

7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA A COMPOSTAGEM DE MARAVALHA E BAGAÇO DE LARANJA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.XII-005>

Caroline Arisa Goto (*), Ane Louise Dionizio Mendes, Gabriel Luiz Cavecchia, Rennan Soares Ferreira, Tatiane Cristina Dal Bosco

* Universidade Tecnológica Federal do Paraná; carolinearisagoto@alunos.utfpr.edu.br

RESUMO

No Brasil, no ano de 2022, cerca de 43,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos foram destinados a aterros sanitários e o restante, 27,9 toneladas, foram dispostos de forma inadequada. A destinação inadequada pode resultar em diversos tipos de poluição, ameaçando o meio ambiente e a saúde pública. A Política Nacional de Resíduos Sólidos orienta a gestão desses resíduos, promovendo a compostagem como uma alternativa sustentável à disposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários. No entanto, as unidades de compostagem no país são poucas e enfrentam desafios operacionais e de gestão. Diversos fatores, como umidade, aeração e relação C/N influenciam na eficácia do processo de compostagem, e diferentes métodos são empregados visando aprimorá-lo. Assim, a busca por métodos que contribuam para processos mais eficazes e ajustados a cada tipo de resíduo é essencial. Portanto, este trabalho teve por objetivo comparar o desempenho da compostagem de maravalha e bagaço de laranja em dois sistemas: leira e reator. Foram montadas paralelamente uma leira e um reator, compostos por 30 L de bagaço de laranja e 90 L de maravalha. Ao final do experimento, determinou-se a redução de massa e volume, analisou-se a alteração de aspecto do composto e parâmetros físico-químicos, como pH, condutividade elétrica (C.E.), umidade (U), carbono orgânico (CO), sólidos fixos e sólidos voláteis. Ressalta-se que o experimento durou 58 dias. Durante o processo de compostagem, observou-se uma boa degradação dos resíduos, evidenciada pela alteração de sua cor, aspecto e odor. Além disso, houve uma redução de 36,25% e 54,85% no volume e 42,71% e 61,89%, respectivamente para a leira e o reator. Em relação às temperaturas, as duas composteiras tiveram um comportamento semelhante para este parâmetro. Ambos os compostos resultantes apresentaram um pH neutro, bem como condutividade elétrica, CO, SF e SV dentro dos padrões descritos na literatura. Já a U superou 40%, estabelecido como limite máximo para a comercialização de compostos orgânicos. Conclui-se, portanto, que ambos os métodos foram eficientes no processo de compostagem, representando uma solução para o desafio de descarte inadequado dos resíduos orgânicos no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Compostabilidade, Composto Orgânico, Gestão de Resíduos, Resíduos Orgânicos.

ABSTRACT

In Brazil, around 43.8 million tons of municipal solid waste was sent to landfills in 2022 and the rest, 27.9 tons, was disposed of improperly. [Inadequate disposal can result in various types of pollution, threatening the environment and public health. The National Solid Waste Policy guides the management of this waste, promoting composting as a sustainable alternative to disposing of organic waste in landfills. However, there are few composting units in the country and they face operational and management challenges. Various factors such as humidity, aeration and C/N ratio influence the effectiveness of the composting process, and different methods are used to improve it. Therefore, the search for methods that contribute to more effective processes and are adjusted to each type of waste is essential. The aim of this study was therefore to compare the composting performance of wood shavings and orange pomace in two systems: a windrow and a reactor. A windrow and a reactor were set up in parallel, consisting of 30 liters of orange bagasse and 90 liters of wood shavings. At the end of the experiment, the reduction in mass and volume was determined, the change in appearance of the compost was analyzed and physicochemical parameters such as pH, electrical conductivity (EC), humidity (U), organic carbon (OC), fixed solids and volatile solids. The experiment lasted 58 days. During the composting process, good degradation of the waste was observed, as evidenced by changes in its color, appearance and smell. In addition, there was a 36.25% and 54.85% reduction in volume and a 42.71% and 61.89% reduction, respectively for the compost heap and the reactor. With regard to temperature, the two composts behaved similarly for this parameter. Both resulting composts had a neutral pH, as well as electrical conductivity, CO, SF and SV within the standards described in the literature. On the other hand, U exceeded 40%, which is established as the maximum limit for marketing organic compost. It can therefore be concluded that both methods were efficient in the composting process, representing a solution to the challenge of inadequate disposal of organic waste in Brazil.

KEY WORDS: Composting, Organic Compost, Waste Management, Organic Waste.



INTRODUÇÃO

No ano de 2022, o Brasil gerou aproximadamente 77,1 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), equivalente a 380 kg de resíduo por habitante, dos quais aproximadamente 93,1% foram coletados (ABREMA, 2023). Em relação à disposição final, 43,8 milhões de toneladas de resíduos foram encaminhados para aterros sanitários, e os demais tiveram uma disposição final inadequada, em lixões e aterros controlados.

Entre os resíduos gerados no país, 45,3% são resíduos orgânicos (ABRELPE, 2020), que se mal gerenciados, podem resultar em diversos tipos de poluição, afetando tanto o solo, quanto a água e o ar, potencialmente acarretando riscos para a saúde pública e o meio ambiente. Diante deste cenário, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), orienta a gestão de resíduos sólidos no país e estabelece que para aterros sanitários devem ser destinados apenas rejeitos, trazendo a compostagem como alternativa para o tratamento dos resíduos orgânicos (BRASIL, 2010).

Apesar das usinas de compostagem serem o destino de apenas 1,3% da fração orgânica dos resíduos sólidos (SNIS, 2023), este tratamento é essencial para reduzir a quantidade de material que é encaminhada aos aterros sanitários, além de ser uma técnica que recicla a matéria orgânica e resulta no composto orgânico, que traz benefícios ao solo e à nutrição das plantas. Para garantir a qualidade do composto orgânico produzido nas unidades de compostagem do país, diversos fatores que influenciam diretamente na eficiência do processo de compostagem devem ser controlados e monitorados, como: umidade, aeração, relação C/N, pH e temperatura (KIEHL, 1985).

Além disso, para cada tipo de resíduo orgânico deve-se avaliar os métodos de compostagem com o objetivo de aprimorar a eficácia do processo. A escolha do método de compostagem é influenciada por fatores como redução de custos, menor demanda por mão de obra, facilidade operacional e qualidade do composto final. Assim, estudos referentes aos métodos de compostagem são relevantes, visto que podem contribuir para o sucesso do processo de reciclagem da matéria orgânica e a correta destinação dos resíduos orgânicos no país.

OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo comparar o desempenho da compostagem de maravalha e bagaço de laranja em dois sistemas: leira e reator.

METODOLOGIA

O experimento ocorreu na estufa agrícola da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Londrina, durante o período compreendido entre outubro e dezembro de 2023, com duração de 58 dias. Os resíduos utilizados foram o bagaço de laranja (obtido com um pequeno produtor de suco) e a maravalha (adquirida em uma marcenaria na região).

Deste modo, conduziu-se, paralelamente, a montagem de uma leira e um reator, construído a partir de uma bombona plástica de 150 litros, perfurada em todas as paredes para permitir a aeração do material em decomposição. Ambas as composteiras foram compostas por 30 litros de bagaço de laranja triturado e 90 litros de maravalha, seguindo uma proporção de 1:3 em volume. Os dados de massa úmida e seca dos resíduos estudados foram obtidos a partir da pesagem e de análises com base no teor de umidade de cada material, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de massa seca e úmida dos resíduos utilizados no experimento.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

Resíduo	Massa seca (Kg)	Massa úmida (Kg)
Bagaço de laranja (leira)	3,40	17,62
Maravalha (leira)	14,30	19,03
Bagaço de laranja (reator)	2,77	14,36
Maravalha (reator)	12,50	16,67

Tanto a leira quanto o reator foram montados em camadas, de modo a intercalar o material seco com o material úmido, visando aumentar o contato dos dois resíduos e favorecer a aeração. Foram cinco camadas, sendo as extremas

compostas exclusivamente por maravalha, visando prevenir a ocorrência de maus odores, atração de vetores e absorver eventual chorume gerado durante o processo. Já as camadas intermediárias foram dispostas de maneira alternada.

Realizaram-se revolvimentos manuais, com o auxílio de pás e enxadas, duas vezes na semana, durante o período de 30 dias, e posteriormente, uma vez por semana, até o final dos 58 dias de experimento. Considerando a importância da temperatura como indicador do processo de compostagem, de segunda a sexta-feira, foram utilizados termômetros do tipo espeto, posicionados em 8 pontos na leira e 9 no reator (Figura 1). Além disso, analisou-se a temperatura ambiente e a umidade do material foi monitorada pelo teste da mão (NUNES, 2009). Ao final do experimento, determinou-se a redução de massa e volume, analisou-se a alteração de aspecto do composto e parâmetros físico-químicos, como pH, condutividade elétrica (C.E.), umidade (U), carbono orgânico (CO), sólidos fixos e sólidos voláteis.

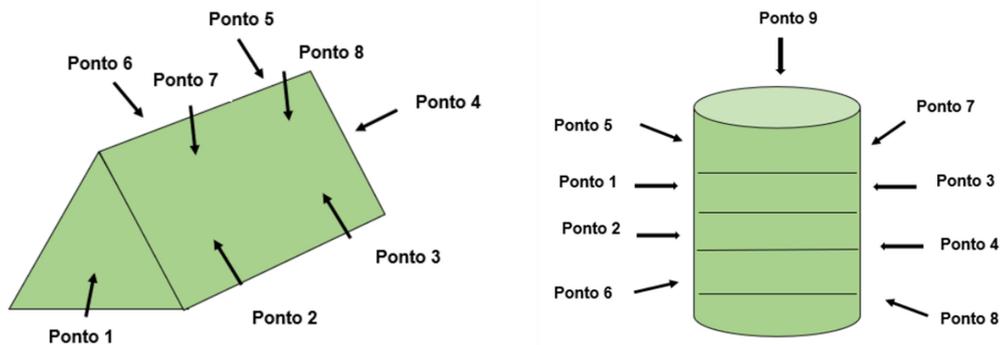


Figura 1: Posicionamento dos sensores na leira (à esquerda) e no reator (à direita). Fonte: Autor do Trabalho.

RESULTADOS

A partir dos dados de temperatura da leira e do reator, obteve-se as temperaturas máximas, médias, mínimas e ambiente (Figura 2).

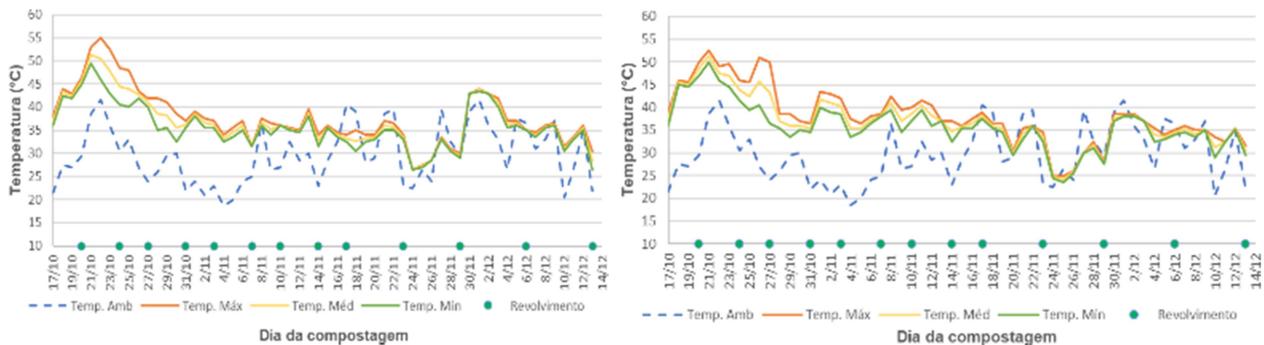


Figura 2: Gráfico das temperaturas máximas, médias, mínimas e ambiente da leira (à esquerda) e do reator (à direita). Fonte: Autor do Trabalho.

Pode-se observar, na Figura 1, que as temperaturas médias foram de 36,7°C e 37°C, respectivamente, para a leira e para o reator. Portanto, as duas composteiras tiveram um comportamento semelhante para este parâmetro. Destaca-se que a temperatura ambiente teve impacto direto nas temperaturas coletadas no interior das composteiras. De acordo com Orrico Junior et al. (2012), a temperatura do ambiente influencia diretamente a temperatura da compostagem, pois ao estarem expostas ao meio, as trocas térmicas são inevitáveis. Os autores ainda explicam que estas trocas tendem a ser mais intensas em dias de baixa temperatura, especialmente devido à influência do vento. Nota-se que a realização dos revolvimentos também impactava na temperatura do processo, pois as temperaturas aumentavam consideravelmente após a sua realização. Segundo Kiehl (1985), este fato se dá em virtude da aceleração da decomposição dos resíduos pelos microrganismos devido à abundância de ar no sistema.

É desejável observar, no processo de compostagem quatro principais etapas: fase mesofílica de aquecimento, que é rápida; fase termofílica; fase mesofílica de resfriamento; e fase mesofílica de maturação, como proposto por Inácio et al. (2009). Nota-se, na Figura 1, que já no segundo dia as temperaturas atingiram valores superiores a 44°C, caracterizando

a fase de degradação ativa. Esta fase inicial, por ser muito rápida, pode ser difícil de ser notada e teve duração de dois dias em ambas as composteiras. Verificou-se, ainda, que a temperatura máxima atingida na leira foi de 55°C e no reator foi de 51,2°C, ambas no 6º dia do experimento, o que é um indicativo de intensificação da decomposição, com consequente liberação de calor devido à atividade microbiana, caracterizando a fase termofílica, que teve duração de aproximadamente 9 dias. Já a temperatura mínima obtida na leira foi de 26,5°C no 39º dia e no reator foi de 23,5°C no quadragésimo dia, devido à queda da temperatura ambiente, que foi de 17°C.

Quando grande parte do substrato se encontra degradado, há o decaimento da decomposição microbiana e, conseqüentemente, da temperatura (MASSUKADO, 2008). Nesta fase, as temperaturas se aproximam da temperatura ambiente, onde ocorre a produção de um composto maturado, estabilizado e com características distintas do material de origem. Esta fase se deu, aproximadamente, a partir do 38º dia, quando, então, no 58º dia o experimento foi finalizado.

Ao final do experimento, obteve-se a redução de volume do material, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Redução de Volume das Composteiras.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

Composteira	% de redução de volume em 58 dias
Leira	36,25%
Reator	54,85%

Nota-se, na Tabela 2, que o reator resultou numa maior redução de volume. Em trabalho realizado por Fialho (2007), obteve-se redução de volume para leira feita com bagaço de laranja e podas de árvores de 53%. No entanto, alguns fatores como a duração do processo podem influenciar neste resultado, fazendo com que essa redução seja menor.

Neste trabalho, também foi verificada a redução de massa seca ao longo do processo de compostagem. Na Tabela 3 observa-se que a compostagem realizada em reator resultou em maior redução de massa seca em porcentagem do que a composteira em leira.

Tabela 3. Redução de Massa Seca das Composteiras.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

Composteiras	% de redução de massa em 58 dias
Leira	42,71%
Reator	61,89%

Em estudo realizado por Castro (2018), obteve-se redução de massa de 60% para leira composta por resíduos de indústria de suco de laranja e podas de árvore. Já em um trabalho realizado por Moser (2017), obteve-se redução de massa de 75,59% para bombona de 100 L composta por podas de árvore e resíduos orgânicos. Assim, a expectativa de redução de massa era prevista, considerando que, conforme observado por Adhikari *et al.* (2009), a diminuição da massa durante o processo de compostagem está diretamente relacionada ao nível de umidade. Uma parte dessa redução é atribuída à produção de lixiviado e à evaporação da água, variando entre 40 a 60%. Além disso, a granulometria pode desempenhar um papel significativo nesse processo, sendo fundamental para a eficiência do processo de degradação de matéria orgânica. Ao final do experimento, grande parte dos resíduos não eram mais perceptíveis como era no início do processo. E os compostos apresentavam coloração escura e úmida, como pode ser observado na Figura 3.



Figura 3: Aspecto final dos compostos da leira (à esquerda) e do reator (à direita), ao final do experimento.

Fonte: Autor do Trabalho.



Também foram analisados alguns parâmetros físico-químicos, como pH, condutividade elétrica (C.E.), umidade (U), carbono orgânico (CO), sólidos fixos e sólidos voláteis. Para os parâmetros umidade, SF e SV foram feitas análises em duplicata.

Tabela 4. Parâmetros Físico-Químicos dos compostos ao final do experimento.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

Composteiras	pH	C.E. ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)	U (%)	CO (%)	SF (%)	SV (%)
Leira	6,96	381,00	52,91 \pm 0,20	37,69	3,77 \pm 0,12	96,23 \pm 0,12
Reator	7,00	312,60	64,22 \pm 0,68	39,21	2,44 \pm 0,67	97,56 \pm 0,22

Guermandi (2015) também realizou um experimento de compostagem, utilizando bagaço de laranja, serragem e grama e obteve os seguintes resultados: 8,14 para o parâmetro pH, 1432,5 $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ para C.E., 60,50% para umidade, 38,50% para CO, 22,68% e 77,32% para SF e SV, respectivamente, indicando assim, a eficácia do processo de compostagem.

O pH mais elevado no experimento de Guermandi (2015) indica que os resíduos presentes na compostagem eram mais alcalinos ao final do processo de compostagem. Entretanto, para ambos os experimentos, os valores de pH encontram-se dentro dos parâmetros estipulados (6 a 9) pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020).

Em relação à C.E., quanto maior o valor, maior a presença de sais no composto. Ressalta-se que este parâmetro não possui valor de referência no MAPA (2020), basta ser declarado para que possa ser comercializado. Já a umidade não deve superar 40% (MAPA, 2020). Portanto, sugere-se que ambas as composteiras fiquem expostas ao sol a fim de reduzir naturalmente a umidade. Quanto ao CO, os teores obtidos apresentaram-se dentro da legislação, que estipula que este seja superior a 15% (MAPA, 2020).

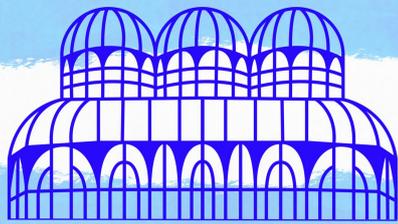
CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente estudo comparativo entre o processo de compostagem de maravalha e bagaço de laranja desenvolvido em leira e reator, é possível concluir que as duas metodologias são viáveis para o tratamento dos resíduos orgânicos estudados. Os desempenhos foram semelhantes em relação ao comportamento da temperatura ao longo dos 58 dias de processo. Vale destacar que o reator apresentou maior eficiência na redução de volume e massa seca quando comparado com o processo de compostagem realizado em leira.

As temperaturas registradas indicaram que ambos os métodos foram capazes de alcançar e manter condições termofílicas para o processo de degradação dos resíduos orgânicos. Além disso, os parâmetros físico-químicos analisados após os 58 dias do processo de compostagem se enquadram nos padrões recomendados pelas diretrizes do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, indicando a obtenção de um composto de qualidade e passível de comercialização. Faz-se necessário, apenas, o ajuste da umidade dos compostos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil** – 2019/2020. São Paulo/SP. [2020]. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020>. Acesso em: 25 mar. 2024.
2. ABREMA. **Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente**, 2023 Disponível em: <https://abrema.org.br/pdf/Panorama2023P1.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2024.
3. ADHIKARI, Bijaya K. et al. **Effectiveness of three bulking agents for food waste composting**. Waste Management, v.29, n.1, p.173- 203, 2009.
4. BRASIL. Presidência da República. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá providências. **Diário Oficial da União**, p. 3, ago., 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 27 mar. 2024.
5. CASTRO, R. S. **Resíduos industriais como estimuladores da biodegradação de poda de árvores**. 2018. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018.
6. CONOMA. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Resolução nº 357, 17 de março de 2005. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamentos de efluentes nos corpos receptores e dá outras providências.



7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

7. FIALHO, L. L. **Caracterização da matéria orgânica em processo de compostagem por métodos convencionais e espectroscópios**. Tese de Doutorado - Ciências Química Analítica. Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
8. GUERMANDI, J. I. **Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas técnicas de compostagem e vermicompostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos coletadas em estabelecimentos alimentícios de São Carlos/SP**. Dissertação de Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2015.
9. INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem: Ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 156p. 2009.
10. KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, São Paulo: Agronômica Ceres Ltda, 1985.
11. MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>>. Acesso em: 08 de janeiro de 2024.
12. MASSUKADO, L.M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. 2008. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
13. MOSER, R. G. **Efeito da adição de casca de aveia em biopolímeros compostados com resíduos orgânicos e poda de árvores**. 2017. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso - (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017.
14. ORRICO JUNIOR, M. A. P. *et al.* **Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 41, p. 1301-1307, 2012.
15. SNIS – **Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento**. Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos: SNIS, 2023. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Snis/RESIDUOS_SOLIDOS/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_RS_SNIS_2023_ATUALIZADO.pdf. Acesso em: 27 mar. 2024.