



III-681 - A PANDEMIA DE COVID-19 E A GESTÃO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Thais Tainan Santos da Silva⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFPE. Doutoranda em Engenharia Civil na UFPE.

Gustavo José de Araújo Aguiar⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFPE.

Simone Machado Santos⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Católica de Pernambuco, Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Doutora em Engenharia Civil pela UFPE. Professora Associada da UFPE.

Lourdinha Florencio⁽⁴⁾

Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Mestre em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP), Doutora em Ciências Agrícolas e Ambiental pela Universidade de Wageningen – Holanda. Professora Titular do Departamento de Engenharia Civil da UFPE.

Endereço⁽¹⁾: Rua Marielle Franco, s/n - Km 59 – Nova - PE – Caruaru – Pernambuco - CEP: 55014 – 900 - Brasil - Tel: (81) 21039121 - e-mail: thais.tainan@ufpe.br

RESUMO

A gestão de resíduos de serviços de saúde (RSS) tornou-se ainda mais desafiadora durante a pandemia de COVID-19, devido ao aumento significativo de resíduos infecciosos, como equipamentos de proteção individual e materiais médicos. O modo de transmissão por contato emergiu como um fator crucial impulsionando a geração e os riscos associados aos resíduos infecciosos, visto que os resíduos anteriormente não considerados como infecciosos passaram a ser tratados como tal, quando em contato com pacientes com COVID-19. Nesse contexto, identificar os principais desafios enfrentados e as medidas tomadas, durante a pandemia de COVID-19, é imperativo para avaliar os possíveis impactos e as estratégias de melhoria na gestão. Assim, o presente estudo apresenta uma revisão sistemática da literatura utilizando o método PRISMA, para avaliar a influência da pandemia na gestão de RSS. As bases de dados Web of Science e Scopus foram utilizadas para identificar artigos relevantes. Os trabalhos encontrados mostraram um aumento substancial na geração de RSS. A rede de coautoria revelou que países em desenvolvimento como China, Irã e Índia foram as principais fontes de pesquisa, refletindo suas preocupações com a gestão de RSS durante a pandemia. Os estudos destacaram a urgência em se estabelecer locais de armazenamento temporário para lidar com o aumento na geração de resíduos, dada a limitação de capacidade das instalações de tratamento originais. Essa necessidade mostrou a falta de infraestrutura adequada, evidenciando a importância de se implementar sistemas de logística reversa eficientes para mitigar os riscos ambientais e de saúde pública. Tecnologias de desinfecção e cenários de disposição de RSS foram avaliados utilizando a análise do ciclo de vida (ACV). A pandemia revelou a necessidade de respostas coordenadas de todos os stakeholders e de melhorias nas políticas e tecnologias de gestão de RSS, especialmente em países em desenvolvimento. A preparação para crises sanitárias futuras deve incluir o aprimoramento das infraestruturas e a implementação de sistemas de gestão de RSS mais eficientes e sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos médicos, SARS-CoV-2, manejo de resíduos, segurança ambiental, saúde pública.

INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos de serviços de saúde (RSS) representa um grande desafio para o setor de saúde global, sobretudo por conterem uma parcela perigosa (10% a 25%) em sua constituição. A preocupação não se restringe apenas à quantidade de resíduos gerados, mas ao potencial risco que o manejo incorreto dessa parcela



representa para a saúde pública e ambiental. Entre os resíduos perigosos estão os materiais infecciosos, cortantes, químicos e radioativos, cuja geração tem aumentado com o surgimento de novos medicamentos, tecnologias e procedimentos médicos. Este problema se agravou com a pandemia de COVID-19, que resultou em um aumento drástico no número de pacientes infectados e, conseqüentemente, na geração de RSS.

Compreende-se que a emergência da pandemia levou à necessidade iminente de mais recursos técnicos, humanos (ampliação de equipe médica) e materiais (suprimentos), a fim de controlar os riscos à saúde pública. Conseqüentemente, um aumento na quantidade de resíduos infecciosos como equipamentos de proteção individual (EPI) e materiais de curativos trouxe desafios adicionais à gestão de RSS. O estudo de Yu et al. (2020) mostrou que a quantidade de RSS, após o surto de coronavírus, aumentou de 0,6 kg/paciente para 2,5 kg/paciente. Yang et al. (2021) destacaram que, em Wuhan (China), a pandemia de COVID-19 resultou em um aumento drástico na produção total de RSS, passando de 3,64 kg/dia para 27,32 kg/dia por 1000 pessoas.

Destaca-se o modo de transmissão por contato como fator contribuinte para o aumento na geração de resíduos infecciosos e nos riscos de contaminação, uma vez que os resíduos anteriormente não considerados como infecciosos passaram a ser tratados como tal, quando em contato com pacientes com COVID-19 (MANUPATI et al., 2021; THAKUR, 2021). Além disso, existe uma preocupação com a sobrecarga dos profissionais que lidam rotineiramente com os RSS de COVID-19, como os profissionais de saúde, pessoal de limpeza, manipuladores de resíduos que são expostos a resíduos médicos descartáveis, como: máscaras, luvas, equipamentos de proteção individual, kits de testes (WHO, 2020).

A geração de resíduos não se limitou aos estabelecimentos de saúde, estendeu-se também aos estabelecimentos temporários, aos centros de quarentena institucional e domicílios (ILYAS; SRIVASTAVA; KIM, 2020). Estudos passaram a documentar a preocupação com as pressões sobre a demanda de equipamentos e materiais de saúde, crise na cadeia de abastecimento desses materiais (TIRKOLAE; ABBASIAN; WEBER, 2021) e a necessidade de um sistema de logística reversa adequada para dar o destino aos RSS, de modo a impedir o descarte inadequado (junto com os resíduos comuns) e reduzir a propagação da doença (SILVA et al., 2021).

Muitos países desenvolvidos emitiram diretrizes, regras e regulamentos para o descarte dos resíduos infecciosos de COVID-19. Porém, a preocupação dos países em desenvolvimento tornou-se maior, diante de uma gestão de RSS já deficiente (DIHAN et al., 2023). As instalações de tratamentos sobrecarregadas precisaram aprimorar suas operações para contornar as restrições impostas pela pandemia. Tecnologias de desinfecção foram revisadas e alternativas de descarte avaliadas, considerando cenários, para garantir a segurança ambiental durante e após a doença de COVID-19 (MANUPATI et al., 2021; ZHAO et al., 2021).

A pandemia levantou importantes questões e destacou a necessidade de se criar e se modificar políticas, planos e diretrizes sobre o gerenciamento de RSS, bem como preparar os estabelecimentos de saúde para uma gestão ambiental em situações emergenciais (SHAMMI; BEHAL; TAREQ, 2021). Nesse contexto, identificar os principais desafios enfrentados e as medidas tomadas na gestão dos RSS, durante a pandemia de COVID-19, é importante para se avaliar os possíveis impactos e as estratégias de melhoria para uma gestão segura e sustentável de RSS. Portanto, o objetivo do presente trabalho é realizar uma revisão sistemática de literatura sobre a influência da pandemia de COVID-19 na gestão de RSS, desde a segregação até o destino final, bem como as lições aprendidas. Para isso, o estudo foi estruturado com base em uma análise bibliométrica para medir índices de produção e disseminação de conhecimento científico, juntamente com uma análise de conteúdo, para determinar qualitativa e quantitativamente o estado atual da literatura sobre a gestão de RSS sob a influência da pandemia de COVID-19.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo utilizou a técnica de revisão sistemática de literatura, para identificar estudos mais relevantes em relação ao tema. De acordo com Moher et al. (2009) a revisão sistemática é uma revisão formulada de maneira clara, utilizando métodos explícitos para identificar, selecionar e avaliar, criticamente, dados dos estudos incluídos, podendo integrar os resultados desses estudos por meio de métodos estatísticos.

Para minimizar vieses, garantir a replicabilidade futura e melhorar o relato da revisão sistemática foram adotados processos fixos baseados no método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). O método PRISMA é um conjunto de itens baseados em evidências para a elaboração de relatórios sistemáticos, incluindo revisões e meta-análises, que apresenta um diagrama de fluxo para descrever as informações nas diferentes fases de uma revisão sistemática (número de artigos selecionados, incluídos e excluídos).

Nesta revisão sistemática, foram selecionados os estudos que abordaram a gestão de RSS, durante a pandemia de COVID-19. O processo de revisão foi conduzido em cinco etapas, apresentadas na Figura 1 e detalhadas a seguir.

Etapa 1: Identificação

Para a identificar os artigos, foi realizado um levantamento bibliográfico nas plataformas de pesquisa *Web of Science* e *Scopus*, escolhidas por sua ampla cobertura de publicações e acesso a estudos científicos de alto impacto. Para direcionar a pesquisa ao tema de estudo utilizou-se a ferramenta de “busca avançada” nas plataformas, juntamente com um conjunto de termos e palavras-chave relacionados a gestão de RSS, como "healthcare waste", "health care waste", "medical waste", "hospital waste", "clinical waste", "biomedical waste", "management" e termos vinculados a pandemia como "COVID-19" e "SARS-COV2".

Filtros para seleção dos estudos tais como, tipo de documento e idioma foram aplicados. Apenas artigos científicos revisados por pares e escritos em inglês, foram incluídos na análise.

Etapa 2: Seleção

Após a busca de dados na etapa anterior, foram identificadas 326 publicações na base de dados *Web of Science* e 308 na *Scopus*. Após a remoção de duplicatas (mesmos artigos presentes em ambas as plataformas), restaram 435 publicações para serem avaliadas na etapa seguinte.

Etapa 3: Elegibilidade

Nesta etapa, os artigos foram avaliados quanto à sua relevância e alinhamento com o tema de gestão de RSS durante o período pandêmico de COVID-19. Procedeu-se à análise qualitativa dos artigos por meio da leitura de seus metadados (título, resumo e palavras-chave) para identificar os temas centrais. Estudos relacionados a efluentes, resíduos de clínicas veterinárias e odontológicas, entre outros que estavam fora do escopo da pesquisa, foram excluídos. Como resultado, 206 artigos foram identificados como potencialmente relevantes.

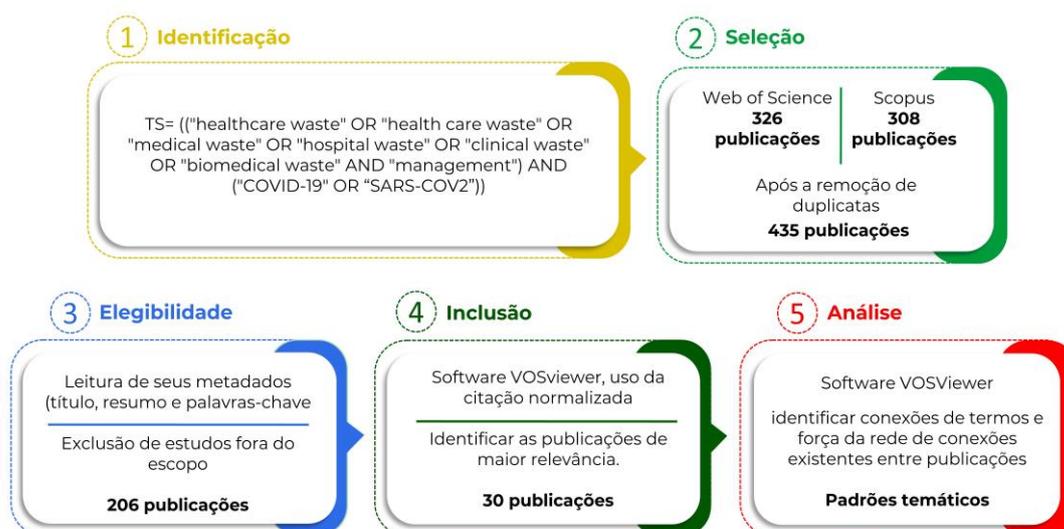


Figura 1: Diagrama de fluxo da metodologia adotada.



Etapa 4: Inclusão

Para apoiar a inclusão dos estudos, utilizou-se o software VOSviewer, que atribui o peso da "citação normalizada" (número calculado pelo VOSviewer que compara as citações recebidas por um documento com a média de citações de todos os documentos). Dessa forma, foi possível identificar as publicações de maior relevância. Buscou-se a leitura completa dos artigos para garantir que estudos importantes não fossem removidos da revisão sistemática. A conclusão do processo de revisão resultou na seleção de 30 publicações incluídas nesta revisão sistemática.

Etapa 5: Análise

Como apoio à análise, foi utilizado o software VOSViewer, para identificar conexões de termos entre publicações e a força da rede de conexões existentes entre artigos correlacionados (VAN ECK; WALTMAN, 2023).

Os artigos incluídos para a análise foram discutidos e organizados por meio dos termos principais de pesquisa nos seguintes temas: (i) estudos com foco na gestão de RSS; (ii) estudos com foco no transporte e logística reversa; e (iii) estudos com foco no tratamento e disposição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Redes de coocorrência de palavras-chaves

O software VOSViewer gerou redes de coocorrência de palavras-chaves utilizadas pelos autores. Essa rede informa o número de artigos nos quais uma palavra-chave ocorre. Devido ao grande número de palavras-chave, foram plotadas apenas aquelas que ocorreram no mínimo duas vezes, para melhor visualização da Figura 2, resultando na coocorrência de 15 palavras-chave.

A identificação das palavras-chaves mais utilizadas pode ser realizada através da visualização do tamanho dos nós, pois a ocorrência das palavras-chave é refletida através dos círculos maiores. Assim, observa-se que as palavras “COVID-19” (ocorrência 11 vezes), “medical waste” (ocorrência de 9 vezes) e “COVID-19 pandemic” (ocorrência de 4 vezes) são os nós focais de maior frequência e, portanto, termos centralizadores. As palavras-chave como “reverse logistics”, “life cycle assessment”, “healthcare waste” e “personal protective equipment” foram importantes conexões para gerar rede de coocorrências de palavras entre os artigos. Ao analisar a força dos vínculos entre as palavras-chave, percebe-se que os links mais robustos indicam uma frequência mais alta de ocorrência de um par de palavras-chave. Isso evidencia a intensidade da relação entre as palavras centrais, como é o caso de “COVID-19” e “medical waste” (palavras-chave usadas na busca realizada para compor essa revisão), que possuem um vínculo com uma força superior a cinco.

A realização da análise de coocorrência de palavras-chave é importante, pois pode elucidar a ideia principal dos estudos, fornecendo insights valiosos para identificar os nós focais a serem abordados na revisão sistemática. Nesse contexto, observa-se que os estudos selecionados concentraram em questões específicas relacionadas à gestão de RSS, durante a pandemia de COVID-19, que incluem preocupações ambientais, com a avaliação do ciclo de vida (life cycle assessment), estratégias de tomada de decisão (multicriteria decision making), e a implementação de sistemas de gestão sustentável (economy circular, network design, sustainable development).

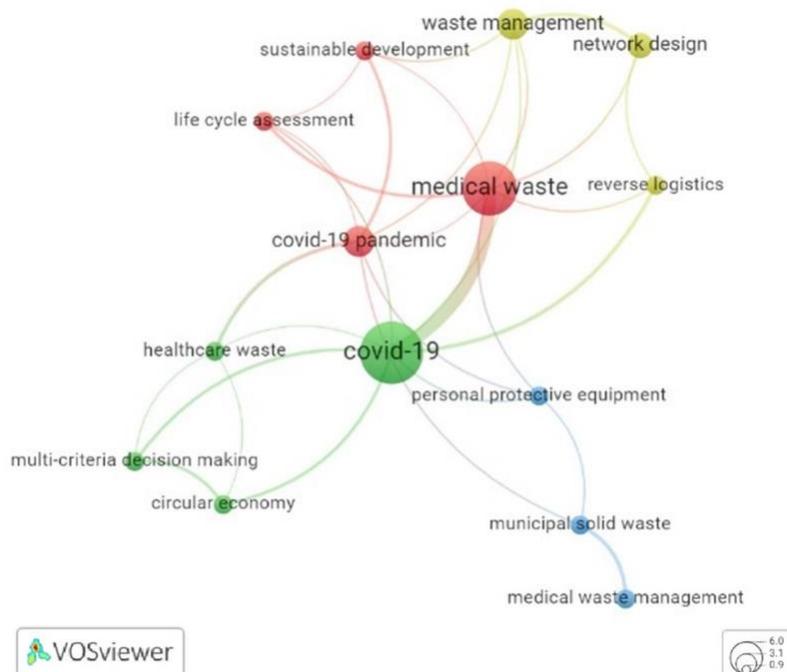


Figura 2: Rede de coocorrências de palavras-chave.

Rede de coautoria com países

A rede de coautoria com países mostra a colaboração entre eles (Figura 3). O tamanho dos círculos corresponde ao número de artigos de um país, enquanto a espessura das ligações, entre cada par de círculos, indica a força de colaboração entre eles. Um total de 24 países contribuíram para a investigação sobre gestão de RSS e COVID-19. Entre estes países, 21 estão ligados uns com os outros por meio de colaborações entre autores.

China (27%), Irã (20%) e Índia (17%) representam mais de 60% do número total de artigos. Em relação às contribuições com outros países, a China e o Irã destacam-se como os mais colaborativos, com 5 ligações internacionais cada, inclusive entre si. Em contraste, Taiwan, Romênia e Brasil não apresentam colaborações com os demais países em estudo. Os resultados indicam uma forte representação de países em desenvolvimento já que 11, dos 21 países envolvidos nas pesquisas, pertencem a essa categoria e têm apresentado mais produções. Esse resultado pode refletir o interesse desses países na gestão de RSS durante a pandemia, em virtude de uma gestão já deficiente, caracterizada por métodos inadequados de tratamento e destinação final.

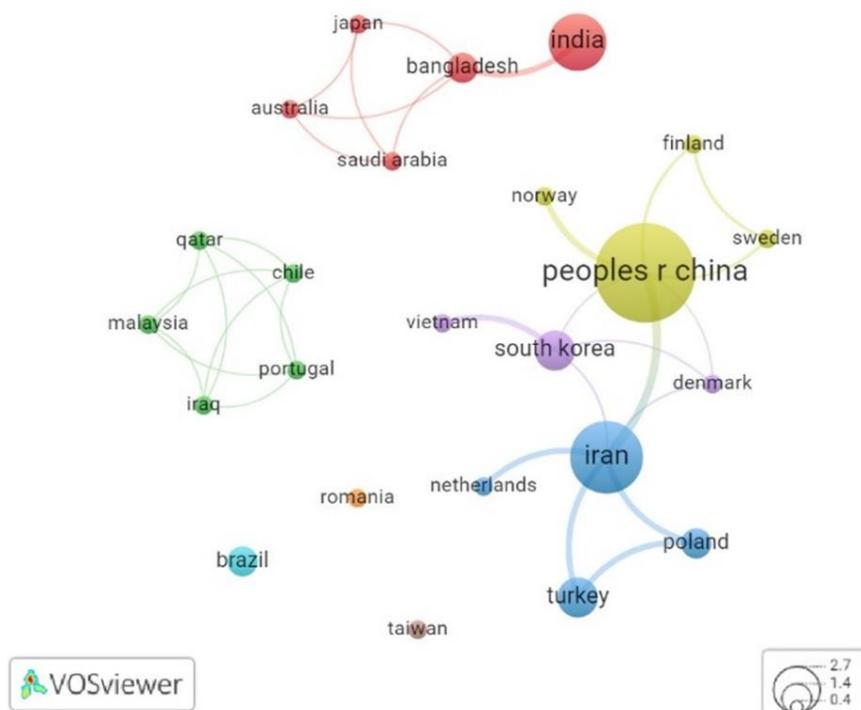


Figura 3: Rede de coautoria com países.

O impacto da pandemia de COVID-19 na gestão dos resíduos de serviços de saúde

A Tabela 1 mostra as principais informações dos 30 artigos selecionados: autoria, número de citações (normalizadas), local onde se desenvolveu a pesquisa e foco do estudo.

Os artigos selecionados foram agrupados e discutidos em bloco, de acordo com o foco principal de estudo (gestão de resíduos de serviços de saúde; transporte e logística reversa; e tratamento e disposição de RSS) e com o número de citações normalizadas (apenas os artigos com número de citação normalizada maior que 1 foram discutidos).

Tabela 1. Características dos estudos sobre a gestão dos resíduos de serviços de saúde durante a pandemia de COVID-19.

ID	Referência	Cit. Norm.	Local do estudo	Foco principal
1	(TIRKOLAE; ABBASIAN; WEBER, 2021)	3,02	Sari, Irã	Transporte e logística reversa
2	(DIHAN et al., 2023)	2,42	Bangladesh	Gestão de RSS
3	(NABAVI-PELESARAEI et al., 2022)	2,27	Irã	Tratamento e disposição
4	(LIU et al., 2022)	1,83	Wuhan, China	Transporte e logística reversa
5	(LOTFI et al., 2022)	1,79	Teerã, Irã,	Transporte e logística reversa
6	(ILYAS; SRIVASTAVA; KIM, 2020)	1,77	-	Tratamento e disposição
7	(CHAUHAN; JAKHAR; CHAUHAN, 2021)	1,76	Índia	Tratamento e disposição
8	(YU et al., 2020)	1,45	Wuhan, China	Transporte e logística reversa
9	(MANUPATI et al., 2021)	1,19	Índia	Tratamento e disposição
10	(THAKUR, 2021)	1,11	Índia	Gestão de RSS
11	(ZHAO et al., 2021)	1,04	China	Tratamento e disposição
12	(ZHAO et al., 2021)	1,02	Chongqing, China	Transporte e logística reversa
13	(DEHAL; VAIDYA; KUMAR, 2022)	0,99	Índia	Gestão de RSS

14 (YANG et al., 2021)	0,85	Wuhan, China	Gestão de RSS
15 (SHADKAM, 2022)	0,81	-	Transporte e logística reversa
16 (GOVINDAN et al., 2021)	0,79	Teerã, Irã	Transporte e logística reversa
17 (KARGAR; POURMEHDI; PAYDAR, 2020)	0,78	Irã	Transporte e logística reversa
18 (KALANTARY et al., 2021)	0,74	Irã	Gestão de RSS
19 (SHAMMI; BEHAL; TAREQ, 2021)	0,57	Índia e Bangladesh	Gestão de RSS
20 (YE et al., 2022)	0,54	Hubei, China	Tratamento e disposição
21 (MIHAI, 2020)	0,51	Romênia	Gestão de RSS
22 (RHEE, 2020)	0,49	Coreia do Sul	Gestão de RSS
23 (CHEW et al., 2023)	0,47	Iraque	Tratamento e disposição
24 (MEI et al., 2022)	0,47	Nova Iorque, EUA	Transporte e logística reversa
25 (TSAI, 2021)	0,4	Taiwan	Gestão de RSS
26 (ERDEM, 2022)	0,37	Turquia	Transporte e logística reversa
27 (AGUIAR HUGO et al., 2021)	0,22	Minas Gerais, Brasil	Gestão de RSS
28 (LIU et al., 2021)	0,18	China	Transporte e logística reversa
29 (ZHAO; MA; DING, 2023)	0,09	China	Tratamento e disposição
30 (SILVA et al., 2021)	0,07	Caruaru, Brasil	Gestão de RSS

Gestão de resíduos de serviços de saúde

Dihan et al. (2023) mostrou que Bangladesh, por não ter legislação, administração e instalações eficazes, sofreu grande abalo na gestão de RSS pelo aumento da quantidade de resíduos potencialmente contaminados por coronavírus (SARS-CoV-2). Yang et al. (2021) destacaram que em Wuhan, China, a pandemia de COVID-19 resultou em aumento drástico na produção total de RSS de 3,64 kg/dia para 27,32 kg/dia por 1000 pessoas.

Na Índia, a gestão dos RSS nas zonas rurais, durante o período da pandemia de COVID-19, representou um enorme desafio, uma vez que muitas pessoas migraram para o interior devido ao confinamento (THAKUR, 2021). O estudo aplicou uma análise PESTEL para identificar as 17 dimensões da gestão sustentável de RSS, durante o surto de COVID-19, sob seis dimensões principais: política, econômica, social, tecnológica, ambiental e jurídica. Como resultado, foram identificados fatores para auxiliar a administração hospitalar no gerenciamento de resíduos de COVID-19, com destaque para o estabelecimento imediato de uma ação política por parte dos governos, que aborde questões jurídicas e ambientais. Além do cumprimento das leis ambientais relacionadas à geração do RSS, a fim de garantir práticas mais limpas e sustentáveis.

Dehal, Vaidya e Kumar (2022) também conduziram uma pesquisa na Índia, destacando que as revisões da norma indiana para a gestão de RSS, realizada em 2016, combinada com a intervenção política, realizada logo após a orientação da Organização Mundial da Saúde para o período de pandemia de COVID-19, contribuíram para minimizar os impactos inerentes à gestão de RSS de COVID-19. No entanto, desafios como a incapacidade das instalações de tratamento foi observada em alguns estados indianos. A maioria dessas instalações tinham pequenos incineradores, de 50 a 200 kg/h, e em alguns estados, a infraestrutura já estava inadequada para lidar com os RSS mesmo antes da pandemia. Este fato se deveu, em parte, à falha na segregação de resíduos (resultando no aumento repentino da geração de RSS), à disponibilidade de funcionários limitada e ao receio de infecção nos estabelecimentos de cuidados com a saúde.

Transporte e logística reversa

O problema do transporte de RSS passou a ser acompanhado, devido ao aumento de estabelecimentos de saúde e pontos de eliminação temporários de RSS, durante a pandemia de COVID-19. Neste sentido, passou-se a considerar o tempo total de viagem e o risco ambiental à população, estabelecida nas proximidades dos locais de eliminação (TIRKOLAE; ABBASIAN; WEBER, 2021). Problemas de otimização do transporte de RSS foram significativos na pandemia de COVID-19, devido ao fato de que qualquer vazamento de RSS contaminado pelo coronavírus, poderia causar danos à vida, à economia e ao meio ambiente. Um estudo em Wuhan (China) avaliou canais de coleta de resíduos. Um depósito de resíduos comuns foi separado para



armazenamento temporário de resíduos de COVID-19 para que a empresa de coleta pudesse buscar, diretamente, sem qualquer contato desnecessário (LIU et al., 2022). Em Chongqing, China, Cao et al. (2023) identificaram o uso de um sistema descentralizado de transporte de resíduos, operando em níveis provincial e nacional, para o melhor desempenho do transporte de resíduos de COVID-19.

Durante a pandemia de COVID-19, uma discussão importante foi a viabilidade de redes de cadeia adaptadas à nova realidade. Nesse contexto, Lotfi et al. (2022) apresentaram um modelo de rede de cadeia para RSS, com o objetivo de melhorar a gestão desses resíduos e ajudar na prevenção de surtos de COVID-19. Eles sugeriram que a recuperação de RSS não perigosos, contendo metais e plásticos, poderia beneficiar o meio ambiente ao reintegrá-los ao ciclo de produção. O estudo, realizado em hospitais de Teerã (Irã), propôs uma rede de cadeia que incluiu centros de saúde, a segregação de resíduos, compradores de resíduos recicláveis e aterros sanitários, utilizando uma nova programação estocástica robusta em dois estágios. Os resultados mostraram que, ao aumentar o coeficiente de valorização de resíduos (proporção de resíduos que vão para aterros), a função custo e o risco populacional diminuem. Por outro lado, aumentar o coeficiente de recuperação de resíduos eleva os custos de transporte, aumentando a função custo, mas também promove a utilização e recuperação de mais resíduos.

Yu et al. (2020) desenvolveram um projeto de rede de logística reversa para RSS, durante surtos epidêmicos em Wuhan (China). Os autores determinaram centros de trânsito temporário e centros de tratamento temporário levando em conta os riscos nos centros de saúde, no transporte e o custo total, utilizando a abordagem de programação multiobjetivo Fuzzy. Como resultado, os autores minimizaram o custo de transporte de resíduos perigosos, bem como o risco de exposição da população. Além disso, sugeriram que a instalação de incineradores temporários pode ser uma solução eficaz, diante do aumento na quantidade de RSS durante o surto de COVID-19. Contudo, a seleção do local para os incineradores temporários é de importância significativa e, portanto, deve ser criteriosa.

Tratamento e disposição de RSS

Alguns estudos revisaram tecnologias de desinfecção para o tratamento de resíduos da COVID-19. Ilyas; Srivastava e Kim (2020) realizaram uma revisão abrangente sobre as tecnologias de desinfecção e políticas globais para a gestão desses resíduos, incluindo estratégias eficazes e possibilidades de reprocessamento dos itens. Os autores consideram a abordagem "identificar, isolar, desinfetar e tratar" como altamente eficaz e enfatizam a importância da participação pública na coleta e descarte adequado dos resíduos contaminados por coronavírus (SARS-CoV-2). O tratamento local dos resíduos foi visto como promissor, diante da escassez de pessoal, durante o período de confinamento e das instalações de tratamento sobrecarregadas. No entanto, a capacidade limitada de estabelecimentos de saúde e a falta de registro comprovado de emissões foram identificados como obstáculos à gestão. Os autores recomendaram a desinfecção por micro-ondas para higienizar EPIs e tecidos reutilizáveis, a desinfecção química para grandes espaços como instalações hospitalares e centros de isolamento, e a incineração para lidar com grandes volumes de resíduos contaminados por coronavírus (SARS-CoV-2).

Manupati et al. (2021) propuseram um quadro de avaliação para a seleção da melhor técnica de eliminação de RSS, utilizando o método Fuzzy VIKOR para avaliar 9 alternativas. Foram considerados 10 critérios pelos quais as melhores técnicas de descarte de resíduos de saúde devem ser selecionadas (custo operacional anual, aceitabilidade pública, confiabilidade, eficiência do tratamento, rejeito, recursos humanos, capacidade do sistema de tratamento, efeitos na saúde, segurança operacional e infraestrutura). Um estudo de caso foi realizado em Tamil Nadu, um estado no sul da Índia, para analisar a eficácia do quadro proposto. Os resultados demonstraram que a incineração pode ser o método mais adequado a ser utilizado, durante a pandemia de COVID-19, mas enfatizaram que o controle da poluição ambiental desse tipo de tratamento não deve ser negligenciado.

Nabavi-Pelesarai et al. (2022) investigaram cenários de emergência para a gestão de RSS na pandemia de COVID-19. Os autores adotaram a análise do ciclo de vida (ACV) como método para avaliar os impactos ambientais à disposição de RSS. Os cálculos de danos ambientais em ACV no estudo foi realizado pelo método ReCiPe2016 e os resultados foram referentes a cinco cenários: (i) veículo de eliminação de incineração; (ii) cabine de esterilização a vapor; (iii) equipamento móvel de esterilização por micro-ondas; (iv)



coincineração com resíduos perigosos; e (v) coincineração com resíduo sólido urbano (RSU). Os resultados revelaram que o cenário 3 (equipamento móvel de esterilização por micro-ondas) e o cenário 5 (coincineração com RSU) são os melhores e piores cenários, respectivamente, do ponto de vista ambiental, para as faixas de saúde humana, ecossistemas e recursos. Tais resultados podem ajudar a decidir a escolha de uma tecnologia a partir dos aspectos ambientais considerando todas as condições.

Zhao et al. (2021) também analisaram o impacto ambiental entre cenários para disposição de RSS. Os autores investigaram os principais fatores de impactos ambientais de três cenários de eliminação de RSS: (i) veículo de eliminação com incinerador; (ii) equipamento móvel de esterilização a vapor; (iii) equipamento móvel de esterilização por microondas, ambas esterilizações seguidas de co-incineração com RSU. Os impactos foram quantificados através de uma abordagem de avaliação de ACV, tendo como resultado a esterilização seguido de coincineração com RSU, com os menores impactos ambientais devido aos benefícios ambientais produzidos pela geração de energia. Para equipamentos móveis de esterilização por vapor e micro-ondas, seguidos de coincineração com RSU, a geração de energia a partir da incineração de resíduos médicos desinfetados tem impactos ambientais benéficos significativos, devido aos impactos evitados pelo consumo de eletricidade.

Chauhan, Jakhar e Chauhan (2021) apresentaram um sistema inteligente de eliminação de resíduos de COVID-19 (monitoramento digital de locais de armazenamento temporário, considerando o aumento da geração de resíduos e a falta de capacidade das instalações de tratamento). Sete critérios relacionados ao sistema inteligente de descarte de RSS infundidos com aspectos de economia circular para recuperar valor dos descartáveis foram identificados e analisados pelo método de tomada de decisão DEMATEL. Dois critérios, (i) centros de saúde conectados digitalmente, empresas de eliminação de resíduos e conselho de controle de poluição, e (ii) fornecimento de um aplicativo de feedback do conselho de controle de poluição ao público e outras partes interessadas, apresentam-se como fortes razões para um sistema inteligente de eliminação de resíduos de saúde.

Analisar os critérios de um sistema inteligente de eliminação de resíduos de saúde e integrá-los a uma perspectiva de economia circular é essencial para maximizar a retenção de materiais, ao mesmo tempo em que se minimiza o impacto negativo no meio ambiente e na sociedade. Este desafio tornou-se ainda mais complexo devido aos resíduos altamente infecciosos gerados por pacientes e profissionais de saúde durante a pandemia de COVID-19, exigindo soluções ambiental, social e economicamente sustentáveis.

CONCLUSÕES

A revisão sistemática mostrou que o enfrentamento dos desafios, durante o período de emergência de COVID-19, exigiu uma resposta imediata e coordenada de todos os envolvidos na gestão de RSS, incluindo autoridades públicas, prestadores de serviços de saúde, comunidade e outros stakeholders. Em países em desenvolvimento, onde as dificuldades em se estabelecerem quadros regulatórios eficientes para gestão de resíduos são maiores, os desafios agravaram o problema da gestão de RSS, durante o período pandêmico.

Um dos efeitos da pandemia de COVID-19 na gestão dos RSS foi o aumento na geração dos resíduos infecciosos, devido ao aumento do uso de equipamentos de proteção individual e materiais médicos. Como consequência, sistemas deficientes de logística reversa, a capacidade limitada das instalações de tratamento, as restrições de localização e condições para instalações de tratamento temporárias, tornaram-se grandes barreiras ao tratamento e disposição adequada de RSS, durante a fase crítica da pandemia de COVID-19.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR HUGO, A.; LIMA, R. DA S.; HUGO, A. DE A.; LIMA, R. DA S. Healthcare waste management assessment: Challenges for hospitals in COVID-19 pandemic times. *Waste Management & Research*, v. 39, n. 1_suppl, p. 56–63, 12 jun. 2021.
2. CAO, C.; XIE, Y.; LIU, Y.; LIU, J.; ZHANG, F. Two-phase COVID-19 medical waste transport optimisation considering sustainability and infection probability. *Journal of Cleaner Production*, v. 389,



- n. November 2022, p. 135985, 2023.
3. CHAUHAN, A.; JAKHAR, S. K.; CHAUHAN, C. The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of healthcare waste disposal. *Journal of Cleaner Production*, v. 279, p. 123854, 2021.
 4. CHEW, X. Y.; KHAW, K. W.; ALNOOR, A.; FERASSO, M.; AL HALBUSI, H.; MUHSEN, Y. R. Circular economy of medical waste: novel intelligent medical waste management framework based on extension linear Diophantine fuzzy FDOSM and neural network approach. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 21, p. 60473–60499, 2023.
 5. DEHAL, A.; VAIDYA, A. N.; KUMAR, A. R. Biomedical waste generation and management during COVID-19 pandemic in India: challenges and possible management strategies. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, n. 10, p. 14830–14845, 2022.
 6. DIHAN, M. R.; ABU NAYEEM, S. M. M.; ROY, H.; ISLAM, M. S.; ISLAM, A.; ALSUKAIBI, A. K. D.; AWUAL, M. R. Healthcare waste in Bangladesh: Current status, the impact of Covid-19 and sustainable management with life cycle and circular economy framework. *Science of The Total Environment*, v. 871, p. 162083, 2023.
 7. ERDEM, M. Designing a sustainable logistics network for hazardous medical waste collection a case study in COVID-19 pandemic. *Journal of Cleaner Production*, v. 376, n. August, p. 134192, 2022.
 8. GOVINDAN, K.; NASR, A. K.; MOSTAFAZADEH, P.; MINA, H. Medical waste management during coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak: A mathematical programming model. *Computers and Industrial Engineering*, v. 162, 2021.
 9. ILYAS, S.; SRIVASTAVA, R. R.; KIM, H. Disinfection technology and strategies for COVID-19 hospital and bio-medical waste management. *Science of the Total Environment*, v. 749, p. 141652, 2020.
 10. KALANTARY, R. R.; JAMSHIDI, A.; MOFRAD, M. M. G.; JAFARI, A. J.; HEIDARI, N.; FALLAHIZADEH, S.; HESAMI ARANI, M.; TORKASHVAND, J. Effect of COVID-19 pandemic on medical waste management: a case study. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, v. 19, n. 1, p. 831–836, 18 jun. 2021.
 11. KARGAR, S.; POURMEHDI, M.; PAYDAR, M. M. Reverse logistics network design for medical waste management in the epidemic outbreak of the novel coronavirus (COVID-19). *Science of the Total Environment*, v. 746, 2020.
 12. LIU, S.; ZHANG, J.; NIU, B.; LIU, L.; HE, X. A novel hybrid multi-criteria group decision-making approach with intuitionistic fuzzy sets to design reverse supply chains for COVID-19 medical waste recycling channels. *Computers and Industrial Engineering*, 2022.
 13. LIU, Z. Y.; LIU, T. L.; LIU, X. D.; WEI, A. J.; WANG, X. X.; YIN, Y.; LI, Y. Research on Optimization of Healthcare Waste Management System Based on Green Governance Principle in the COVID-19 Pandemic. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH*, v. 18, n. 10, 2021.
 14. LOTFI, R.; KARGAR, B.; GHAREHBAGHI, A.; WEBER, G. W. G.-W. Viable medical waste chain network design by considering risk and robustness. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, n. 53, p. 79702–79717, 2022.
 15. MANUPATI, V. K.; RAMKUMAR, M.; BABA, V.; AGARWAL, A. Selection of the best healthcare waste disposal techniques during and post COVID-19 pandemic era. *Journal of Cleaner Production*, v. 281, p. 125175, 2021.
 16. MEI, X.; HAO, H.; SUN, Y.; WANG, X.; ZHOU, Y. Optimization of medical waste recycling network considering disposal capacity bottlenecks under a novel coronavirus pneumonia outbreak. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, n. 53, p. 79669–79687, 2022.
 17. MIHAI, F.-C. Assessment of COVID-19 waste flows during the emergency state in romania and related public health and environmental concerns. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 15, p. 1–18, 2020.



18. MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *BMJ (Online)*, v. 339, n. 7716, p. 332–336, 2009.
19. NABAVI-PELESARAEI, A.; MOHAMMADKASHI, N.; NADERLOO, L.; ABBASI, M.; CHAU, K. WING. Principal of environmental life cycle assessment for medical waste during COVID-19 outbreak to support sustainable development goals. *Science of the Total Environment*, v. 827, 2022.
20. RHEE, S. W. Management of used personal protective equipment and wastes related to COVID-19 in South Korea. *Waste Management and Research*, v. 38, n. 8, p. 820–824, 2020.
21. SHADKAM, E. Cuckoo optimization algorithm in reverse logistics: A network design for COVID-19 waste management. *Waste Management & Research*, v. 40, n. 4, p. 458–469, 2022.
22. SHAMMI, M.; BEHAL, A.; TAREQ, S. M. The Escalating Biomedical Waste Management To Control the Environmental Transmission of COVID-19 Pandemic: A Perspective from Two South Asian Countries. *Environmental Science and Technology*, v. 55, n. 7, p. 4087–4093, 2021.
23. SILVA, T.; MACIEL, R.; FLORENCIO, L.; MACHADO SANTOS, S. Strategies for the improvement of home medical waste management during the COVID-19 pandemic. *Journal of the Air and Waste Management Association*, v. 72, n. 3, p. 222–234, 2021.
24. THAKUR, V. Framework for PESTEL dimensions of sustainable healthcare waste management: Learnings from COVID-19 outbreak. *Journal of Cleaner Production*, v. 287, 2021.
25. TIRKOLAEI, E. B.; ABBASIAN, P.; WEBER, G. W. G.-W. G. W. Sustainable fuzzy multi-trip location-routing problem for medical waste management during the COVID-19 outbreak. *Science of the Total Environment*, v. 756, p. 143607, 2021.
26. TSAI, W.-T. Analysis of medical waste management and impact analysis of COVID-19 on its generation in Taiwan. *Waste Management & Research*, v. 39, n. 1_suppl, p. 27–33, 5 jun. 2021.
27. WHO. Overview of public health and social measures in the context of COVID-19. Geneva: World Health Organization, 2020. 1–8 p.
28. YANG, L.; YU, X.; WU, X.; WANG, J.; YAN, X.; JIANG, S.; CHEN, Z. Emergency response to the explosive growth of health care wastes during COVID-19 pandemic in Wuhan, China. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 164, n. August 2020, p. 105074, 2021.
29. YE, J.; SONG, Y.; LIU, Y.; ZHONG, Y. Assessment of medical waste generation, associated environmental impact, and management issues after the outbreak of COVID-19: A case study of the Hubei Province in China. *PLoS ONE*, v. 17, p. 1–17, 2022.
30. YU, H.; SUN, X.; SOLVANG, W. D.; ZHAO, X. Reverse logistics network design for effective management of medical waste in epidemic outbreaks: Insights from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in Wuhan (China). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 5, 2020.
31. ZHAO, H.; LIU, H.; WEI, G.; WANG, H.; ZHU, Y.; ZHANG, R.; YANG, Y. Comparative life cycle assessment of emergency disposal scenarios for medical waste during the COVID-19 pandemic in China. *Waste Management*, v. 126, p. 388–399, 2021.
32. ZHAO, S.; MA, G.; DING, J. Symbiotic Mechanism of Multiple Subjects for the Resource-Based Disposal of Medical Waste in China in the Post-Pandemic Context. *Sustainability (Switzerland)*, v. 15, n. 1, 2023.