG, JIAO *et al.* Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: Suggestions for disinfection strategy during coronavirus Disease 2019 (COVID-19) pandemic in China. **Environmental Pollution**, v. 262, p. 114665, 2020.