

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA ORGÂNICA

DISSERTAÇÃO

**O Uso do Composto de Resíduos Sólidos Orgânicos
Urbanos na Agricultura: a Legislação e os Sistemas
Orgânicos de Produção**

Renato Barretto Barbosa Trivella

2022



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA**

**O USO DO COMPOSTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS
URBANOS NA AGRICULTURA: A LEGISLAÇÃO E OS
SISTEMAS ORGÂNICOS DE PRODUÇÃO**

RENATO BARRETTO BARBOSA TRIVELLA

Sob a Orientação do Professor
Marco Antônio de Almeida Leal

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura Orgânica**, no Curso de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica.

Seropédica, RJ
Agosto de 2022

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

T841u	Trivella, Renato Barretto Barbosa, 20/01/1982- O USO DO COMPOSTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS URBANOS NA AGRICULTURA: A LEGISLAÇÃO E OS SISTEMAS ORGÂNICOS DE PRODUÇÃO / Renato Barretto Barbosa Trivella. - Seropédica - RJ, 2022. 103 f. Orientador: Marco Antônio de Almeida Leal. Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica, 2022. 1. compostagem. I. Leal, Marco Antônio de Almeida , 1966-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica III. Título.
-------	--

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA**

RENATO BARRETTO BARBOSA TRIVELLA

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós Graduação em Agricultura Orgânica.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 19/08/2022

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

Marco Antônio de Almeida Leal
Dr. Embrapa Agrobiologia
(Orientador)

Paul Richard Momsen Miller
Dr. UFSC

Caio de Teves Inácio
Dr. Embrapa Solos



Emitido em 20/10/2022

DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS Nº 22101/2022 - PPGA O (12.28.01.00.00.36)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 20/10/2022 08:10)

MARCO ANTONIO DE ALMEIDA LEAL

ASSINANTE EXTERNO

CPF: 991.790.757-20

(Assinado digitalmente em 20/10/2022 15:47)

PAUL RICHARD MOMSEN MILLER

ASSINANTE EXTERNO

CPF: 713.766.747-34

(Assinado digitalmente em 25/10/2022 07:21)

CAIO DE TEVES INÁCIO

ASSINANTE EXTERNO

CPF: 028.933.757-74

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufrrj.br/documentos/> informando seu número:
22101, ano: **2022**, tipo: **DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS**, data de emissão: **20/10/2022** e o código de
verificação: **608108bbf3**

Dedico este trabalho às composteiras e aos composteiros, às agricultoras e aos agricultores que se esforçam dia a dia para a transformação desse mundo em algo melhor.

“Nesse mundo de plástico e de ruído, quero ser de barro e de silêncio.”

Eduardo Galeano

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo apoio e pelo amor incondicional que transparecem nesses momentos desafiadores da vida.

Ao meu orientador Marco Leal pelo apoio, por acreditar nesse trabalho e pela sua dedicação como pesquisador para a difusão da prática da compostagem frente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Sou grato ao professor Rick Miller por existir e por fazer do meu reencontro com a compostagem (e de tantas outras pessoas) algo especial, que nos faz acreditar que, do simples, grandes mudanças são possíveis como humanidade, pelas trocas constantes de conhecimentos e por estar mais uma vez aqui presente contribuindo como membro da banca.

Ao Caio Inácio, por aceitar o convite em participar da banca avaliadora deste trabalho e, apesar de não nos conhecermos pessoalmente, alguém que tenho grande admiração por seu trabalho de pesquisa junto à Embrapa Solos e por fazer materializar um dos materiais mais completos e importantes para a difusão do Método UFSC de compostagem.

Agradeço ao Sesc-SC por acreditar e por incorporar a prática da compostagem para o gerenciamento de resíduos orgânicos em suas unidades no estado, consolidado em um trabalho de mais de dez anos, além de aceitar e apoiar o desenvolvimento desta pesquisa.

A toda a equipe do Hotel Sesc Cacupé: gerentes, colaboradores, estagiários, jovens aprendizes, hóspedes e visitantes que, apesar dos desafios diários, fizeram possível conduzir uma reconhecida unidade de compostagem para o tratamento de seus resíduos orgânicos e a difusão do Método UFSC por meio de oficinas e cursos gratuitos para a população.

Ao Armindo Sousa Nhanque e ao Rafael de Souza Mendes, que me ajudaram voluntariamente no desenvolvimento das ferramentas digitais apresentadas nesta pesquisa.

Por fim, agradeço a todas e a todos os colegas da turma 10 e docentes do PPGAO que não pouparam esforços para a concretização do Mestrado, marcado por um período de tantas incertezas e desafios que foram os anos de 2020 a 2022, e todas as emoções provocadas em escala global pela pandemia de covid-19.

BIOGRAFIA

Nascido em 20 de janeiro de 1982, morou em sua cidade natal, a capital paulista, até os sete anos de idade, quando se mudou com a família para o interior desse mesmo estado, na cidade de Botucatu. Durante quatro anos morou em um sítio, onde os primeiros contatos com a produção agropecuária marcaram sua vida. Desde os onze anos de idade reside em Florianópolis, sendo abençoado pelas belezas, pelos encantos e pelas tradições da ilha. Teve uma juventude marcada por viagens pelo Brasil, sendo no interior de Minas Gerais e da Bahia locais que revelaram a simplicidade e a força da agricultura familiar de base agroecológica, suas práticas ancestrais marcadas em nossa gente, resultado da miscigenação do povo brasileiro. Aventurou-se pelas artes com o desenvolvimento de trabalhos em pintura sobre tela e na cerâmica. Coursou a Graduação de Artes Plásticas na Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc), até o nascimento de seu primeiro filho, Iberê, em 2005, com sua companheira Lilian. Durante dez anos desenvolveu o trabalho com a cerâmica de torno, na elaboração de peças utilitárias em seu ateliê chamado Terra Gira. Em 2011, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Diante de tantos desafios, no ano de 2014 nasceu Inaiá, a segunda filha do casal. Nesse mesmo período da Graduação, ingressou como estagiário no Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo (Cepagro), onde atuou como técnico até o fim de sua Graduação, em 2016. Durante quatro anos e meio atuou em projetos dessa instituição, que complementaram sua formação acadêmica e direcionaram sua vida profissional, sendo: Projeto Educando com a Horta Escolar e a Gastronomia (2012); Projeto Revolução dos Baldinhos (2013); Projeto Gestão Agroecológica do Camping do Parque Estadual Rio Vermelho (2013-2016). Em janeiro de 2017, foi contratado pelo Hotel Sesc Cacupé para coordenar os trabalhos de Educação Ambiental e Agricultura Urbana nessa unidade, onde atuou em diversas áreas e projetos, destacando-se o gerenciamento da unidade de compostagem do local. Em junho de 2022, passou a compor a equipe de Educação do Sesc-SC, no Departamento Regional desse estado, com a finalidade de elaborar e acompanhar projetos de educação ambiental e sustentabilidade nas unidades de administração regional. De março de 2020 a agosto de 2022, desenvolveu sua pesquisa no Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica (PPGAO) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

RESUMO

TRIVELLA, Renato Barretto Barbosa. **O uso do composto de resíduos sólidos orgânicos urbanos na agricultura: a legislação e os sistemas orgânicos de produção.** 2022. 84 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

Diante do cenário atual da concentração da população em centros urbanos e a demanda crescente por alimentos orgânicos, a compostagem se mostra como uma solução eficiente e possível para o processamento de resíduos de composição orgânica visando seu aproveitamento agrícola. Por meio de um processo histórico com a evolução de métodos de compostagem e toda a logística que envolve o gerenciamento dos resíduos urbanos, percebe-se que há, nos últimos anos, uma valorização da fração orgânica por diferentes setores da sociedade, desde a segregação na fonte geradora, sua coleta diferenciada até seu tratamento por meios eficientes para a garantia de um uso seguro, sem causar danos sanitários ou ambientais. Entretanto, ao analisar o uso de composto produzido a partir de matéria-prima que assume as características dos resíduos sólidos orgânicos urbanos (RSOU), percebe-se que há uma restrição de uso imposta pela regulamentação técnica dos sistemas orgânicos de produção onde não são permitidos para culturas que tenham o contato direto do material com a parte comestível da planta, destoando-se de outras regulamentações para uso agrícola desse mesmo material. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de diferentes compostos produzidos com RSOU, comparando-os aos limites de tolerância para contaminantes regulamentados pela legislação brasileira e desenvolver um manual digital para auxiliar na coleta de amostras, indicação de parâmetros a serem analisados, interpretação de resultados e armazenamento de dados sobre a qualidade de compostos produzidos a partir dessa matéria-prima. Como metodologia foi realizada uma pesquisa bibliográfica sistematizada e não sistematizada e uma pesquisa documental de fontes diretas e indiretas. Os resultados analíticos encontrados foram interpretados e comparados à legislação por meio de ferramentas da estatística descritiva. Foram identificados *outliers* pelo cálculo do desvio interquadrático. Para o manual digital, foi criado um sítio na internet com informações sobre a amostragem, os parâmetros que devem ser analisados e a elaboração de uma calculadora para interpretação da conformidade das análises de contaminantes, de acordo com as respectivas regulamentações para os diferentes usos que o composto pode ser empregado na agricultura, alimentando-se um banco de dados para livre consulta. Como resultado, observou-se que existem regramentos específicos e distintos para o uso de composto de RSOU na legislação brasileira, onde pode ser empregado como: fertilizante orgânico composto, condicionador de solo, substrato para plantas e como insumo para a agricultura orgânica. As análises apresentadas se enquadram aos limites de contaminantes exigidos para os fertilizantes orgânicos compostos, substratos para plantas e condicionadores de solo, porém apenas 40% para a agricultura orgânica. Foram identificadas lacunas nas análises encontradas com aqueles parâmetros exigidos pela legislação. As inconformidades detectadas foram aleatórias e não representam uma realidade para todas as análises interpretadas, mas permitem a identificação de contaminantes que podem ser evitados nas matérias-primas utilizadas. O manual digital pode ser uma importante ferramenta para contribuir na geração de resultados mais precisos e confiáveis, assim como para o monitoramento desse produto. A regulamentação técnica da agricultura orgânica pode permitir o uso irrestrito de composto de RSOU desde que sejam criados critérios para garantir a sua segurança.

Palavras-chave: agricultura orgânica; compostagem; contaminantes.

ABSTRACT

TRIVELLA, Renato Barretto Barbosa. **The use of urban organic solid waste compost in agriculture: legislation and organic production systems.** 2022. 84 p. Dissertation (Mestrado em Agricultura Orgânica). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

Given the current scenario of population concentration in urban centers and the growing demand for organic food, composting is an efficient and possible solution to return the nutrients once exported to agricultural soils. Through a historical process with the evolution of composting methods and all the logistics that involve the management of urban waste, it can be seen that in recent years there has been an appreciation of the organic fraction by different sectors of society, from segregation in source, its differentiated collection until its treatment by efficient means to guarantee a safe use, without causing damage to health or the environment. However, when analyzing the use of compost produced from raw material that assumes the characteristics of urban solid organic waste (USOW), it is noticed that there is a restriction of use imposed by the technical regulation of organic production systems where they are not allowed for crops that have direct contact of the material with the edible part of the plant, in disagreement with other regulations for agricultural use of the same material. The objective of this work was to evaluate the quality of different compounds produced with USOW, comparing them to the tolerance limits for contaminants regulated by Brazilian legislation and to develop a digital manual to assist in the collection of samples, indication of parameters to be analyzed, interpretation of results and storage of data on the quality of compounds produced from this raw material. As a methodology, a systematic and non-systematized bibliographic research and a documental research of direct and indirect sources were carried out. The analytical results found were interpreted and compared to legislation using descriptive statistics tools. *Outliers* were identified by calculating the interquadratic deviation. For the digital manual, a website was created with information on sampling, the parameters that must be analyzed and the elaboration of a calculator to interpret the conformity of the analysis of contaminants, according to the respective regulations for the different uses that the compost can be used in agriculture, feeding a database for free consultation. As a result, USOW compost can be used as an organic compost fertilizer, soil conditioner, substrate for plants and for organic agriculture. The analyzes presented fall within the limits of contaminants required for organic compound fertilizers, plant substrates and soil conditioners, but only 40% for organic agriculture. Gaps were identified in the analyzes found with those parameters required by legislation. The nonconformities detected were random and do not represent a reality for all analyzes interpreted, but allow the identification of contaminants that can be avoided in the raw materials used. The digital manual can be an important tool to contribute to the generation of more accurate and reliable results, as well as to the monitoring of this product. The technical regulation of organic agriculture may allow the unrestricted use of USOW compost as long as criteria are created to guarantee its safety.

Keywords: urban organic solid waste; organic agriculture; compost; contaminants.

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abrelpe	Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
Anda	Associação Nacional para a Difusão de Adubos
AO	Associação Orgânica
As	Arsênio
C min.	Carbono mínimo
C:N	Relação carbono nitrogênio
C org. mín.	Carbono orgânico mínimo
CCA	Arsenato de cobre cromatado
CCME	Conselho Canadense de Ministros de Meio Ambiente
Cd	Cádmio
CE	Condutividade Elétrica
Ceasa	Centros estaduais de abastecimento
Comcap	Autarquia de Melhoramentos da Capital
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRA	Capacidade de retenção de gua
CRV	Camping do Rio Vermelho
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
Cultiva Floripa	Programa Municipal de Agricultura Urbana
CTC	Capacidade de troca catinica
Cr	Cromo
Cu	Cobre
dq	Desvio interquadrático
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPI	Equipamento de proteção individual
FLV	Fruta, legume e verdura
GT	Grupo de trabalho
Hg	Mercúrio
HSCAC	Hotel Sesc Cacupé
HTML	<i>Hipertext Markup Language</i>
IAR	Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMA/SC	Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina
IN	Instrução Normativa
IP	ndice de pedra
Ipea	Instituto de Pesquisa Econmica Aplicada
IVPM	ndice de vidro, plástico e metal
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados
Mapa	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
ME	Microempresa
MEI	Microempreendedor individual
MMA	Ministério do Meio Ambiente
mmolc	milimol-carga
Mo	Molibdnio
MS	Matéria seca
N mín	Nitrogênio mínimo
NBR	Norma Brasileira
Ni	Níquel

NMP	Número mais provável
NMP/g	Número mais provável por grama
N tot. mín.	Nitrogênio total mínimo
OAC	Organismo da Avaliação da Conformidade
OCS	Organização de Controle Social
OGM	Organismo geneticamente modificado
ONG	Organização não governamental
OSCIP	Organização da sociedade civil de interesse público
Pb	Chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRB	Projeto Revolução dos Baldinhos
RSOU	Resíduo sólidos orgânicos urbanos
RSU	Resíduo sólido urbano
SDA	Secretaria de Defesa Agropecuária
Sebrae	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
Sesc	Serviço Social do Comércio
Sisnama	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
ST	Sólidos totais
Suasa	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
TCC	Trabalho de conclusão de curso
TMECC	Test Methods for the Examination of Composting and Compost
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
URC	Usina de reciclagem e compostagem
Usepa	Agência Ambiental dos Estados Unidos
Zn	Zinco

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo das INs nº 35/2006, nº 05/2006 e nº 61/2020 e Portaria nº 52/2021 para os diferentes empregos do composto de RSOU, suas finalidades, classificações e condições de uso, comparação com outras classes mais restritivas, entre outras observações importantes (continua).....	25
Tabela 2. Semelhanças e diferenças sobre classificação, teores mínimos de nutrientes, outras garantias e exigências dos fertilizantes orgânicos compostos que utilizam RSOU com segregação na fonte geradora, entre as IN nº 25/2009 e a nº 61/2020.....	31
Tabela 3. Evolução histórica do texto que aborda o uso de composto de RSOU pela legislação como fertilizante orgânico composto	32
Tabela 4. Evolução histórica do texto que aborda o uso de composto de RSOU para os sistemas orgânicos de produção, até a atual Portaria Mapa nº 52/2021.....	36
Tabela 5. Limites máximos de contaminantes admitidos em substratos para plantas.....	41
Tabela 6. Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo.....	42
Tabela 7. Limites máximos de contaminantes permitidos em compostos orgânicos e outros materiais para sistemas orgânicos de produção	43
Tabela 8. Comparação entre limites de tolerância de contaminantes permitidos em fertilizantes orgânicos, condicionadores de solo, substratos para plantas e fertilizantes para sistema orgânico de produção. NMP = número mais provável; ST = sólidos totais; C org. mín = carbono orgânico mínimo; N tot. mín. = nitrogênio total mínimo; CTC = capacidade de troca de cátions, expressa em milimol-carga (mmolc); CRA = capacidade de retenção de água. A linha tracejada indica os parâmetros que se diferenciam entre as INs e a Portaria.	44
Tabela 9. Diferentes análises de compostos provenientes de RSOU e suas respectivas fontes	45
Tabela 10. Principais características dos RSOU das iniciativas analisadas	46
Tabela 11. Apresentação das dez análises de composto orgânico acessadas, comparadas aos limites de tolerância de contaminantes da Portaria nº 52/2021 e aos Anexos IV e V da IN SDA nº 27/2006, alterada pela IN SDA nº 07/2016 de diferentes projetos que utilizam matéria-prima de RSOU. Sesc = Hotel Sesc Cacupé; CRV = Camping do Rio Vermelho/Cepagro, PRB = Projeto Revolução dos Baldinhos/Cepagro, SP = Compostagem de resíduos de feiras livres no município de São Paulo; AO = Associação Orgânica/Comcap; OS = Organossolo.....	48
Tabela 12. Aptidão para uso agrícola das dez análises obtidas de acordo com os limites máximos de contaminantes determinados pela Portaria nº 52/2021 para os sistemas orgânicos de produção; IN SDA nº 27/2006 para os substratos para plantas (Anexo IV) e IN das nº 27/2006 para os fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo (Anexo V), com suas respectivas alterações dadas pela IN SDA nº 07/2016. IP = índice de pedra; IPVM = índice de pedra, vidro e metal; sementes = semente ou qualquer material de propagação de erva daninha; fitopatógeno = <i>Fusarium</i> , <i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Rhizoctonia</i> e <i>Sclerotinia</i> . Onde: célula cinza = apto; célula branca = inapto.	65
Tabela 13. Aptidão para uso agrícola das dez análises obtidas de acordo com os limites máximos de contaminantes (metais pesados) determinados pela Portaria nº 52/2021 para os sistemas orgânicos de produção; IN SDA nº 27/2006 para os substratos para plantas (Anexo IV) e IN SDA nº 27/2006 para os fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo (Anexo V),	

com suas respectivas alterações dadas pela IN SDA nº 07/2016. Onde: célula cinza = apto;
célula branca = inapto.....66

Tabela 14. Frequência de amostragem proposta no TMECC, 2001, adaptada da US EPA
40CFR503.....72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema da aeração natural do Método UFSC de compostagem e sua arquitetura. Sobre a arquitetura da leira, destacam-se as camadas: base – camada inicial montada ao nível do solo, espessa, de material poroso estruturante, exemplos: cepilho de poda, palha de capim ou restos culturais, galhos, restos de poda de árvores; estrutura lateral – material que sustenta a composteira, permite a entrada de ar por seus poros e mantém o isolamento da área externa; cobertura – camada de palha que permite a passagem do ar quente produzido no interior do núcleo ativo; núcleo ativo – local de intensa atividade biológica onde ocorre a biodecomposição do material orgânico e gera calor (55-75 °C, aproximadamente). Fonte: Adaptada de Brasil, 2017b.	7
Figura 2. Esquema da distribuição da temperatura no interior da composteira Método UFSC. Fonte: Teixeira, 2009 <i>apud</i> SILVA <i>et al.</i> , 2017, p. 29.	9
Figura 3. Apresentação esquemática de duas principais rotas de destinação para os resíduos sólidos orgânicos urbanos: a rota superior representa a da reciclagem por meio da compostagem; a inferior é a rota do aterramento, entre outras destinações possíveis. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.	19
Figura 4. Representação das diferentes legislações que regulamentam as principais etapas do processo de compostagem dos RSOU para seu uso agrícola no Brasil. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.	20
Figura 5 - A esfera das INs para uso do composto orgânico de RSOU como insumo agrícola. Ao lado esquerdo, observa-se as normativas para fertilizantes, condicionadores de solo, substrato para plantas, sendo que a IN nº 27/2006, alterada pela IN nº 07/2016, apresenta os limites de tolerância para contaminantes, a partir de seus anexos IV e V, conforme indicado pelas setas. Ao lado direito, a Portaria nº 52/2021 que estabelece o regulamento técnico para a produção orgânica no Brasil. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.	22
Figura 6 - Hierarquia da legislação brasileira e marcos legais relevantes para os diferentes usos agrícolas do composto orgânico de RSOU. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.	23
Figura 7. Esquema representativo em formato de pódio, no qual um fertilizante orgânico pode ser classificado pelos regramentos apresentados de acordo com a matéria-prima utilizada. O composto de RSOU era classificado como Classe C pela IN nº 25/2009. Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Teixeira, 2012.	30
Figura 8. Mudança de classificação dos fertilizantes orgânicos compostos de acordo com a matéria-prima utilizada, IN nº 61/2020.	33
Figura 9. Representação da valorização histórica do composto produzido por RSOU para a agricultura orgânica.	40
Figura 10. Quantidade de parâmetros analisados entre os diferentes projetos avaliados. Resultado expresso em porcentagem. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.	49
Figura 11. Percentual de parâmetros analisados nas dez iniciativas. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.	49
Figura 12. Concentrações de As (mg.kg ⁻¹) encontradas nas dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha contínua representa o limite da regulamentação técnica para esse elemento e a linha tracejada com ponto duplo, a tolerância de 30% para substratos para plantas, fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo (26 mg.kg ⁻¹) (BRASIL, 2021). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.	51

Figura 13. Concentrações de Cd (mg.kg^{-1}) encontradas nas dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha inferior (traço-ponto) indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica ($0,7 \text{ mg.kg}^{-1}$); a linha pontilhada para os condicionadores de solo e fertilizantes orgânicos ($3,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) e; a linha tracejada para os substratos para plantas (mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2021). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.	52
Figura 14. Concentrações de Cu (mg.kg^{-1}) encontradas em cinco diferentes análises de composto de RSOU. A linha traço-ponto indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica (70 mg.kg^{-1}) Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.	54
Figura 15. Concentrações de Zn (mg.kg^{-1}) encontradas em quatro diferentes análises de composto de RSOU. A linha traço-ponto indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica (200 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2021). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.	54
Figura 16. Concentrações de Ni (mg.kg^{-1}) encontradas nas dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha inferior (traço-ponto) indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica (25 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2021); a linha pontilhada os limites máximos permitidos para fertilizante orgânico e condicionadores de solo (70 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2006, Anexo V) e a linha tracejada aos substratos para plantas (175 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2006, Anexo IV). Fonte: Elaborada pelo autor (2022).	55
Figura 17. Concentrações de Pb (mg.kg^{-1}) encontradas nas dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha inferior (traço-ponto) indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica (45 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2021); a linha pontilhada os limites máximos permitidos para fertilizante orgânico e condicionadores de solo (150 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2006, Anexo V) e a linha tracejada aos substratos para plantas (300 mg.kg^{-1}), (BRASIL, 2006, Anexo IV). Fonte: Elaborada pelo autor (2022).	56
Figura 18. Concentrações de Hg (mg.kg^{-1}) encontradas em nove das dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha inferior (traço-ponto) indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica ($0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$) (BRASIL, 2021); a linha pontilhada os limites máximos permitidos para fertilizante orgânico e condicionadores de solo (1 mg. kg^{-1}) (BRASIL, 2006, Anexo V) e a linha tracejada aos substratos para plantas ($2,5 \text{ mg. kg}^{-1}$) (BRASIL, 2006, Anexo IV). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.	57
Figura 19. Concentrações de Cr hexavalente (VI) (mg.kg^{-1}) encontradas em três das dez diferentes análises de composto de RSOU (figura da esquerda). A linha inferior (traço-ponto) indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica (0 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2021); a linha pontilhada, aos fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo (2 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2006, Anexo V). A figura da direita apresenta as concentrações de Cr (total) (mg.kg^{-1}) encontradas em oito das dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha inferior (traço-ponto) indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica (70 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2021); a linha tracejada, aos substratos para plantas (500 mg. kg^{-1}) (BRASIL, 2006, Anexo IV). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.	58
Figura 20. Concentrações de Se (mg.kg^{-1}) encontradas em oito das dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha contínua indica a concentração máxima desse elemento permitida para os sistemas orgânicos de produção, substrato para plantas, fertilizante orgânico e condicionador de solo (80 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2021; BRASIL, 2006, Anexo IV e V). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.	59
Figura 21. Gráficos-caixa dos pontos discrepantes para as análises de As ($24,55 \text{ mg.kg}^{-1}$), Cd ($3,9 \text{ mg.kg}^{-1}$), Pb ($70,8 \text{ mg.kg}^{-1}$) e Ni ($37,08 \text{ mg.kg}^{-1}$). Esses pontos são identificados por seu distanciamento dos demais, quando extrapolam valores de 1,5 vez o desvio interquadrático (dq),	

sendo para o limite inferior = $Q1-1,5dq$ e para o superior = $Q3+1,5dq$. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.....	60
Figura 22. Concentrações de coliformes termotolerantes ($NMP.g^{-1} ST$ = número mais provável por grama de sólidos totais) encontradas em cinco das dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha contínua indica a concentração máxima desse organismo permitida para os sistemas orgânicos de produção, substrato para plantas, fertilizante orgânico e condicionador de solo ($NMP.g^{-1} ST = 1.000$) (BRASIL, 2021; BRASIL, 2006, Anexos IV e V). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.....	61
Figura 23. Esquema didático de coleta de amostras de montes ou pilhas de resíduos sólidos. Fonte: ABNT, 2004, p. 12.	68
Figura 24. Amostrador <i>trier</i> . Fonte: Adaptada de ABNT, 2004.	69
Figura 25. Diferentes métodos de compostagem e composto já embalado para consumo ou venda. Fonte: Adaptado de TMECC, 2001.	70
Figura 26. Esquema para sorteio dos pontos de amostragem da leira de compostagem. A partir de uma métrica, podem ser sorteados números onde serão feitos os cortes. Da exposição do perfil, serão retiradas as subamostras. Fonte: adaptada de TMECC, 2001.	70
Figura 27. Sugestões de amostragem para diferentes finalidades e indicação de acondicionamento das amostras para envio ao laboratório. Fonte: adaptado de TMECC, 2001.	71
Figura 28. Principais etapas envolvidas no Manual digital, desde orientações sobre a coleta de amostras do composto até o armazenamento de resultados em banco de dados: recomendações sobre amostragem; escolha dos parâmetros para serem analisados; calculadora de conformidade dos resultados obtidos; armazenamento da informação em banco de dados. Fonte: Elaborada pelo autor (2022).	73
Figura 29. <i>Template</i> utilizado para o desenvolvimento do Manual e suas funcionalidades. Fonte: Elaborada pelo autor (2022).	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização	3
1.1.1 A compostagem e o Sesc-SC.....	4
2 REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1 O Método UFSC de Compostagem	6
2.1.1 Arquitetura da leira de compostagem Método UFSC	7
2.1.2 Fase inicial.....	8
2.1.3 Fase termofílica	8
2.1.4 Fase mesofílica	9
2.1.5 Estabilidade e maturação	10
2.1.6 Gestão de resíduos	10
2.2 Urbanização e Resíduos.....	10
2.3 Destinação da Fração Orgânica dos RSU.....	12
2.4 Contaminação Biológica e Compostagem.....	13
2.5 Metais Pesados e Compostagem	14
2.6 Incentivos para a Compostagem e Legislações Municipais em Florianópolis.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Pesquisa Bibliográfica	17
3.2 Pesquisa Documental.....	17
3.3 Estatística Descritiva	18
3.4 Criação da Ferramenta Digital.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1 Legislação.....	19
4.1.1 RSOU, compostagem e agricultura	19
4.1.2 Os diferentes usos agrícolas para o composto de RSOU.....	20
4.1.3 A estruturação da legislação brasileira e a importância das INs	22
4.1.4 IN SDA Mapa nº 35/2006: o uso do composto de RSOU como condicionador de solo.....	27
4.1.5 IN Mapa nº 05/2016: o uso de composto orgânico de RSOU como substrato para plantas	28
4.1.6 IN SDA Mapa nº 61/2020: o uso do composto de RSOU como fertilizante.....	28
4.1.7 O composto de RSOU e a agricultura orgânica.....	34
4.2 O Composto de RSOU, os Limites de Tolerância para Contaminantes e Padrões Mínimos de Qualidade Admitidos na Legislação Brasileira	41
4.3 Resultados de Compostos de RSOU Segregados na Fonte	45
4.3.1 Arsênio	51
4.3.2 Cádmio	52
4.3.3 Cobre e zinco	53
4.3.4 Níquel	55
4.3.5 Chumbo	56
4.3.6 Mercúrio	57
4.3.7 Cromo hexavalente e cromo (total)	58
4.3.8 Selênio	59
4.3.9 Dados discrepantes	60
4.3.10 Coliformes termotolerantes e outros contaminantes biológicos.....	61
4.4 Aptidão para Uso Agrícola das Iniciativas Apresentadas	64
4.5 O Composto Orgânico, sua Heterogeneidade e Amostragem	67

4.5.1 Métodos de teste para o exame de compostagem e composto (TMECC 02.01, 2001) ...	69
4.6 Produto Técnico-Tecnológico	72
5 CONCLUSÕES	75
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, a compostagem se mostra como uma alternativa promissora para a reciclagem do resíduo orgânico, tanto nas propriedades agrícolas quanto em ambientes urbanos. Permite a estabilização da matéria orgânica e o consequente retorno dos nutrientes ao solo, sem prejuízos à saúde humana e ambiental, o que contribui para um ciclo produtivo sustentável.

Falar sobre o gerenciamento dos resíduos orgânicos urbanos é desafiador, tendo em vista seu imenso volume diário produzido, a complexa logística que envolve sua coleta e destinação, sem contar a sensibilização da população para uma correta separação.

Há tempos se fala da importância e da obrigatoriedade da destinação ambientalmente adequada para a fração orgânica dos resíduos, assim como dos recicláveis secos e o consequente aumento da vida útil dos aterros sanitários, mas os obstáculos são imensos e muitas tentativas e erros são postos em prática para validação de alternativas viáveis (BRASIL, 2010).

Das experiências brasileiras com a destinação da fração orgânica dos resíduos urbanos, parte-se da não separação, ou seja, da mistura dos resíduos para encaminhamento aos lixões ou aterros sanitários com todos os problemas conhecidos de sobrecarga, custos elevados, geração de gases de efeito estufa e contaminações ambientais; passa-se pelo tratamento centralizado sem separação na fonte, as chamadas usinas de reciclagem e compostagem (URCs), com todo um processo questionável, que resulta em um produto final de baixa qualidade e segurança; ao tratamento descentralizado, com segregação do resíduo na fonte geradora, tendo este apresentado resultados muito promissores para o aproveitamento agrícola do produto final.

Dentre esses gradientes, encontram-se uma gama de matizes diferenciadas de experiências que buscam uma forma eficiente de aproveitamento da fração orgânica dos resíduos, desde a redução de seu volume e estabilidade para o aterramento até o seu aproveitamento para a agricultura, inclusive para a agricultura orgânica, cuja demanda por insumos para esses sistemas produtivos é alta e a lista das substâncias e produtos autorizados para essa finalidade é restrita. Para fins desse trabalho e que será melhor detalhado e contextualizado adiante, será tomado como exemplo um processo que vem se difundido em território nacional: o Método UFSC¹ de compostagem.

Paralelamente às preocupações ambientais e sanitárias que envolvem a geração e a destinação dos resíduos, assim como as diferentes formas de tratamento disponíveis, existem as legislações que determinam os usos agrícolas para o composto produzido por resíduos sólidos orgânicos. Elas levam em consideração alguns fatores e são divididas em inúmeras normativas. Um dos pontos considerados por essas normativas é a finalidade agrônômica para o composto, ou seja, encontram-se legislações específicas para o uso do composto como condicionador de solo, substrato para plantas, fertilizante orgânico e para a agricultura orgânica.

A origem dos resíduos orgânicos também é levada em conta pelas normativas, a fim de garantir a qualidade e a segurança do produto final, impondo, quando necessário, restrições de uso ou determinadas medidas de segurança para o seu manuseio. Quanto à origem da matéria-prima, o composto pode assumir diferentes classificações, geralmente representadas por letras (Classe A, Classe B e assim por diante) e variam de acordo com a normativa específica, sendo a mais restritiva aqueles compostos produzidos por matéria-prima de origem sanitária ou potencialmente tóxicas.

Além dessas questões, as diferentes normativas que regem o uso do composto orgânico para a agricultura trazem individualmente uma lista de contaminantes que podem ser danosos

¹ Processo desenvolvido a partir de projeto de pesquisa e extensão da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) que dá nome ao método e será apresentado com mais riqueza de detalhes adiante no texto.

ao ser humano ou ao ambiente e seus respectivos limites de tolerância. Dentre esses contaminantes, estão presentes: metais pesados, patógenos, materiais inertes, propágulos de ervas daninhas e organismos fitopatogênicos.

Toda essa complexidade legal existente em torno do uso do composto orgânico acaba por gerar diversas confusões e dúvidas tanto para agricultores quanto para profissionais que atuam no dia a dia com a compostagem ou mesmo com a recomendação do uso do composto. Somado a isso, encontra-se ainda o fato de que essas normativas são revisadas com certa frequência, sendo revogadas ou alteradas, o que forma um verdadeiro quebra-cabeça para aqueles que se aventuram a pesquisar sobre o tema.

Claro que, por um lado, essas revisões são fundamentais e necessárias para que alguns aspectos não se tornem imutáveis ao longo do tempo e, diante de tantos avanços observados por técnicas, processos e pesquisas de diversos atores da sociedade em prol da compostagem e da economia cíclica que proporciona, merecem ser revistas e alteradas, mas, por outro lado, geram muita confusão pela quantidade diferenciada de publicações, sem um local que as relacione ou centralize a informação de maneira clara, acessível e didática.

Ao longo da escrita desta dissertação, duas importantes Instruções Normativas (INs) foram alteradas, a IN SDA Mapa nº 25/2009 e a IN Mapa nº 46/2011, o que reforça a importância da temática aqui apresentada e acredita-se que com grandes avanços para uma maior aceitação sobre o uso do composto orgânico produzido a partir de matéria-prima de origem urbana. Esses resultados fazem parte de um esforço proveniente de diversos coletivos, fruto da evolução de processos e métodos de compostagem, respaldados pela prática, pela técnica e pela ciência, com o objetivo de garantir a geração de produtos seguros para o uso agrícola, inclusive para os sistemas orgânicos de produção.

Este trabalho buscou compreender o estado da arte da legislação brasileira relacionada ao uso do composto de resíduos sólidos orgânicos urbanos (RSOU) para a agricultura, comparando suas atuais revisões com o contexto histórico da compostagem no Brasil. A partir de uma análise local do município de Florianópolis-SC sobre o Método UFSC de compostagem, buscou-se argumentar seu uso seguro e irrestrito, porém com limitações relacionadas à quantidade e à qualidade de material técnico-científico a respeito do monitoramento desse produto.

Teve como objetivo avaliar a qualidade de diferentes compostos produzidos com RSOU, comparando-os aos limites de tolerância para contaminantes regulamentados pela legislação brasileira e desenvolver uma ferramenta digital para auxiliar na coleta de amostras, indicação de parâmetros a serem analisados, interpretação de resultados e armazenamento de dados sobre a qualidade de compostos produzidos a partir dessa matéria-prima.

Como objetivos específicos, buscou-se: i) organizar e apresentar de maneira sistematizada o estado da arte da legislação brasileira que envolve o uso do composto orgânico para a agricultura, por meio de uma interpretação crítica para seu uso na agricultura orgânica; ii) reunir e interpretar diferentes análises de composto produzido a partir de matéria-prima de RSOU, com a indicação de sua aptidão frente aos contaminantes; iii) elaborar um guia para coleta de amostra de composto orgânico; iv) compilar os seus limites de tolerância para contaminantes exigidos nas regulamentações nacionais em uma única planilha; v) elaborar uma calculadora de conformidade para as exigências legais relacionadas aos contaminantes; vi) disponibilizar os resultados alcançados com um banco de dados de acesso livre e gratuito com resultados de análises de composto proveniente de RSOU, em uma plataforma digital interativa e colaborativa.

Espera-se que este trabalho contribua para a orientação de diferentes públicos em como coletar de maneira correta e adequada amostras de composto para serem encaminhadas para análises, fazendo com que os resultados sejam fiéis e representativos; que os resultados gerados sejam robustos e confiáveis; que contribua para um rápido e fácil entendimento sobre quais

parâmetros devem ser analisados, sem gerar lacunas ou gastos desnecessários; que o banco de dados desses resultados possa contribuir para pesquisas futuras sobre diversos aspectos relacionados ao composto produzido com RSOU, como inferir sobre fontes de contaminação, precauções de uso, melhorias de processo, recomendação ou restrição de matérias-primas, elaboração de critérios para análise de risco para uso do composto em agricultura orgânica, entre outros; e, por fim, que contribua para a centralização de informações em torno da qualidade do composto orgânico produzido a partir de RSOU para subsidiar possíveis revisões nas INs e na Portaria que regem o uso desse material para a agricultura.

1.1 Contextualização

A reflexão que tece o fio condutor deste trabalho foi originada a partir de uma doação realizada pelo Hotel Sesc Cacupé² (HSCAC), em 2014, de mais de 150 toneladas de composto orgânico geradas na unidade, por meio da reciclagem de seus resíduos orgânicos, para agricultores da Rede Ecovida de Agroecologia.

O pátio de compostagem do HSCAC existe desde 2012 e contou, para a sua implantação, com a assessoria técnica do Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo (Cepagro). Na época, foi inspirado em um de seus projetos, uma iniciativa premiada chamada de Projeto Revolução dos Baldinhos (PRB).

A Rede Ecovida de Agroecologia é uma das maiores redes de certificação participativa de produtos orgânicos do mundo e abrange produtores dos três estados da região Sul do Brasil e municípios do estado de São Paulo.

Por se tratar da doação de composto produzido com RSOU para agricultores orgânicos certificados, na época desse evento, surgiram algumas polêmicas relacionadas à permissão de uso desse material para a agricultura orgânica. Nesse mesmo momento, se iniciou, por meio de um seminário chamado “Refazendo ciclos”, realizado no HSCAC, uma discussão a respeito de restrições impostas pela legislação da produção orgânica — naquele período, regulamentada pela IN nº 46, de 6 de outubro de 2011 — sobre o uso desse material para as culturas alimentícias que tenham o contato direto do composto com a parte comestível da planta.

Nesse evento, foram apresentadas visões diferenciadas sobre a questão, tendo a participação do Sesc-SC, do Cepagro, da UFSC, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), além de uma plateia de agricultores, pesquisadores, estudantes e profissionais ligados à área da compostagem e agricultura. Sobre esse evento da doação do composto, foi elaborado um vídeo documentário de mesmo nome do seminário³.

A partir dessa experiência consolidada com a gestão de seus resíduos orgânicos, o Sesc-SC passa a representar um modelo de compostagem institucional e contribui com uma série de outros modelos de compostagem existentes no município, como a compostagem residencial e comunitária. Nesse momento, ganha reconhecimento e participa de uma série de atividades e discussões sobre o tema da compostagem no município, no estado e no país.

Em 2017, contribui para a elaboração de um documento chamado **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação**, publicado em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Cepagro. Nele são apresentadas algumas experiências exitosas do município de Florianópolis com o Método

² O Hotel Sesc Cacupé é uma unidade de hospedagem do Serviço Social do Comércio (Sesc), da Administração Regional de Santa Catarina, e fica localizado no município de Florianópolis. O autor desta dissertação desenvolve sua pesquisa de Mestrado vinculado ao cargo de técnico de atividades do HSCAC, responsável pelo pátio de compostagem da unidade e pela coordenação dos trabalhos de educação ambiental e agricultura urbana do estabelecimento.

³ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=bVCzgVnfiTo>.

UFSC de Compostagem e a gestão de resíduos orgânicos de maneira descentralizada em diferentes contextos.

A partir do grupo de trabalho (GT) constituído para a elaboração desse material, surge a discussão interna no MMA, com a parceria de outros profissionais e pesquisadores, o que resulta em um importante marco legal para a compostagem no Brasil: a Resolução Conama nº 481, de 3 de outubro de 2017, na qual são definidos alguns termos e os principais critérios para garantir a qualidade e o controle ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos (BRASIL, 2017c).

1.1.1 A compostagem e o Sesc-SC

O HSCAC passa a gerenciar seus resíduos sólidos orgânicos por meio do Método UFSC de compostagem e recicla cerca de dez toneladas de restos de comida por mês. Ressalta-se, também, que esse foi o primeiro projeto do Sesc-SC a adotar o processo de compostagem, sendo posteriormente replicado para as outras duas unidades de hospedagem do estado: o Hotel Sesc Blumenau e a Pousada Rural de Lages.

O composto gerado no local é utilizado no paisagismo, em um viveiro de produção de mudas e em espaços de cultivo, como a horta agroecológica didática e em uma área com culturas anuais chamada de roça, onde são plantadas mandioca e variedades crioulas de milho. Essa produção agrícola se intensificou a partir de 2017 e tem como principal finalidade demonstrar o fechamento do ciclo do resíduo orgânico, que se transforma em alimento novamente.

Os produtos gerados pela horta são doados aos próprios funcionários do HSCAC em uma feira, e a produção da roça é utilizada como ferramenta de interação com a comunidade local, por meio da produção de farinha de mandioca. Para o milho, enfatiza-se a divulgação dos conceitos sobre sementes crioulas, assim como sua multiplicação e doação.

O volume de resíduos produzidos mensalmente na unidade é originado do restaurante do HSCAC, que chega a produzir 2.500 refeições por dia, para atender a demanda dos hóspedes, do público passante, dos eventos e de mais quatro unidades do Sesc da região. Ao encontro dos objetivos do Sesc em promover um serviço de qualidade a preços acessíveis, a produção de alimentos dos restaurantes dessa instituição tem como missão estimular a adoção de práticas alimentares saudáveis, com ações pautadas nos conceitos de segurança alimentar e nutricional, sendo estes preparados com ingredientes que fornecem maiores benefícios à saúde com qualidade e variedade (SESC, 2020).

Ainda que a produção de alimentos do HSCAC não tenha a finalidade de atender à grande demanda de refeições produzidas diariamente, percebe-se que existe um potencial alinhado às diretrizes dos serviços de alimentação apresentados, tendo em vista o volume de composto orgânico produzido mensalmente, a disponibilidade de área para cultivo, a mão de obra e o maquinário já existentes no estabelecimento. Acredita-se que a produção local de parte das hortaliças oferecidas pelo restaurante agregaria valores aos serviços prestados, traria ganhos financeiros, de marketing e qualitativos para a unidade como um todo, principalmente quando pensada em um sistema orgânico de produção certificado.

Dentre outras ações desse projeto, estão previstas doações de mudas e de composto para incentivar a agricultura urbana da região e a conscientização desse processo cíclico de reciclagem da fração dos resíduos gerados nas cidades. São realizadas oficinas gratuitas e abertas ao público que abordam diferentes temáticas, como: compostagem, produção de mudas, elaboração de horta, oficinas ligadas à alimentação saudável e à produção de alimentos, sendo um interessante espaço formativo e de troca de saberes entre os participantes.

Estima-se que 80% do composto produzido sejam doados e destinados a ações que envolvem desde a entrega de pequenos pacotes como brindes para hóspedes e visitantes, quantidades maiores para incentivar a agricultura em quintais e até mesmo em apartamentos,

para hortas comunitárias em escolas, postos de saúde, conselhos comunitários e condomínios, até doações de grandes quantidades para agricultores familiares. Percebe-se, pelo fluxo diário de pessoas que coletam material para seus cultivos, que o projeto assume uma importância para o cenário da agricultura urbana no município, tendo em vista que o acesso aos insumos agrícolas é um limitante para o desenvolvimento da agricultura nos espaços urbanos.

Além das ações internas apresentadas, esse projeto se relaciona com outras iniciativas semelhantes, constituindo uma rede de articulação para a promoção da compostagem e agricultura urbana de Florianópolis, com envolvimento da sociedade civil, organizações não governamentais (ONGs), coletivos independentes, empresas privadas, poder público municipal, entre outros atores, chamada de Rede Semear Floripa. Assim como as diferentes ações que buscam as doações de composto no HSCAC para suas hortas, observa-se que a maioria das atividades de agricultura urbana e periurbana existentes na região está preocupada com a qualidade dos alimentos produzidos, sendo alta a demanda por conhecimentos que envolvem os sistemas de cultivo orgânico, agroecológico e livres de agrotóxicos (TRIVELLA; ANDRADE, 2019).

Em suma, os trabalhos desenvolvidos no HSCAC expressam o potencial que o processo da compostagem revela em ser algo muito além da destinação final ambientalmente adequada para essa fração dos resíduos: um objeto de transformação no modo de pensar urbano, que envolve o trabalho coletivo, a educação ambiental, o fazer e o olhar para alimentação por meio da relação com a sua produção e toda a cadeia logística que a rodeia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Método UFSC de Compostagem

Iniciado em 1994, em um projeto de pesquisa e extensão da UFSC, com a intenção de reciclar os restos de comida das lanchonetes e dos cafés presentes na unidade, o pátio de compostagem da universidade ficou em atividade por 17 anos, sendo palco de diversas pesquisas, objeto de estudo para a elaboração de trabalhos de conclusão de curso (TCCs) de graduação, dissertações e teses. Influenciou a vida de profissionais que hoje atuam no campo de trabalho e multiplicam esse processo no município e em outras cidades do estado e do país.

Por ser um método de baixo custo e possível de ser empregado em diferentes contextos, Florianópolis abriga hoje uma série de iniciativas, desde a compostagem domiciliar (em apartamentos e casas), a compostagem comunitária (diferentes modelos de gestão comunitária de resíduos orgânicos) até a compostagem institucional (em escolas, postos de saúde, iniciativas públicas e privadas de maior porte).

Como consequência dessas ações, observa-se o crescimento da agricultura urbana de base agroecológica no município, impulsionado pela oferta de insumos gerados por esse processo de reciclagem, fazendo com que Florianópolis venha se destacado nacionalmente por suas práticas de compostagem e agricultura urbana.

As bases conceituais desse método foram descritas e consolidadas em uma publicação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Solos chamada “Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos” (INÁCIO; MILLER, 2009), na qual os autores detalham os principais aspectos para promover o conhecimento sobre compostagem no Brasil e difundir técnicas de baixo custo, capazes de serem adaptadas às mais diversas condições.

Essa obra traz um arcabouço teórico e técnico muito aprofundado sobre a compostagem, especialmente voltado para as experiências desenvolvidas e validadas no pátio de compostagem da UFSC. Foi descrita e citada em diversos trabalhos acadêmicos posteriores ao seu lançamento, sendo o material mais completo sobre esse método, contribuindo ainda para o desenvolvimento de trabalhos voltados à divulgação do processo da compostagem com linguagens mais simples e didáticas, como cartilhas, manuais, apostilas, entre outros.

Dentre essas publicações, o documento já mencionado **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação** (BRASIL, 2017b) será utilizado, a seguir, com a obra de Inácio e Miller (2009) para a descrição do Método UFSC de compostagem. Esses dois materiais se complementam em termos técnicos e didáticos e aquele conta com a participação do Sesc-SC para a sua elaboração, assim como a apresentação detalhada da compostagem no HSCAC como modelo de compostagem institucional. Ambas as publicações podem ser utilizadas como materiais complementares para aprofundamento sobre o tema.

A definição de compostagem trazida por Inácio e Miller (2009) está baseada em processos aeróbios e termofílicos, sendo, portanto, um processo de biodecomposição da matéria orgânica, dependente de oxigênio e com geração de calor.

Em outras palavras e como complemento para essa definição por outros autores:

Compostagem é o processo de degradação controlada de resíduos orgânicos sob condições aeróbias, ou seja, com a presença de oxigênio. É um processo no qual se procura reproduzir algumas condições ideais (de umidade, oxigênio e de nutrientes, especialmente carbono e nitrogênio) para favorecer e acelerar a degradação dos resíduos de forma segura (evitando a atração de vetores de doenças e eliminando patógenos). A criação de tais condições ideais favorece que uma diversidade grande de macro e micro-organismos (bactérias, fungos) atuem sucessiva ou

simultaneamente para a degradação acelerada dos resíduos, tendo como resultado final um material de cor e textura homogêneas, com características de solo e húmus, chamada composto orgânico (BRASIL, 2017b, p. 25).

Nesse sentido, toda forma de transformar os resíduos orgânicos em composto orgânico, de maneira controlada e com a presença de oxigênio, pode ser chamada de compostagem, porém a combinação de diferentes fatores — como temperatura, umidade, aeração, entre outros — dará origem aos diferentes métodos de compostagem existentes (BRASIL, 2017b).

2.1.1 Arquitetura da leira de compostagem Método UFSC

O Método UFSC caracteriza-se por compostagem termofílica, em leiras estáticas e de aeração passiva, ou seja, dos principais elementos que envolve esse método de compostagem e o diferencia de outros está na arquitetura das leiras, sendo que esta, permite minimizar os revolvimentos, mas com manutenção de oxigenação, temperatura e aeração natural.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas uma leira de compostagem é definida como a forma de disposição de material em biodegradação, de seção transversal, triangular ou trapezoidal, contínua no sentido longitudinal. Enquanto os montes ou pilhas, são aquelas no formato aproximadamente cônico (ABNT NBR 13591, 1996, p. 3).

Diferentemente de outros métodos, as leiras de compostagem do Método UFSC não precisam ser reviradas constantemente, pois a própria organização de sua estrutura (arquitetura), somadas à porosidade e baixa densidade provocada pela mistura de materiais carbônicos, juntamente ao calor natural formado em seu interior, favorecem a entrada de oxigênio de forma passiva, por meio da formação de correntes de convecção do ar (Figura 1).

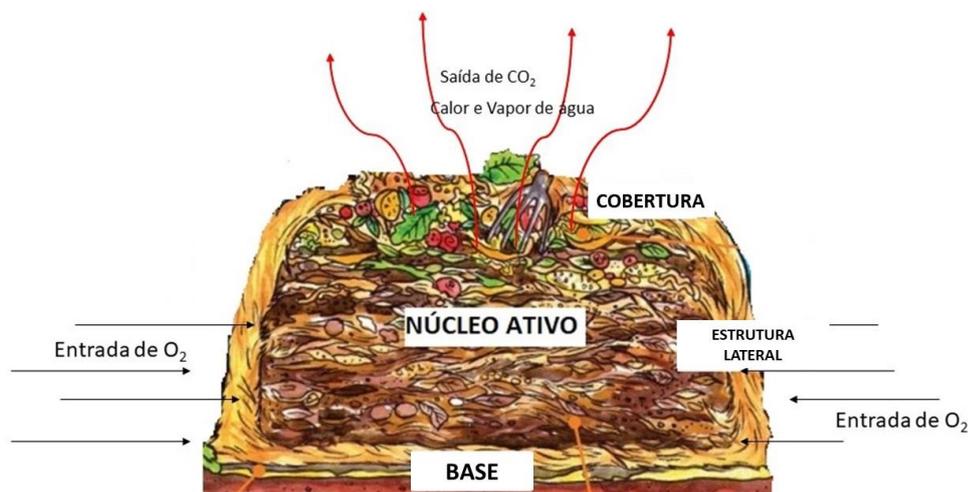


Figura 1. Esquema da aeração natural do Método UFSC de compostagem e sua arquitetura. Sobre a arquitetura da leira, destacam-se as camadas: base – camada inicial montada ao nível do solo, espessa, de material poroso estruturante, exemplos: cepilho de poda, palha de capim ou restos culturais, galhos, restos de poda de árvores; estrutura lateral – material que sustenta a composteira, permite a entrada de ar por seus poros e mantém o isolamento da área externa; cobertura – camada de palha que permite a passagem do ar quente produzido no interior do núcleo ativo; núcleo ativo – local de intensa atividade biológica onde ocorre a biodecomposição do material orgânico e gera calor (55-75 °C, aproximadamente). Fonte: Adaptada de Brasil, 2017b.

Esse aspecto da aeração passiva, ou natural, é citado por outros autores como uma característica positiva quando comparada a outros métodos, por permitir mão de obra reduzida, menor custo de operação e, conseqüentemente, uma maior aceitação para uso da compostagem em espaços urbanos e em propriedades rurais (BÜTTENBENDER, 2004; TEIXEIRA, 2012).

Os principais agentes de transformação do material orgânico nesse processo de compostagem são bactérias, fungos e actinomicetos, cada qual com uma importância e ação em determinadas etapas específicas do desenvolvimento da compostagem, sendo que a compostagem é marcada pela alternância contínua de comunidades selecionadas pela mudança das condições ambientais no interior da composteira, que, por sua vez, são determinadas pelas atividades anteriores (ecologia microbiana) (INÁCIO; MILLER, 2009). Entende-se que fatores como disponibilidade de energia e nutrientes, pH, umidade, oxigênio disponível e temperatura são os principais elementos envolvidos nas comunidades microbianas presentes em cada fase e que será descrita a seguir.

2.1.2 Fase inicial

A fase inicial da compostagem, que é determinada desde a montagem da composteira até atingir temperaturas iguais ou superiores aos 45 °C, predomina uma intensa atividade microbiológica e a expansão de colônias microbianas. É recomendável que essa fase seja curta, em torno de 24 horas, para que a composteira comece a formar as correntes de convecção (aeração) e que já sejam controlados fatores indesejados, como as larvas de moscas, decorrentes da exposição ao calor. Inácio e Miller (2009), assim como observado na prática, citam períodos mais curtos, de 15 horas, e período mais longos, de 3 dias, para ultrapassar essa temperatura dos 45 °C.

Um ponto a se destacar nessa fase, muito utilizado nos pátios de compostagem que utilizam o Método UFSC, é a utilização da inoculação de populações microbiológicas, por meio da aplicação de materiais que apresentam colônias ativas de microrganismos. São os chamados “inoculantes”, introduzidos no momento inicial da montagem da composteira, apenas com a primeira camada de resíduos. Pode ser utilizado o próprio composto maturado ou não, o lixiviado (líquido percolado das leiras de compostagem), os esterco curtidos, as serrapilheiras, a terra preta, entre outros materiais.

Segundo Inácio e Miller (2009), o uso de inoculantes é controverso na literatura, tendo em vista que os próprios materiais orgânicos utilizados na compostagem já têm uma quantidade de microrganismos necessários, chamados de microrganismos nativos, mas recomendam o uso do próprio composto como um excelente inoculante auxiliar, tendo demonstrado ótimos resultados empíricos, elevando a temperatura inicial da compostagem para temperaturas acima de 45 °C em menos de 24 horas. A função do inoculante é aumentar o número de Núcleos Formadores de Colônias (NFC).

2.1.3 Fase termofílica

A partir do momento em que as temperaturas ultrapassam os 45 °C e tendem a se manter entre 50 e 65 °C (fase termofílica), há o predomínio de grupos bacterianos termotolerantes. Nessa etapa, poucos organismos têm a capacidade de suportar essas temperaturas elevadas, em especial aqueles patogênicos, etapa de suma importância para o processo conhecido como ou “higienização do composto” (BRASIL, 2017c).

Nesse momento, com elevação da temperatura, as correntes de convecção do ar gerada pela diferença de densidade entre o ar quente (menos denso) e o ar frio (mais denso) permitem a oxigenação natural no interior da compostagem. No momento em que o ar quente sobe para camadas mais altas da leira de compostagem, acaba por extrapolar os limites da cobertura de

palha, permeando seus poros e atingindo a atmosfera, com a liberação de gases diversos, destacando-se vapor de água e dióxido de carbono. Com a saída do ar quente, o ar frio, rico em oxigênio, adentra no interior da leira pelos poros das paredes e da cama, reforçando-se aqui a importância da arquitetura e porosidade desse método de compostagem.

A fase termófila da compostagem pode ser observada com diferenças em relação às suas faixas de temperaturas. Inácio e Miller (2009) apontam algumas questões que merecem reflexões e estudos mais aprofundados. Na faixa de temperatura dos 50 °C, indicam que ocorre a maior diversidade de microrganismos, que começa a decrescer a partir dos 60 °C, sendo as taxas ótimas de decomposição entre essas temperaturas dos 50 aos 60 °C. Entretanto, sabe-se que a mortandade de alguns patógenos para humanos e patógenos de plantas ocorre a partir de 55 °C, e a inviabilização de propágulos de plantas daninhas ocorre a partir de 63 °C.

Apesar de o Método UFSC garantir que a leira de compostagem atinja temperaturas termófilas sem a necessidade de mistura frequente do material, sabe-se que a temperatura não é homogênea no interior da composteira (Figura 2), fazendo-se necessário o seu monitoramento e adequação de manejo, caso necessário, para que o material orgânico seja exposto ao tempo e temperatura necessário para sua higienização.

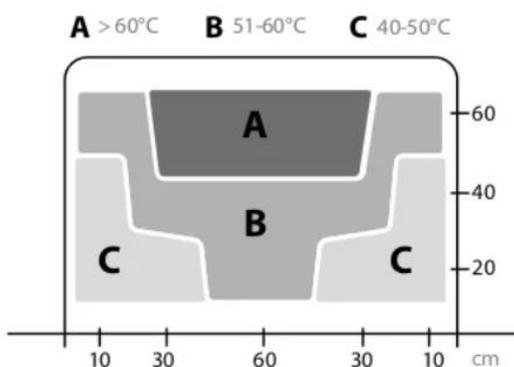


Figura 2. Esquema da distribuição da temperatura no interior da composteira Método UFSC. Fonte: Teixeira, 2009 *apud* SILVA *et al.*, 2017, p. 29.

Alguns pontos ainda destacados por Inácio e Miller (2009) relacionados às temperaturas muito elevadas está a seleção demasiada dos grupos de organismos termotolerantes. A decomposição muito acelerada pode colapsar o substrato orgânico, dificultando fortemente a oxigenação e a alta volatilização de formas amoniacais, diminuindo a concentração de nitrogênio no produto final e, por consequência, reduzindo suas qualidades agrônômicas.

Essas temperaturas elevadas no interior da leira acabam por contribuir na perda de umidade do material, fato que diminui significativamente a geração de líquido percolado por lixiviação e reduz grandes volumes da matéria orgânica pela perda de vapor de água e dióxido de carbono (BRASIL, 2017b; SILVA *et al.*, 2017; INÁCIO; MILLER, 2009; TEIXEIRA, 2009).

2.1.4 Fase mesofílica

Após o término do período de uso de uma leira, ou seja, ao parar a deposição de novas cargas de material orgânico, gradativamente as reações de degradação da matéria orgânica são reduzidas, fato que acarreta também a diminuição da temperatura (<45°C) e a mudança da população microbiana. Enquanto na fase termofílica há o predomínio de populações bacterianas, na mesofílica os fungos e os actinomicetos têm papel igualmente relevantes. Esses grupos de organismos desenvolvem um papel fundamental para a degradação de substâncias

orgânicas mais resistentes, como a celulose, a lignina e a hemicelulose (INÁCIO; MILLER, 2009).

2.1.5 Estabilidade e maturação

Entende-se por material estabilizado aquele que se apresenta em condições de baixa atividade biológica de microrganismos decompositores, seja por atingir uma redução na proporção de substâncias de fácil decomposição, como açúcares solúveis, amido e proteínas, ou por alguma condição ambiental (baixa umidade, baixa temperatura, pH muito elevado ou reduzido). A estabilidade do composto pode ser mensurada pelas emissões de CO₂ ou NH₃, sendo o dióxido de carbono decorrente da respiração microbiana e a amônia um subproduto inicial do processo de decomposição, originada da degradação de aminoácidos e proteínas e sua nitrificação, transformando o N que predominava em formas como aminas, para as formas amoniacais (OLIVEIRA et al., 2014; LEAL, 2020).

A instabilidade do material está relacionada à presença de odores, ao aquecimento e ao consumo de oxigênio, o que pode acarretar em efeitos indesejáveis no transporte, armazenamento e também causar prejuízos aos solos e às plantas, por consequência da anaerobiose, formação de substâncias tóxicas e imobilização de nutrientes (LEAL, 2020).

Já na fase de maturação, a atividade microbiana é baixa e ocorre grande formação de substâncias húmicas, com teores muito baixos de decomposição. A maturação pode ser mensurada pela relação carbono/nitrogênio (C:N), pela taxa de crescimento das plantas, pela capacidade de trocas de cátions (CTC), pela relação ácidos húmico e ácidos fúlvicos e por testes biológicos de toxicidade.

2.1.6 Gestão de resíduos

As ações realizadas na gestão dos resíduos orgânicos antecedentes ao seu processamento na compostagem, como a segregação dos resíduos na fonte geradora e a sensibilização das pessoas envolvidas nesse processo para uma correta separação, são de suma importância para a garantia do produto final e contempladas também no Método UFSC de compostagem.

Dentre elas, destacam-se estratégias como: i) a separação na fonte geradora do resíduo, ou seja, a elaboração de diferentes maneiras, independentemente da escala da iniciativa, para a separação adequada da fração orgânica que será encaminhada à compostagem, evitando-se a sua mistura com diferentes materiais (plásticos, vidros, esponjas sintéticas, talheres, entre outros contaminantes); ii) a identificação, a caracterização e o dimensionamento dos resíduos orgânicos que serão compostados devem ser realizados previamente para garantir a qualidade do processo e a sua logística (ex.: resíduos domésticos, podas de jardim, aparas de grama, resíduos da indústria, lodos de estação de tratamento de água e esgoto, entre outros resíduos); iii) o acondicionamento e peso dos contentores onde os resíduos são armazenados temporariamente para não dificultar o seu manuseio pelo operador; iv) planejar diferentes estratégias de ação para sensibilização dos atores envolvidos no processo, que permita uma coleta eficiente e de material de qualidade, o tratamento (processo de compostagem em si) eficiente e bem executado, sem gerar impactos de vizinhança, atração de vetores, mau cheiro e que não prejudique a saúde do operador e o meio ambiente; e v) a articulação e o planejamento para destinação do composto pronto.

2.2 Urbanização e Resíduos

Desde a década de 1960, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil sofre uma inversão na distribuição de sua população que se concentra hoje,

predominantemente, em áreas urbanas (BRASIL, 2015). Em um artigo publicado pela Embrapa (FARIAS *et al.*, 2017), percebe-se que esses dados são ainda mais intensos, pois, por meio de ferramentas de geotecnologia, observa-se que eles extrapolam aqueles indicadores formais utilizados pelo IBGE, ou seja, muitas áreas consideradas rurais por decretos municipais já foram conurbadas ou assumem características urbanas, resultando em 84,3% da população brasileira residentes nesses limites.

Tal resultado evidencia uma preocupação tanto pelos problemas gerados a partir do adensamento populacional dos centros urbanos quanto sobre questões ligadas à segurança alimentar e nutricional brasileira. Desses 15,7% apontados como residentes em áreas rurais, existem aqueles que simplesmente residem nesses zoneamentos e aqueles que se dedicam às atividades agropecuárias, seja por extensas áreas produtoras de *commodities*, seja pelas pequenas propriedades de produção de alimentos diversificados, classificados como agricultores familiares e não familiares. Dentro desses grupos, ainda existem aqueles que produzem em modelo convencional, representados pelo uso de intensa mecanização, agrotóxicos, insumos de síntese química, sementes geneticamente modificadas e uma pequena fração, representada pelos sistemas orgânicos de produção.

De acordo com o Censo Agro realizado pelo IBGE em 2017, a agricultura familiar apresentou uma queda de 9,5% em número de estabelecimentos e em 2,2 milhões de postos de trabalho, quando comparada ao último levantamento realizado em 2006. A proporção entre as áreas ocupadas pela agricultura familiar e aquelas vinculadas ao agronegócio é representada por 23% e 77%, respectivamente. Já o número de estabelecimentos é invertido: 77% das propriedades são representados pela agricultura familiar e 23% pela não familiar (BRASIL, 2017a).

Segundo um trabalho apresentado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (LIMA *et al.*, 2020), em 2017, a área agrícola ocupada pela produção orgânica no Brasil ultrapassou 1,13 milhão de hectares, o que representa apenas 0,4% da área total agricultável no país. Essa pesquisa apresenta ainda que a área ocupada pela agricultura orgânica atingiu uma média de crescimento de 2% ao ano no país, no período entre 2000 e 2017. Em pesquisa realizada pela Associação de Promoção dos Orgânicos, ao analisar o perfil de consumo de orgânicos nos últimos trinta dias da população brasileira, identifica um aumento de 63% no período entre 2019 a 2021 e de 106% entre 2017 a 2021, o que demonstra um mercado promissor e atrativo para os agricultores familiares (ORGANIS, 2021).

Quando se pensa nos modelos agrícolas de produção, principalmente relacionados aos fertilizantes utilizados, o Brasil se encontra em uma delicada situação. Desde a adoção da prática de uso de fertilizantes sintéticos para a agricultura, é crescente o seu consumo, sendo registrado o valor de mais de 36 milhões de toneladas em 2019. Destas, cerca de 29 milhões de toneladas foram importadas (ANDA, 2019), dado que demonstra uma dependência do mercado externo, flutuações de valores ocasionadas pelo balanço comercial e custos elevados para o agricultor.

Em contrapartida, o aproveitamento de resíduos orgânicos na propriedade agrícola, assim como aqueles oriundos de ambientes urbanos, quando manejados de forma adequada, assume um potencial para se transformar em insumos para a agricultura, favorecer o retorno dos nutrientes aos solos, reduzir custos ao produtor, dentre outras diversas vantagens para os centros urbanos, como serão discutidas a seguir. Transformar os RSOU em composto favorece a agricultura de proximidade àqueles locais onde a população brasileira tende a se concentrar.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), o Brasil produziu 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) em 2018. Destas, 72,7 milhões foram coletadas e 6,3 milhões não foram recolhidas em seu local de geração. Desse total, 59,5% ou 43,3 milhões de toneladas foram destinados para aterro sanitário e 29,5 milhões enviadas para aterros controlados ou para lixões a céu aberto. Esse relatório

aponta que 51% do montante total de RSU correspondem à fração orgânica, totalizando 40,29 milhões de toneladas de resíduos orgânicos que ainda são enviadas para aterros e lixões. Para gerenciar toda essa logística de coleta e destino, estima-se que o mercado de limpeza urbana movimentou o equivalente a R\$ 28,1 bilhões no país durante esse período (ABRELPE, 2018/2019).

Referência para a disposição final ambientalmente adequada, a Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil, é a mais citada em trabalhos científicos quando o tema da compostagem ou reciclagem é abordado e considerada um dos marcos legais mais importantes da legislação brasileira relacionado ao tema dos resíduos, na qual se esperava grandes mudanças logísticas para a destinação final dos RSU. Por essa política, os estados e municípios deveriam elaborar os seus planos de gerenciamento integrado de resíduos sólidos, adotar práticas e metas para desviarem dos aterros sanitários os materiais com potencial de reciclagem (BRASIL, 2010).

2.3 Destinação da Fração Orgânica dos RSU

Pires e Ferrão (2017), ao analisarem o estado da arte da reciclagem dos resíduos orgânicos pela compostagem, observam que, em âmbito federal, as legislações e os decretos para fertilizantes destinados à agricultura, bem como as políticas públicas pertinentes ao tema, tratam de forma nítida e prioritária a destinação final dos resíduos orgânicos à compostagem em detrimento aos aterros sanitários. Já na esfera estadual os autores observam uma lacuna: apenas 55% das políticas estaduais de resíduos sólidos existentes abordam de forma prioritária a questão da compostagem.

Para Wigand *et al.* (2019), a compostagem, além de representar uma destinação ambientalmente adequada para a fração orgânica dos resíduos urbanos, contribui para a manutenção e o prolongamento da vida útil dos aterros sanitários, sendo importante sua descentralização, o desenvolvimento de políticas públicas e o estabelecimento de parcerias público-privadas para o tratamento dos RSOU.

O prolongamento da vida útil dos aterros sanitários por meio do desvio dos RSOU é abordado também por Silva, Santos e Berton (2017): eles apontam que, nas proximidades de grandes metrópoles paulistas, os aterros sanitários caminham para a saturação, o que contribui para o setor público buscar alternativas economicamente sustentáveis para a disposição final dos resíduos urbanos. Para esses autores, uma das principais ações diz respeito à maximização da reciclagem e ao reaproveitamento desses resíduos, que incluem o retorno da fração orgânica do lixo pelo processo de compostagem e o aproveitamento na agricultura urbana e rural como condicionador das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo. Entretanto, observam que há uma redução no número de URCs no país, resultando em apenas 1,6% do aproveitamento do RSOU para essa destinação.

Um importante ponto para o uso de composto na agricultura oriundo dos processos de compostagem de RSOU é a questão do processo logístico de coleta e métodos de tratamento. A transformação do resíduo orgânico em adubo é muito conhecida e praticada pela humanidade há milhares de anos, porém realizar essa tarefa em larga escala, com os números trabalhados hoje nos espaços urbanos, é um desafio que envolve logística, estratégia e que seja economicamente viável. Essa busca por soluções tecnológicas e processuais resulta em diferentes formas de tratamento existentes atualmente no cenário da compostagem brasileira que, por fim, gera produtos de diferentes qualidades.

Dos métodos de compostagem apresentados por Silva, Santos e Berton (2017) no estado de São Paulo, as URC, consideradas sistemas de tratamento centralizados, apresentaram resultados qualitativos do produto final muitas vezes insatisfatórios para uso agrícola, devido, principalmente, à inexistência de segregação dos resíduos na fonte geradora ou por processos

ineficientes de coleta seletiva, resultando em material contaminado, sendo destinado aos aterros.

Para Siqueira e Abreu (2016), durante a década de 1980, houve incentivo financeiro, por parte do Estado, para a implantação de URC em municípios brasileiros, com a perspectiva de tratar centralizadamente os RSOU, porém, segundo esses autores, muitas delas nem chegaram a entrar em atividade e outras foram fechadas por questões ambientais inapropriadas. Das que continuaram ativas, algumas produziam compostos contaminados com metais pesados e materiais inertes, devido à falta de cuidado da coleta diferenciada.

Além disso, as usinas causam conflitos com a vizinhança devido aos fortes odores, e por isso são, em sua maioria, afastadas dos centros urbanos, o que gera elevados custos para o transporte do material. Na década de 1990, portanto, o resultado desse modelo centralizado de gerenciamento de resíduos orgânicos criou um trauma para a gestão pública municipal brasileira e foram gradativamente desativadas e o resíduo orgânico encaminhado para o aterro sanitário, limitando-se hoje a poucas unidades.

Em contrapartida, os autores afirmam que o modelo de gestão descentralizada possibilita um envolvimento comunitário, facilita a segregação da fração orgânica do restante dos resíduos, possibilita o processamento próximo às áreas de geração e reduz os custos. Como resultado, o composto produzido adquire melhores características agrônômicas e é isento de contaminantes e organismos patogênicos, promovendo, assim, a agricultura urbana (agricultura de proximidade). Tais experiências vêm sendo replicadas no Brasil, trazem um novo olhar para a compostagem, com a mudança paradigmática da gestão centralizada para sua descentralização (SIQUEIRA; ABREU, 2016).

Para Inácio e Miller (2009), a compostagem, por ser uma biotecnologia ambiental, traz soluções integradas para problemas rurais e urbanos, com benefícios para esses dois ambientes, entretanto, exemplos de métodos malsucedidos de compostagem de resíduos orgânicos também são comuns, como as experiências das usinas de compostagem que se difundiram pelo Brasil em determinado período. Entretanto, novos métodos de baixo custo em aplicação no país, têm se mostrado eficientes e permitido o aumento da reciclagem municipal em curto espaço de tempo.

Dentre os cuidados a serem tomados na gestão de resíduos sólidos orgânicos urbanos a partir da compostagem e que, fortemente influenciam as restrições de uso adotadas para o composto proveniente dessa matéria-prima para uso agrícola, em especial para a agricultura orgânica, associada ainda às experiências apresentadas acima sobre as URCs, estão as questões sanitárias relacionadas à contaminação do material.

Materiais, como vidros, plásticos, metais, perfurocortantes, patógenos e metais pesados, são alvos do monitoramento e qualidade que os compostos orgânicos devem atender para uso agrícola, sendo estes previstos por legislações específicas. A segregação do material na fonte geradora é uma ação que deve ser prevista na gestão dos RSOU para a compostagem, eliminando-se grande parte do problema com contaminantes que pode surgir ao longo do processo. Em relação aos materiais inertes, soluções físicas, como o peneiramento, podem contribuir significativamente para eliminação desse problema. Os contaminantes químicos (metais) e biológicos trazem uma preocupação maior, pois, além de não serem perceptíveis a olho nu, podem causar danos em várias etapas do processo.

2.4 Contaminação Biológica e Compostagem

Em relação aos fatores biológicos, como aqueles causadores de doenças ou tóxicos ao homem ou animais e fitopatógenos, podem crescer e se desenvolver na matéria orgânica estabilizada ou não. As fontes de contaminação desses organismos podem ser as mais variadas nos ambientes urbanos, sendo que a compostagem pode eliminar ou reduzir a níveis seguros a

presença de diversos patógenos no composto final por duas principais vias: 1) manutenção da temperatura acima de 55 °C por longos períodos; 2) o antagonismo microbiano via antibióticos (INÁCIO; MILLER, 2009).

Ao analisar o tratamento de lodo de esgoto por meio da compostagem pelo Método UFSC, Teixeira (2012) constatou que o material produzido pode ser utilizado para uso agrícola, entretanto com algumas ressalvas de manuseio e uso previstas por legislação, tendo em vista a observação de alguns patógenos que persistiram ao tratamento térmico e biológico das leiras, mesmo após o tempo de exposição à temperatura indicado na literatura. Esse fato pode ter ocorrido por sítios de anaerobiose na leira de composto que impediram localmente a ascensão da temperatura ou também pelo recrescimento dos patógenos durante o processo de compostagem ou maturação do composto.

Apesar da utilização de outro método de compostagem, Vasconcelos (2019) aponta que há indícios de organismos patogênicos que persistem em composto produzido por RSOU em experimentos realizados em Belo Horizonte. Sugere tratamentos auxiliares, como a solarização do composto pronto para garantir a segurança de uso e manuseio. Nesse caso, foi utilizado o Método Windrow de compostagem, que prevê o revolvimento frequente das pilhas de composto, como orientação para garantir sua homogeneização.

Por outro lado, é sabido também, que uma gama de microrganismos presentes no composto, representam funções antagonistas para outros fitopatógenos de solo, como, por exemplo *Trichoderma* spp. (BRITO, 2009) sendo a utilização de tratamentos térmicos auxiliares para a redução de patógenos, prejudiciais a essas comunidades.

Em uma revisão de literatura muito aprofundada sobre a permanência de patógenos em compostagem e as indicações de duas regulamentações — a Agência Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e o Conselho Canadense de Ministros de Meio Ambiente (CCME) —, Wichuk e McCartney (2007) apresentam uma série de trabalhos que encontraram organismos patogênicos em leiras e pilhas de composto, mesmo que a operação estivesse dentro dos padrões estabelecidos pelas normativas.

Andrade (2020), ao analisar o processo de co-compostagem de resíduos de banheiro seco com excretas humanas, também identificou o recrescimento de organismo patogênico no produto final, mas sugere que isso possa ter ocorrido pela falta de homogeneização do material depositado, assim como da temperatura em todas as partículas da composteira.

Nesse sentido, entende-se que há uma preocupação em monitorar os aspectos biológicos e seus riscos eminentes que podem provocar à saúde humana e ao ambiente, mas tomadas algumas medidas — como os cuidados com manipulação e introdução de determinadas matérias primas (segregação na fonte) e, caso necessário, o uso de práticas complementares para tratamento auxiliar —, o composto ainda pode atingir aqueles padrões exigidos pela legislação que permitem seu uso seguro para a agricultura.

2.5 Metais Pesados e Compostagem

Outro ponto de relevante preocupação para o composto produzido a partir de matéria-prima urbana são os metais pesados. Estudos apontam o composto orgânico como um ótimo material para remediação de solos contaminados por metais, por sua capacidade de complexar e imobilizar, por meio da matéria orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos), esses elementos. Em pequenas quantidades, alguns metais pesados desempenham papéis importantes na fisiologia de animais e vegetais, sendo, nessas condições, chamados de micronutrientes ou mesmo nutrientes. O acúmulo ou concentrações elevadas desses elementos no organismo pode causar doenças e distúrbios fisiológicos.

A presença dos metais pesados no composto está relacionada à contaminação existente na fonte geradora dos resíduos. Dentre esses elementos, alguns deles merecem destaque pelo

fato de serem tóxicos e carcinogênicos e por poderem acumular em plantas e partes de uso alimentícios, sendo eles: cobre (Cu), zinco (Zn), cromo (Cr), mercúrio (Hg), cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e arsênio (As) (INÁCIO; MILLER, 2009; SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2016).

Esses mesmos autores relatam que as principais fontes de metais pesados presentes no material orgânico utilizado para fazer a compostagem são: materiais não orgânicos do resíduo urbano, poluição atmosférica, despejos industriais, agrotóxicos, fertilizantes fosfatados e esterco de animais monogástricos (aves e suínos) pelas altas concentrações de Cu e Zn presente nas rações.

Uma vez introduzidos na rota da compostagem, esses elementos estarão presentes no produto final, sendo que ainda não existe tecnologia eficiente para remover esses metais pesados do material orgânico. A única forma de prevenir essa contaminação é localizar a origem e tomar ações para preveni-la, sendo a questão da segregação na fonte uma estratégia eficiente.

Apresentam ainda resultados de outros autores que compararam a concentração de metais pesados encontrados em composto orgânico produzido com resíduos urbanos não segregados na fonte em cidades grandes e menores. O uso de composto produzido por resíduos urbanos no Brasil, em relação à acumulação de metais pesados no solo e plantas cultivadas, apontou para níveis dentro dos limites permitidos por legislação e sugere que os metais pesados não serão o principal limitante nas estimativas de aplicação do composto em solos agrícolas (INÁCIO; MILLER, 2009).

2.6 Incentivos para a Compostagem e Legislações Municipais em Florianópolis

Impulsionada pelos avanços legais apresentados nacionalmente e por adaptações positivas à logística e aos processos de compostagem proporcionados pelo Método UFSC de compostagem, Florianópolis é um município brasileiro que avança em alguns aspectos rumo ao desvio da fração orgânica dos resíduos do aterro sanitário para a compostagem e a consequente promoção de ações e políticas públicas para a agricultura urbana e periurbana.

A Lei nº 10.501, de 8 de abril de 2019 (Lei da Compostagem), que dispõe sobre a obrigatoriedade da reciclagem de RSO no município de Florianópolis, proíbe o envio de resíduos orgânicos para os aterros sanitários e para a incineração. Propõe destinos ambientalmente adequados, priorizando a compostagem descentralizada, com incentivo às iniciativas comunitárias e à associação de catadores. Cria meta gradativa até 2030 para que 100% da fração orgânica seja desviada para a compostagem (FLORIANÓPOLIS, 2019). Essa legislação se torna um marco a âmbito nacional, sendo o primeiro município brasileiro a criar uma legislação específica para o tema.

O Decreto nº 18.646, de 4 de junho de 2018, que institui o Programa Florianópolis Capital Lixo Zero, com a finalidade de promover uma efetiva separação e valorização dos resíduos sólidos urbanos no município, traz como meta o desvio do aterro sanitário de 90% dos resíduos secos e 90% dos resíduos orgânicos enviados para o aterro sanitário até o ano de 2030 (FLORIANÓPOLIS, 2018).

De acordo com a Autarquia de Melhoramentos da Capital (Comcap) sobre a caracterização dos resíduos domiciliares coletados em Florianópolis, 35% correspondem à fração orgânica, divididos em 24% de restos de alimentos e 11% de resíduos verdes, como podas, aparas de grama e varrição de áreas públicas. Segundo a empresa, são coletadas 212 mil toneladas de resíduos por ano no município, sendo a fração orgânica 74 mil toneladas desse montante que, se desviadas para outros destinos, poderia gerar uma economia de, aproximadamente, R\$ 11 milhões anuais (FLORIANÓPOLIS, s. d.).

Entretanto, segundo o Relatório de movimentação de resíduos sólidos de 2019, o município desviou do aterro sanitário, entre recicláveis secos e orgânicos, uma quantia

equivalente a 7,15% do total produzido (FLORIANÓPOLIS, 2019b). Ainda que seja apresentado como um índice positivo, sendo a capital brasileira com maior índice de recuperação de resíduos para a compostagem e reciclagem, esses dados apresentam o desafio logístico e operacional para se atingirem as metas apresentadas anteriormente.

Tendo em vista o tecido social que se forma em torno do tema da compostagem em Florianópolis, com as inúmeras iniciativas de gestão descentralizadas dos resíduos orgânicos, a prefeitura municipal, reconhecendo os recursos poupados pelo desvio dos recicláveis orgânicos e o valor dessas ações para atingir suas metas, torna público, em 22 de setembro de 2020, o termo de referência para a prestação de serviços de tratamento e destino final ambientalmente adequado dos resíduos recicláveis orgânicos, por meio de técnicas de compostagem, pagando aos participantes o mesmo valor desembolsado ao aterramento dos resíduos. Favorece, ainda, a participação de organizações da sociedade civil de interesse público (OSICIP), de ONGs, de associações e/ou cooperativas, de microempreendedores individuais (MEI) e microempresas (ME) para o desenvolvimento desses serviços (FLORIANÓPOLIS, 2020).

Somado a esses incentivos para compostagem, Florianópolis conta, também, com o Programa Municipal de Agricultura Urbana (Cultiva Floripa), criado a partir do Decreto nº 21.723, de 8 de julho de 2020, tendo por finalidade promover práticas agroecológicas, por meio do incentivo da compostagem, da produção de mudas e sementes e do uso sustentável dos recursos naturais, a utilização nas áreas cultivadas e em seu entorno apenas de produtos permitidos para a agricultura orgânica, destinação de áreas públicas para atividades fins do Programa, entre outras ações (FLORIANÓPOLIS, 2020).

Com essas inúmeras iniciativas e a fim de garantir a qualidade ambiental do processo de compostagem, o Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA/SC) publicou, em outubro de 2019, a IN nº 75, com a finalidade de:

Definir a documentação necessária ao licenciamento e estabelecer critérios para apresentação dos planos, programas e projetos técnicos e ambientais para implantação, operação e monitoramento de unidades de compostagem de resíduos sólidos urbanos segregados na fonte, incluindo tratamento de efluentes líquidos, tratamento e disposição de resíduos sólidos e outros passivos ambientais (SANTA CATARINA, 2019, online).

Tais procedimentos de monitoramento ambiental apresentados nessa IN estadual estão subordinados e alinhados à Resolução nº 481, de 3 de outubro de 2017, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), considerada o primeiro marco legal nacional que aborda o tema da compostagem, cuja finalidade é

[...] estabelecer critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, visando à proteção do meio ambiente e buscando reestabelecer o ciclo natural da matéria orgânica e seu papel natural de fertilizar os solos (BRASIL, 2017c, online).

Nota-se, portanto, observando-se as datas de publicação das legislações apresentadas, a relevância do tema para as agendas públicas, nas esferas municipal, estadual e nacional, nos últimos anos, reforçando a afirmação de que resíduo orgânico não é rejeito, e sim matéria-prima, a qual deve ser reciclada e retornada aos solos agrícolas para a produção de alimentos, preferencialmente em sistemas orgânicos de produção.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa de natureza quali-quantitativa de caráter exploratório. O levantamento das análises dos compostos orgânicos interpretados e da legislação que regulamenta seu uso para a agricultura na condição da sua qualidade e segurança foi baseado na pesquisa bibliográfica sistematizada e não sistematizada e na pesquisa documental direta e indireta. Para a interpretação dos resultados encontrados e com a intenção de identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos analisados, foram percorridos os processos metodológicos baseados nos conceitos da pesquisa explicativa, valendo-se de recursos quantitativos, baseados nas ferramentas da estatística descritiva (GIL, 2002).

3.1 Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica não sistemática foi baseada na consulta de materiais técnico-científicos que abordam a temática da compostagem de RSOU em artigos, trabalhos acadêmicos, entre outras publicações técnicas de relevância para o presente estudo. Foram consultadas também fontes relacionadas a outras áreas de pesquisa que contribuíram para a discussão dos resultados encontrados, como, a área da saúde, ambiental e jurídica.

Para refinar a busca dos materiais consultados, a pesquisa bibliográfica sistemática valeu-se dos seguintes recursos:

- foram consultadas bases de dados das plataformas: Google Scholar; SciELO; Periódicos Capes;
- critérios de inclusão: os artigos e trabalhos acadêmicos deveriam contemplar pesquisa realizada com RSOU e/ou; segregação dos resíduos na fonte geradora e/ou; análise de contaminantes e/ou; análise física, química e biológica e/ou; legislação para uso agrícola e/ou; Método UFSC de compostagem;
- utilização de palavras-chave: “compostagem”; “compostagem + RSOU”; “compostagem + RSOU + segregados na fonte”; “compostagem + RSOU + segregados na fonte + método UFSC”; “compostagem + RSOU + segregados na fonte + contaminantes”; “compostagem + RSOU + segregados na fonte + metais pesados”; “compostagem + RSOU + segregados na fonte + legislação” e suas variações.
- foram utilizados filtros de datas: “a qualquer momento”; “desde 2018”; “desde 2021”; “desde 2022”.
- os estudos que não apresentaram as características descritas não foram considerados na presente pesquisa.

3.2 Pesquisa Documental

Para a coleta de informações relacionadas a análises de contaminantes de compostos produzidos com RSOU segregados na fonte, foi complementada à revisão bibliográfica a consulta de documentos — como relatórios e laudos de análises de instituições parceiras —, comunicação pessoal com empresas, entre outras iniciativas que trabalham com essa matéria-prima e que atendessem aos critérios de inclusão estabelecidos na seção 3.1. Foram contatadas iniciativas locais (Florianópolis), do estado de São Paulo, Rio de Janeiro e outras nacionais, por intermédio da Associação Composteiros do Brasil.

A pesquisa documental também contemplou a consulta e a organização da legislação brasileira relacionada ao processo da compostagem de RSOU, desde as etapas envolvidas com

a geração dos resíduos, sua segregação e destinação, o processo da compostagem, seu controle de qualidade para a saúde humana e ao ambiente até os diferentes usos para que essa matéria-prima possa ser empregada na agricultura, enfatizando-se sua qualidade e segurança com relação aos contaminantes. Para isso, foram consultadas bases de dados oficiais do governo federal.

3.3 Estatística Descritiva

Para a análise dos dados e o cruzamento dos resultados encontrados com os valores estabelecidos na legislação, foram utilizadas ferramentas da estatística descritiva por meio de tabelas (para organização e apresentação dos resultados qualitativos) e medidas de tendência central, de dispersão e percentil. Foram elaborados gráficos caixa, por suas características de oferecer a ideia da posição, dispersão, assimetria, caudas e dados discrepantes (*outliers*) em uma única figura. Esses resultados foram obtidos a partir do cálculo do desvio interquadrático ($dq=Q3 - Q2$), em que os quartis (Q1, Q2 e Q3) proporcionam a noção da simetria da distribuição dos dados conjuntamente com o comprimento das caudas. Os dados discrepantes acabam por ser evidenciados representados por pontos que se distanciam ao seu limite inferior ($Q1-1,5dq$) e limite superior ($Q3+1,5dq$). Para a elaboração dos gráficos caixa e demais gráficos apresentados, utilizou-se o *software* Excel[®].

3.4 Criação da Ferramenta Digital

A parte textual, assim como as informações técnicas, foram originadas, resumidas e organizadas a partir da presente pesquisa e apresentadas de maneira didática através de um manual digital, conforme definição proposta no Guia de Produção Técnica e Tecnológica do PPGA0 (UFRRJ, 2020). Estarão disponíveis em uma plataforma virtual, elaborada a partir do WordPress[®], um projeto de código aberto para criação e administração de páginas eletrônicas. Foram complementadas com materiais informativos sobre a compostagem e ilustradas com registros realizados a campo, no pátio de compostagem do Hotel Sesc Cacupé.

Com o auxílio de um desenvolvedor de software, foi elaborado um sistema digital de diagnósticos online para as análises. Utilizou-se linguagens de marcação e estilo (HTML e CSS) para a apresentação do sistema, bem como, linguagens de programação (Java e Javascript) para a lógica de diagnóstico, foi desenvolvido o sistema Calculadora de Conformidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Legislação

4.1.1 RSOU, compostagem e agricultura

As legislações que trazem o regulamento técnico para o uso do composto de RSOU para a agricultura são determinadas por cinco INs e uma Portaria, ambas expedidas pelo Mapa, sendo que elas são subordinadas a leis e decretos superiores.

Ao tomar a rota da compostagem e considerada como matéria-prima passível de reciclagem, em vez do aterramento ou da disposição final inadequada em lixões na forma de rejeito, a fração orgânica dos resíduos urbanos pode encontrar o destino da economia circular e retornar aos solos agrícolas os nutrientes outrora exportados, ou estagnar-se em aterros sanitários ou outras destinações quaisquer, conforme apresentado na Figura 3 a seguir.

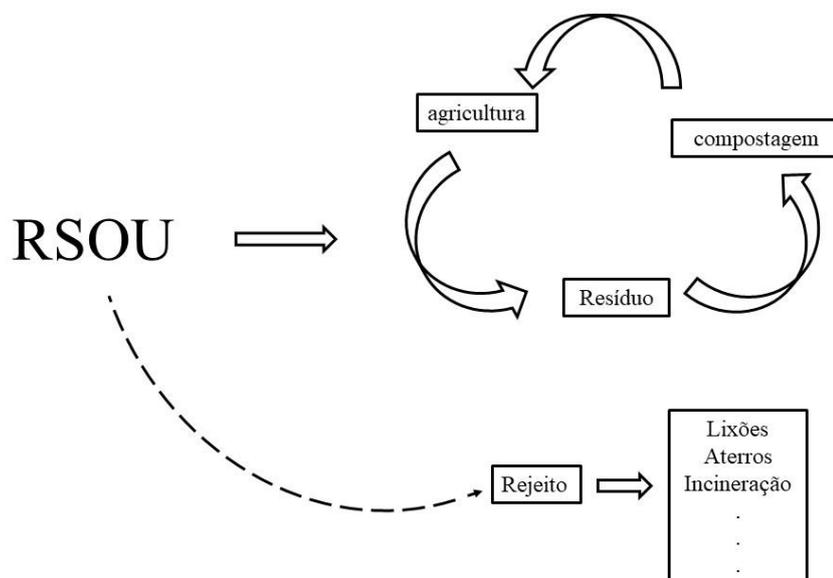


Figura 3. Apresentação esquemática de duas principais rotas de destinação para os resíduos sólidos orgânicos urbanos: a rota superior representa a da reciclagem por meio da compostagem; a inferior é a rota do aterramento, entre outras destinações possíveis. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Hoje, a legislação brasileira dispõe de regulamentação específica para garantir o controle e a qualidade das principais etapas envolvidas na geração, no processamento e no uso do composto proveniente dos RSOU para fins agrícolas e que, de certa forma, estão interligadas de maneiras diversas (Figura 4). Destacam-se: a Lei nº 12.305/2010, que institui a PNRS; a Resolução Conama Mapa nº 481/2017, que estabelece critérios e procedimentos para o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem; a Lei nº 10.831/2003, que dispõe sobre a agricultura orgânica; e a Lei nº 6.894/1980, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou

biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, seguidas de seus decretos e regulamentos técnicos.

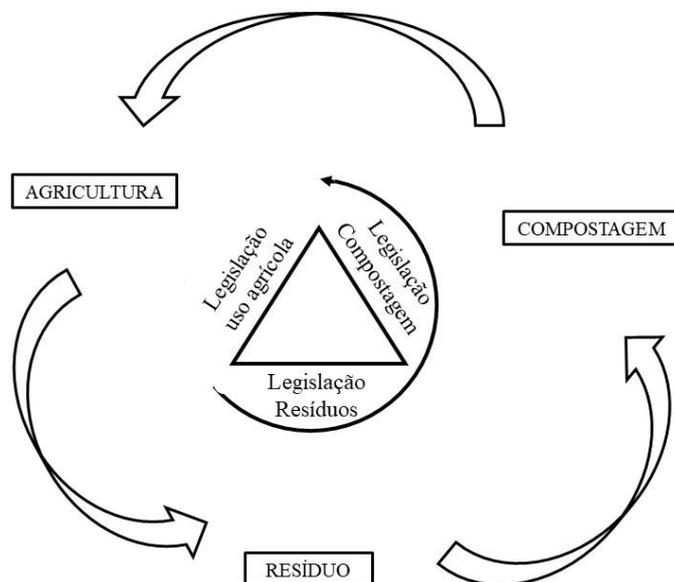


Figura 4. Representação das diferentes legislações que regulamentam as principais etapas do processo de compostagem dos RSOU para seu uso agrícola no Brasil. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

No âmbito da gestão dos resíduos sólidos, a Lei nº 12.305/2010 estimula o destino ambientalmente adequado da fração orgânica, com incentivo à compostagem, e atribui responsabilidades ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, articular formas de utilização do composto produzido, por intermédio de agentes econômicos e sociais (BRASIL, 2010). Em relação ao processo de compostagem, o MMA estabelece, na Resolução do Conama, os critérios para garantir seu controle e sua qualidade ambiental (BRASIL, 2017c) e, para garantir a qualidade e segurança de uso do composto para fins agrícolas, as Leis, os Decretos, as INs e a Portaria do Mapa (BRASIL, 1980, 2003, 2004, 2006, 2016, 2020, 2021).

Ao mesmo tempo em que se observam avanços conjuntos entre diferentes órgãos federais rumo a uma crescente valorização da fração orgânica dos resíduos, é evidente que, mesmo atribuídas as responsabilidades e os regramentos citados, existem lacunas que distanciam a realidade brasileira das proposições idealizadas nesses regulamentos, como aqueles indicados por Pires e Ferrão (2017), que, na época de suas pesquisas, apenas 55% das políticas estaduais de resíduos sólidos no Brasil abordavam de forma prioritária a questão da compostagem.

4.1.2 Os diferentes usos agrícolas para o composto de RSOU

A legislação que rege o uso de produtos autorizados para a agricultura é formada por um complexo mosaico de documentos que, muitas vezes, dificultam seu entendimento. Pelo fato de o composto de RSOU ter diferentes aplicações para a agricultura, a correta interpretação da legislação se torna um tanto quanto desafiadora.

A Lei nº 6.894, promulgada em 16 de dezembro de 1980, dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura (BRASIL, 1980), um importante marco legal para a temática no país. Essa lei foi regulamentada pelo Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, no qual são estabelecidas as normas gerais sobre registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e do comércio desses produtos.

Esse decreto traz definições importantes sobre as diferentes formas em que o composto de RSOU pode ser utilizado para a agricultura, destacando-se:

Art. 2º Para os fins deste Regulamento, considera-se:

[...]

III – fertilizante: substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes de plantas, sendo:

[...]

b) fertilizante orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, **urbana** ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais;

[...]

n) fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, **urbana** ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas;

IV – Corretivo - produto de natureza inorgânica, orgânica ou ambas, usado para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, isoladas ou cumulativamente, não tendo em conta seu valor como fertilizante, além de não produzir característica prejudicial ao solo e aos vegetais, assim subdividido:

[...]

d) condicionador do solo: produto que promove a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou atividade biológica do solo.

[...]

XXXVI – substrato para plantas - produto usado como meio de crescimento de plantas.

Art. 3º Compete ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento:

[...]

II – Editar normas complementares necessárias ao cumprimento deste Regulamento (BRASIL, 2004, online, grifos nossos).

Já a legislação para os sistemas orgânicos de produção é definida pela Lei nº 10.831/2003, regulamentada pelo Decreto nº 6.323/2007, que atribui ao Mapa, de forma isolada ou em conjunto com outros Ministérios, o estabelecimento de normas técnicas para a obtenção do produto orgânico.

A Figura 5 apresenta, de maneira esquemática, as 5 INs relacionadas ao uso do composto de RSOU como condicionador de solo (IN SDA Mapa nº 35/2006), substrato para plantas (IN Mapa nº 05/2016), fertilizante orgânico composto (IN SDA Mapa nº 61/2020), seus respectivos limites de tolerância para contaminantes (Anexos IV e V da IN SDA Mapa nº 27/2006, alterada pela IN SDA Mapa nº 07/2016) e seu uso para a agricultura orgânica (Portaria Mapa nº 52/2021).

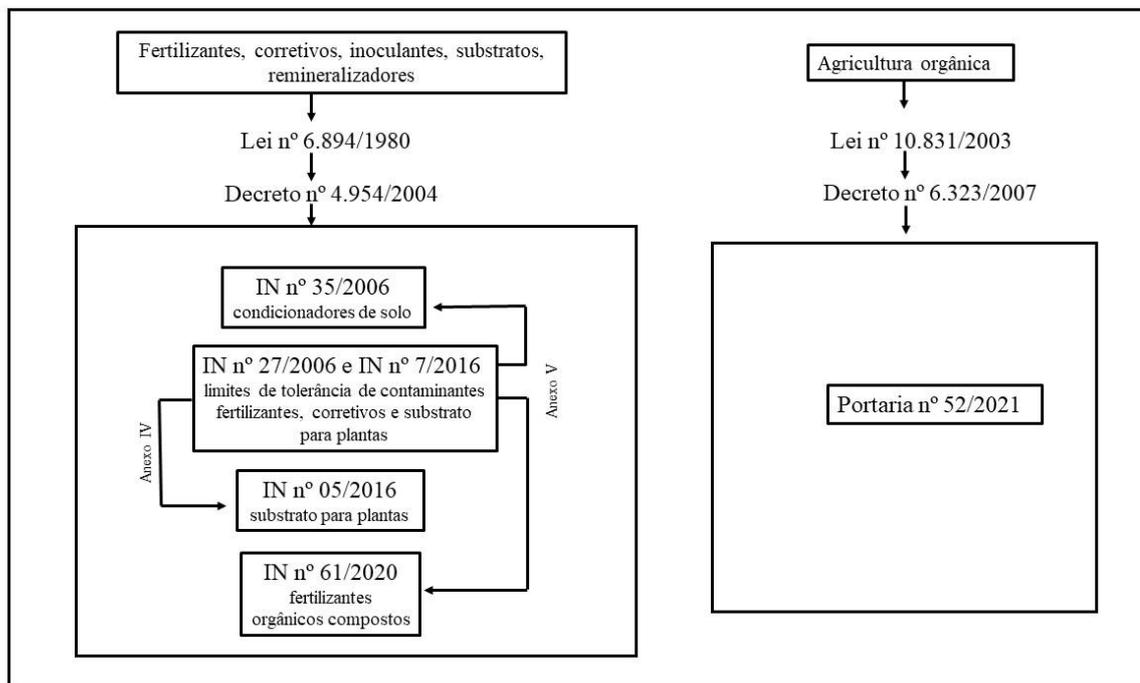


Figura 5. A esfera das INs para uso do composto orgânico de RSOU como insumo agrícola. Ao lado esquerdo, observa-se as normativas para fertilizantes, condicionadores de solo, substrato para plantas, sendo que a IN nº 27/2006, alterada pela IN nº 07/2016, apresenta os limites de tolerância para contaminantes, a partir de seus anexos IV e V, conforme indicado pelas setas. Ao lado direito, a Portaria nº 52/2021 que estabelece o regulamento técnico para a produção orgânica no Brasil. Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Ao analisar as INs e a Portaria relacionadas aos diferentes usos para o composto de RSOU, compreende-se sua complexidade, dadas as inúmeras alterações que sofreram no decorrer do processo histórico desses atos normativos, algumas delas revisadas e publicadas ao longo da escrita desta dissertação, fato que demonstra a dinâmica a que estão submetidas na estrutura da legislação brasileira.

4.1.3 A estruturação da legislação brasileira e a importância das INs

Oliveira (2019), ao discorrer sobre a hierarquia da legislação brasileira, na qual, em seu topo, encontra-se a Constituição Federal, em nível intermediário as Leis Complementares, as Leis Ordinárias, os Decretos, as Resoluções, entre outras, as Instruções Normativas encontram-se em um patamar hierárquico inferior e são definidas como atos administrativos expressos por ordem escrita, expedida pelo chefe de serviço ou ministro de Estado aos seus subordinados, com a finalidade de complementar e detalhar o que está em uma portaria de hierárquico superior.

A instrução normativa corresponde a um ato administrativo que tem por finalidade disciplinar ou esclarecer questões já presentes em outros mandamentos legais, é a declaração do Estado ou de quem o represente, que produz efeitos jurídicos imediatos, com observância da lei, sob regime jurídico de direito público e sujeita a controle pelo Poder Judiciário (DI PIETRO, 2012, p. 203).

Moreira *et al.* (2016) apontam como positiva a regulamentação técnica da agricultura orgânica se dar na esfera das INs, ao apresentarem a história da legislação para os sistemas orgânicos de produção no Brasil e reforçam a importância dessa estruturação, onde são

instrumentos mais simples de serem modificados em função de novos conhecimentos científicos ou alterações em regulamentações internacionais e nacionais, entre outros fatores.

A Figura 6 a seguir apresenta os principais instrumentos legais que regulamentam o uso de fertilizantes, corretivos, inoculantes, substratos e remineralizadores (pirâmide da esquerda) e os marcos legais dos sistemas orgânicos de produção (pirâmide da direita).

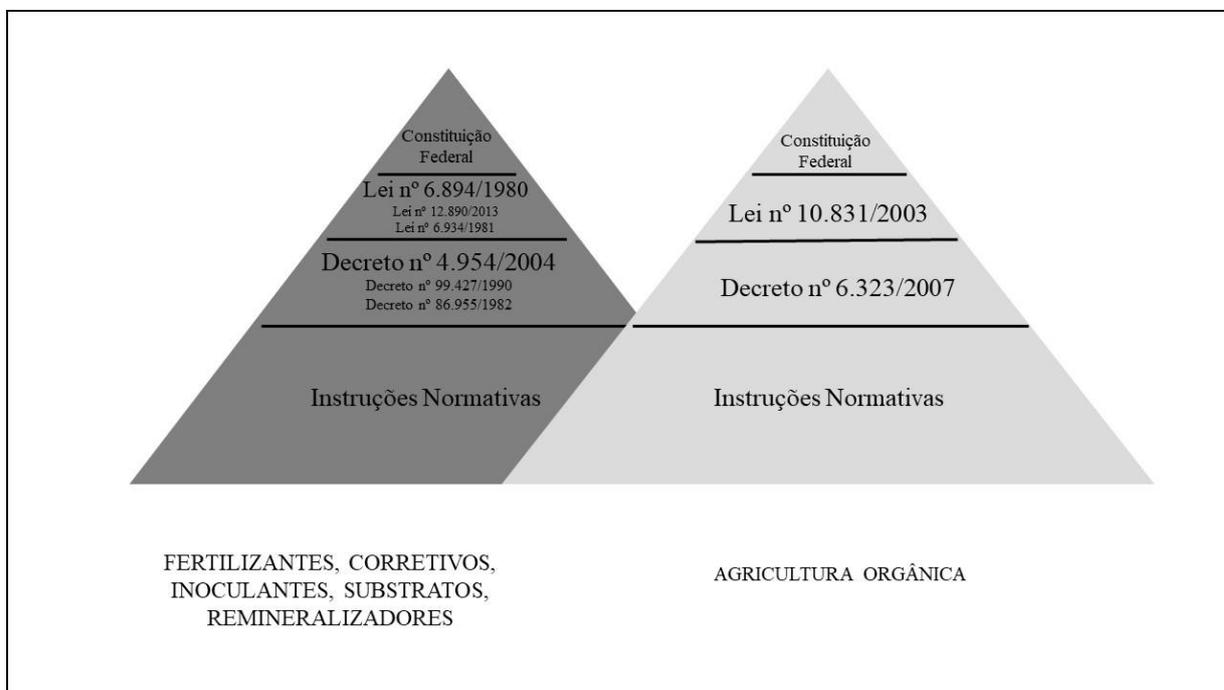


Figura 6. Hierarquia da legislação brasileira e marcos legais relevantes para os diferentes usos agrícolas do composto orgânico de RSOU. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

As imagens apresentadas nessa figura foram baseadas na pirâmide normativa de Hans Kelsen (1934), também conhecida como pirâmide de Kelsen. Porém, sem pretensão alguma de adentrar aos seus pensamentos e legados, elas são apenas uma representação esquemática que simplifica entender onde se encontram as INs na hierarquia da legislação brasileira que regem o objeto deste estudo e a quais marcos legais estão subordinados.

Nesse esquema apresentado e que será demonstrado com maior profundidade a seguir, torna-se clara a distinção dos trajetos legais que separam a agricultura orgânica das outras formas em que o composto de RSOU pode ser empregado. Tendo em vista os diferentes marcos legais que deram origem ao seu regulamento técnico, faz com que a agricultura orgânica, por intermédio da Portaria Mapa nº 52/2021, trate dos usos para o composto de RSOU de maneira diferenciada e com maior restrição das demais normativas.

Tais restrições de uso podem ser compreendidas pelo processo histórico de construção da legislação da produção orgânica e seus princípios fundamentais básicos, como “a oferta de produtos saudáveis isentos de contaminantes intencionais” (BRASIL, 2021, online). Como apontado anteriormente, o histórico brasileiro com a compostagem de RSOU apresenta momentos controversos pelas URCs. A falta de cuidado com a segregação dos resíduos na fonte geradora ocasionou como resultado um produto final contaminado e comprometido para uso agrícola, com certos traumas para agricultores, consumidores e poder público (SILVA; SANTOS; BERTON, 2017; SIQUEIRA; ABREU, 2016).

Entretanto, uma análise temporal das alterações realizadas nas INs que antecederam a Portaria nº 52/2021 permite inferir que há uma tendência em valorizar o composto produzido com RSOU para a agricultura orgânica, acompanhado dos avanços em pesquisas e processos

com a compostagem, além da ação conjunta de outros órgãos federais relacionadas à geração dos resíduos e controles de qualidade do processo de compostagem, conforme foi mencionado anteriormente.

Essa valorização é percebida também em outras normativas e, a seguir, será apresentado um recorte realizado na legislação que inclui, especificamente, como ela aborda a questão sobre o uso de materiais gerados a partir dos resíduos domiciliares urbanos, resíduos de alimentos oriundos de comercialização, preparo e consumo em estabelecimentos comerciais e industriais, e materiais vegetais de podas e jardins, ora chamado de “lixo domiciliar”, “lixo doméstico”, “resíduos orgânicos domésticos”, dentre outras denominações, considerado aqui como uma importante fração do RSOU, capaz de ser transformado em material de uso seguro e irrestrito para a agricultura.

A partir dessa análise, foram avaliados aspectos sobre sua classificação, se há alguma distinção em relação a outras matérias-primas utilizadas para a produção de composto, uma comparação entre as restrições de uso e cuidados de manuseio, uma análise comparativa dos limites de tolerância admitidos para contaminantes e onde eles se encontram. Esse resultado é apresentado na Tabela 1 e discutido nos tópicos subsequentes.

Tabela 1. Resumo das INs nº 35/2006, nº 05/2006 e nº 61/2020 e Portaria nº 52/2021 para os diferentes empregos do composto de RSOU, suas finalidades, classificações e condições de uso, comparação com outras classes mais restritivas, entre outras observações importantes (continua)

Legislação	O que regulamenta?	Matéria-prima oriunda de RSOU		Outras classes mais restritivas em relação à matéria-prima utilizada?		Outras observações importantes
		Classe	Restrição de uso	Classe	Restrição	
IN SDA Mapa nº 35/2006	Aprovadas as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo , destinados à agricultura.	Classe C Utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em um produto de utilização segura na agricultura.	–	Classe D Cujas matéria-prima é oriunda do tratamento de despejos sanitários.	Aplicados somente por meio de equipamentos mecanizados e, durante o manuseio e a aplicação, utilizar EPIs. Seu uso é proibido para o cultivo de hortaliças em geral e para pastagens e capineiras.	Limites de contaminantes dispostos na IN SDA Mapa nº 27/2009 e pela IN nº 07/2016.
IN Mapa nº 05/2016	Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas , destinados à agricultura.	Classe C Produto que utiliza, em sua produção, qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar isento de despejos sanitários ou materiais potencialmente tóxicos, resultando em um produto de utilização segura na agricultura.	–	Classe D Produto que utiliza, em sua produção, qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários e industriais, resultando em um produto de utilização segura na agricultura.	–	Limites de contaminantes dispostos na IN SDA Mapa nº 27/2009 e pela IN nº 07/2016. Fica vedada a utilização de serragem ou maravalha contaminadas com resíduos de produtos químicos para tratamento de madeira como matéria-prima para produção dos substratos de que trata essa IN.

Tabela 1. Resumo das INs nº 35/2006, 05/2006 e 61/2020 e Portaria nº 52/2021 (continuação)

Legislação	O que regulamenta?	Matéria-prima oriunda de RSOU		Outras classes mais restritivas em relação à matéria-prima utilizada?		Outras observações importantes
		Classe	Restrição de uso	Classe	Restrição	
IN SDA Mapa nº 61/2020	Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura.	Classe A Produto que utiliza, em sua produção, matéria-prima gerada nas atividades extrativas, agropecuárias, industriais, agroindustriais e comerciais, incluindo aquelas de origem mineral, vegetal, animal, lodos industriais e agroindustriais de sistema de tratamento de águas residuárias com uso autorizado pelo órgão ambiental, resíduos de frutas, legumes, verduras e restos de alimentos gerados em pré e pós-consumo, segregados na fonte geradora e recolhidos por coleta diferenciada, todos isentos de despejos ou contaminantes sanitários, resultando em um produto de utilização segura na agricultura.	–	Classe B Produto que utiliza, em sua produção, quaisquer quantidades de matérias-primas orgânicas geradas nas atividades urbanas, industriais e agroindustriais, incluindo a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos da coleta convencional, lodos gerados em estações de tratamento de esgotos, lodos industriais e agroindustriais gerados em sistemas de tratamento de águas residuárias contendo qualquer quantidade de despejos ou contaminantes sanitários, todos com seu uso autorizado pelo órgão ambiental, resultando em um produto de utilização segura na agricultura.	–	Limites de contaminantes dispostos na IN SDA Mapa nº 27/2009. Fertilizante orgânico Classe A e quaisquer fertilizantes outros que contenham, como matéria-prima, qualquer quantidade de resíduos de origem animal, como camas e esterco de aves ou de suínos. Uso permitido em pastagens e capineiras apenas com incorporação ao solo. No caso de pastagens, permitir o pastoreio somente após 40 dias depois da incorporação do fertilizante ao solo. Uso proibido na alimentação de ruminantes, armazenar em local protegido do acesso desses animais.
Portaria nº 52/2021	Estabelece o regulamento técnico para os sistemas orgânicos de produção , bem como as listas de substâncias e práticas permitidas para o uso em tais sistemas.	Sem classificação. Composto proveniente de resíduos orgânicos domésticos, resíduos de alimentos oriundos de comercialização, preparo e consumo em estabelecimentos comerciais e industriais, e materiais vegetais de podas e jardins.	Permitido o uso desde que oriundo de coleta seletiva e bioestabilizado, e desde que seu uso e manejo não causem danos à saúde e ao ambiente.	Quando originado de sistemas de produção não orgânicos, é permitido desde que não usado diretamente nas partes aéreas comestíveis , e autorizado pelo OAC* ou da OCS** mediante a realização de análise de risco. A análise de risco indicará a necessidade de verificação dos contaminantes no Anexo VI.	–	Limites de contaminantes estabelecidos pela própria Portaria Mapa nº 52/2021, em seu Anexo VI.

*OAC = Organismo da Avaliação da Conformidade. **OCS = Organização de Controle Social. Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

4.1.4 IN SDA Mapa nº 35/2006: o uso do composto de RSOU como condicionador de solo

Uma das características que o composto de RSOU assume é a de condicionador de solo. Segundo a definição apresentada na IN SDA Mapa nº 35/2006, que aprova as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura, condicionador de solo é o produto que promove a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou atividade biológica do solo, podendo recuperar aqueles que estejam degradados ou desequilibrados nutricionalmente (BRASIL, 2006).

Segundo essa IN, os condicionadores de solo são classificados de acordo com o seu material de origem, sendo o composto de RSOU considerado como Classe C, por representar um produto que, em sua fabricação, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de “lixo domiciliar” desde que resulte em produto de utilização segura na agricultura.

Ressalta-se, sobre o aspecto de sua origem, que o composto de RSOU não apresenta qualquer restrição de uso para essa finalidade, diferenciando-se da Classe D, cuja matéria-prima é oriunda do tratamento de despejos sanitários, mas que resulta, também, em produto de utilização segura na agricultura.

Para os condicionadores de solo Classe D, são recomendados cuidados para a sua manipulação e devem ser aplicados somente por meio de equipamentos mecanizados e, durante seu manuseio e sua aplicação, deverão ser utilizados equipamentos de proteção individual (EPIs). Seu uso é proibido para o cultivo de hortaliças em geral e para pastagens e capineiras, sendo obrigatório apresentar no rótulo do produto sua classificação, seus cuidados e suas restrições de uso.

Além dos aspectos apresentados sobre a origem dos resíduos utilizados como matéria-prima e os limites de contaminantes admitidos nos condicionadores de solo, a IN nº 35/2006 traz aspectos relacionados à capacidade de retenção de água (CRA) e à capacidade de troca de cátions (CTC). Tais parâmetros estão intrinsecamente relacionados às propriedades físico-químicas do material utilizado como condicionador de solo.

A CRA é definida como a capacidade de um determinado material reter água, expresso pelo percentual hídrico retido em relação à massa total do material, sendo 60% o valor mínimo admitido para os condicionadores de solo. A capacidade de retenção de água por um material está intimamente ligada à sua composição, ou seja, materiais com maior área superficial específica têm maior capacidade de retenção de água, como a argila e a matéria orgânica humificada.

Assis (2016) observou um resultado muito satisfatório relacionado à CRA em análise de três amostras de composto orgânico de uma iniciativa de gestão comunitária de resíduos orgânicos de Florianópolis, chamada de Projeto Revolução dos Baldinhos, nos períodos de 2014 a 2016: foram atingidos teores de 276,55% para o composto peneirado e 460,77% para o composto não peneirado.

Em relação à CTC, definida pela IN nº 35/2006 como a quantidade total de cátions adsorvidos por unidade de massa, tem seu limite mínimo de 200 mmolc.kg⁻¹. A CTC está diretamente relacionada à capacidade de determinado material estocar nutrientes e, consecutivamente, disponibilizá-los à solução do solo, contribuindo, assim, para a nutrição das plantas. Está intrinsecamente relacionado ao pH do solo e às suas características físicas de propriedades coloidais, como aquelas representadas pelas partículas de argila e material orgânico humificado. Os resultados encontrados em composto orgânico de RSOU apresentaram resultados satisfatórios para CTC, com valores de 325,44 mmolc.kg⁻¹ (ASSIS, 2016).

Os limites máximos para contaminantes em condicionadores de solo serão apresentados a seguir e são estabelecidos pela IN SDA Mapa nº 27/2006, alterada pela IN SDA Mapa nº 07/2016.

4.1.5 IN Mapa nº 05/2016: o uso de composto orgânico de RSOU como substrato para plantas

Outro uso que o composto pode assumir é o de substratos para plantas. Para essa finalidade, a IN Mapa nº 05, de 10 de março de 2016, estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura (BRASIL, 2016).

Substrato para plantas são definidos como aqueles produtos utilizados como meio de crescimento para plantas (BRASIL, 1980) e são classificados pela IN Mapa nº 05/2016 quanto à sua origem e aos seus tipos de matérias-primas utilizadas em sua fabricação, semelhantes às daquelas dos condicionadores de solo. São utilizadas seis classes, de A a F, sendo o substrato produzido a partir de “lixo domiciliar” considerado como Classe C. Diferencia-se também daqueles da Classe D, que em sua produção utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de despejo sanitário ou industrial, porém que resulte em material seguro para a agricultura (BRASIL, 2016).

Apesar de não impor restrições de uso, menciona que os substratos Classes C e D somente poderão ser comercializados para consumidores finais mediante recomendação técnica firmada por profissional habilitado, respeitada a área de competência, que pode ser impressa na embalagem, no rótulo, no folheto ou em outro documento que o acompanhe desde que conste a identificação do responsável técnico e seu registro no conselho de classe.

Logo, essa IN também não restringe o uso do substrato oriundo de RSOU, porém traz uma consideração importante, em que fica vedado o uso de serragem ou maravalha contaminada com resíduos de produtos químicos para o tratamento de madeira (BRASIL, 2016). Essa informação é pertinente, pois aborda sobre a restrição de materiais utilizados como matéria-prima para a produção do produto final, e não especificamente sobre o local de sua origem — no caso ressaltado aqui, os RSOU.

Ainda segundo a IN nº 05/2016, os substratos para plantas devem atender às garantias de condutividade elétrica (CE), ao pH, à umidade máxima, à densidade e à CRA. Não apresentam valores de referência, mas devem estar expressos no rótulo do produto. A garantia sobre a CTC é facultativa.

Os limites máximos para contaminantes em substratos para plantas serão apresentados a seguir e são estabelecidos pela IN SDA Mapa nº 27/2006, alterada pela IN SDA Mapa nº 07/2016.

4.1.6 IN SDA Mapa nº 61/2020: o uso do composto de RSOU como fertilizante

Para seu uso como fertilizante orgânico, as determinações são impostas pela recente publicação da IN SDA Mapa nº 61, de 8 de julho de 2020, que revoga a IN SDA Mapa nº 25, de 23 de julho de 2009. Portanto, antes de discorrer sobre a normativa em vigor, alguns destaques referentes às alterações decorridas nessa última atualização são importantes de serem ressaltadas, tendo em vista que vão ao encontro das questões apresentadas neste trabalho.

Durante 11 anos as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura foram regidas pela IN nº 25/2009.

Neste período, os fertilizantes que utilizavam matéria-prima proveniente de resíduos, em qualquer quantidade, oriunda de “lixo domiciliar”, resultando em produto de utilização segura na agricultura, eram classificados como Classe C, semelhantes àqueles condicionadores de solo e substratos para plantas apresentados nos tópicos anteriores. Entende-se por composto de lixo o “[...] produto obtido pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e sua compostagem, resultando em produto de utilização segura na agricultura” (BRASIL, 2009, online).

Diferenciava-se da Classe D por estes utilizarem quaisquer quantidades de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em um produto de utilização segura na agricultura. Essa normativa trazia também os cuidados no manuseio e a restrição de uso imposta para os fertilizantes Classe D, em que a aplicação deveria ser realizada somente com equipamentos mecanizados e, durante o manuseio e a aplicação, deveriam ser utilizados os EPIs. Seu uso era proibido em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entrassem em contato com o solo.

O fertilizante orgânico Classe A, era definido como aquele que, em sua produção, utilizava matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não fossem utilizados no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura; os Classe B, os fertilizantes orgânicos que, em sua produção, utilizavam matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos fossem utilizados no processo, resultando ainda em produto de utilização segura na agricultura (BRASIL, 2009)

Já os materiais que utilizavam matéria-prima oriunda de resíduos de origem animal e da criação de animais (cama de aves, esterco de aves ou de suínos), independentemente de sua classe, o uso era permitido em pastagens e capineiras apenas com incorporação ao solo. No caso de pastagens, o pastoreio era permitido somente após 40 dias depois da incorporação do fertilizante ao solo, seu uso era proibido na alimentação de ruminantes e deveria ser armazenado em local protegido do acesso desses animais. Tais informações deveriam ser apresentadas na embalagem do produto (BRASIL, 2009).

Nota-se, portanto, que as restrições de uso impostas pela IN nº 25/2009 também eram apresentadas de acordo com os materiais orgânicos utilizados como matéria-prima no processo. Portanto, para os fertilizantes Classe C, não havia restrições de uso desde que resultassem em materiais seguros para a agricultura, ou seja, cujos limites de contaminantes estivessem dentro dos padrões estabelecidos por regramento específico para os fertilizantes orgânicos compostos.

Ao analisar a qualidade do material produzido pelo Método UFSC de compostagem, com utilização de matéria-prima originada de lodo de esgoto, Teixeira (2012) interpreta que a IN SDA Mapa nº 25/2009, em vigência na época de sua pesquisa, poderia considerar o fertilizante orgânico produzido com “lixo domiciliar” como Classe A ou B, caso este sofresse uma correta separação (coleta seletiva). Entretanto, esse ato normativo não fazia nenhuma distinção em relação à segregação na fonte, apenas considerava como Classe C aqueles fertilizantes que apresentassem como matéria-prima qualquer quantidade de “lixo doméstico”. Portanto, para o presente estudo, considera-se esse produto como Classe C através da classificação trazida pela antiga IN.

Ao comparar as legislações para fertilizantes com aquelas ambientais ligadas ao uso de produtos derivados de lodo de esgoto — nesse caso, a Resolução Conama nº 375/2006, hoje revogada pela Resolução Conama nº 498/2020 — esse autor constata também, que o tratamento para fertilizantes produzidos a partir de matéria-prima originada de “lixo doméstico” apresenta uma classificação superior àqueles produtos originados de materiais sanitários ou contaminados com resíduos tóxicos. Ou seja, o produto final originado do processo de compostagem, poderia

ter um uso menos restritivo do que aqueles e, para ilustrar esse pensamento, apresenta uma figura que se assemelha a um pódio (Figura 7), onde demonstra as diferentes classes atribuídas aos fertilizantes orgânicos (TEIXEIRA, 2012).

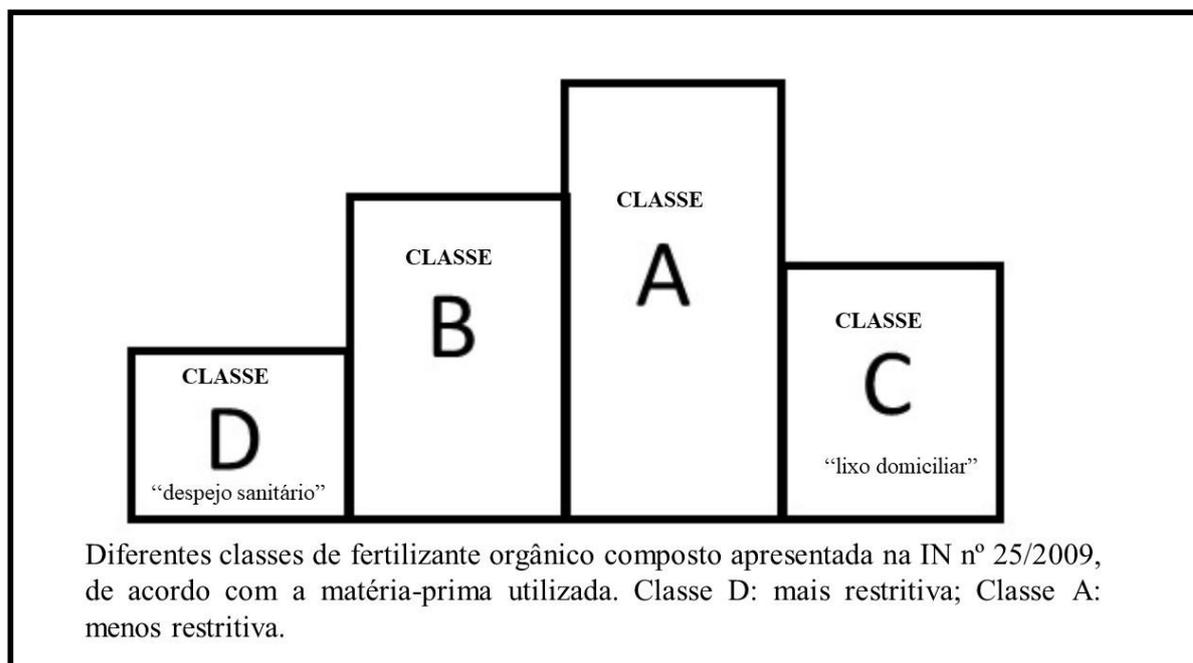


Figura 7. Esquema representativo em formato de pódio, no qual um fertilizante orgânico pode ser classificado pelos regramentos apresentados de acordo com a matéria-prima utilizada. O composto de RSOU era classificado como Classe C pela IN nº 25/2009. Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Teixeira, 2012.

Nessa figura, fica evidente a distinção dada ao composto produzido com RSOU (Classe C), daqueles de origem da agroindústria (Classe A) e também, daqueles de origem sanitária (Classe D) que possuíam restrições de uso para as culturas que tivessem o contato com a parte comestível. Logo, através do histórico já apresentado da compostagem no país, principalmente relacionado à ausência de separação na fonte da fração orgânica dos resíduos e seu processamento através das usinas de reciclagem e compostagem, nota-se a preocupação dada ao regramento dos fertilizantes para essa matéria-prima, alocando-a em uma classe específica.

Adiante, será apresentada a evolução dessa classificação trazida pela IN nº 61/2020 e a valorização que a matéria-prima denominada de resíduo sólido orgânico urbano, anteriormente chamada de lixo doméstico, recebe, fruto do processo histórico de discussões e melhorias no processo de segregação na fonte geradora, para seu encaminhamento à compostagem.

As reflexões aqui apresentadas relacionadas à classificação dos fertilizantes e materializada através da Figura 7, serão retomadas ao longo desse tópico e, também, de suma importância para os usos dos produtos derivados dessa matéria-prima para os sistemas orgânicos de produção, discutidos no item subsequente.

Mas ainda em relação à normativa anterior e, interpretando-se que o composto de RSOU pode ser definido como um fertilizante orgânico composto (BRASIL, 2004), além de atender aos limites máximos de contaminantes, a IN nº 25/2009, em seu Anexo III, apresentava os parâmetros relacionados aos padrões mínimos de qualidade.

Para isso, deveria atender a padrões como: umidade máxima (50%), carbono orgânico mínimo (15%), nitrogênio total mínimo (0,5%), pH mínimo (6,5), relação C:N máxima (20). Os valores de CTC, CTC/C entre outros nutrientes são conforme declarados pelo fabricante,

porém é obrigatória sua declaração para registro do produto. Todos os valores expressos em base seca e a umidade determinada a 65 °C (BRASIL, 2009).

Já em sua revisão e publicação da IN nº 61/2020, esses valores foram alterados e, para ser considerado como um fertilizante orgânico composto, o material deve apresentar padrões de qualidade sobre os mesmos valores de: umidade, carbono mínimo, nitrogênio mínimo e CTC trazidos pela antiga IN nº 25/2009. O valor de pH passa a ser conforme declarado pelo fabricante, assim como os teores de CTC e CTC/C se mantêm conforme declarado. Vale ressaltar que, para a IN nº 61/2020, os valores de CTC e carbono mínimo são expressos em base seca e o N mínimo, tal qual comercializado, ou seja, diferente dos valores de CTC e C mínimo, o nitrogênio deve apresentar concentração ao produto bruto, como comercializado e não na base seca (BRASIL, 2020, Subseção IV, Art. 8º).

Na Tabela 2 são apresentadas as principais diferenças observadas nas duas normativas para os fertilizantes orgânicos compostos que utilizam os RSOU como matéria-prima.

Tabela 2. Semelhanças e diferenças sobre classificação, teores mínimos de nutrientes, outras garantias e exigências dos fertilizantes orgânicos compostos que utilizam RSOU com segregação na fonte geradora, entre as IN nº 25/2009 e a nº 61/2020

	IN nº 25/2009	IN nº 61/2020
Classificação	Classe C	Classe A
Restrição de uso	Sem restrição de uso desde que não utilize resíduos de origem animal, como camas e esterco de aves e suínos.	Sem restrição de uso desde que não utilize resíduos de origem animal, como camas e esterco de aves e suínos.
Umidade máx. (%)	50	50
C mín. (%)	15,0	15,0
N mín. (%)	0,5	0,5
pH	6,5	Conforme declarado
Relação C/N máx.	20	20
CTC	Conforme declarado	Conforme declarado
CTC/C	Conforme declarado	Conforme declarado

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Nota-se que, além dos parâmetros de qualidade, a IN nº 61/2020 traz alterações relacionadas à classificação dos fertilizantes, que pode ser interpretada como uma valorização da matéria-prima oriunda dos RSOU. Por meio de sua redação sobre a classificação do fertilizante e de seus materiais de origem, o fertilizante orgânico composto produzido com os resíduos orgânicos urbanos, passa a ser considerado como Classe A.

Um detalhe simples, porém, uma mudança conceitual importante: a palavra “lixo” não aparece no texto da atual normativa, mas sim o termo “resíduo” para designar a fração orgânica, como aquele material com potencial de ser reciclado e transformado por intermédio da compostagem (Tabela 3).

Essa mudança conceitual é atribuída ao contexto, também já relatado, da conjuntura das demais legislações de saneamento e ambientais relacionadas à geração e destinação dos resíduos sólidos e sobre os processos de compostagem, seus cuidados ambientais e de garantias da qualidade do produto final (BRASIL, 2010; 2017).

Tabela 3. Evolução histórica do texto que aborda o uso de composto de RSOU pela legislação como fertilizante orgânico composto

Instrução Normativa	Classificação	Definições
IN nº 25/2009	<p>Capítulo II, art. 2º [...]</p> <p>III – Classe “C”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura; e</p> <p>IV – Classe “D”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.</p>	<p>Capítulo I, art. 1º [...]</p> <p>III – Composto de lixo: produto obtido pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e sua compostagem, resultando em produto de utilização segura na agricultura, atendendo aos parâmetros estabelecidos no Anexo III e aos limites máximos estabelecidos para contaminantes;</p>
IN nº 61/2020	<p>Seção I, art. 3º</p> <p>I – Classe "A": produto que utiliza, em sua produção, matéria-prima gerada nas atividades extrativas, agropecuárias, industriais, agroindustriais e comerciais, incluindo aquelas de origem mineral, vegetal, animal, lodos industriais e agroindustriais de sistema de tratamento de águas residuárias com uso autorizado pelo órgão ambiental, resíduos de frutas, legumes, verduras e restos de alimentos gerados em pré e pós-consumo, segregados na fonte geradora e recolhidos por coleta diferenciada, todos isentos de despejos ou contaminantes sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura; e</p> <p>II – Classe "B": produto que utiliza, em sua produção, quaisquer quantidades de matérias-primas orgânicas geradas nas atividades urbanas, industriais e agroindustriais, incluindo a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos da coleta convencional, lodos gerados em estações de tratamento de esgotos, lodos industriais e agroindustriais gerados em sistemas de tratamento de águas residuárias contendo qualquer quantidade de despejos ou contaminantes sanitários, todos com seu uso autorizado pelo órgão ambiental, resultando em produto de utilização segura na agricultura.</p> <p>Parágrafo único. Podem ser utilizados como matéria-prima para a produção de fertilizante orgânico Classe "A", os resíduos provenientes de serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos desde que estes serviços contemplem a segregação na fonte geradora e a coleta diferenciada de resíduos em, no mínimo, três frações: resíduos orgânicos, resíduos recicláveis e rejeitos, evitando qualquer tipo de contaminação sanitária.</p>	<p>Capítulo I, art. 2º [...]</p> <p>V – Compostagem: processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem.</p>

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

A compostagem, por sua vez, passa a ter uma definição clara, sendo: o processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem (BRASIL, 2020), já alinhadas com os conceitos da PNRS (BRASIL, 2010) e da Resolução Conama nº 481/2017.

Pela IN nº 61/2020, o fertilizante orgânico composto produzido a partir dos resíduos provenientes de serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos desde que esses serviços contemplem a segregação na fonte geradora e a coleta diferenciada de resíduos em, no mínimo, três frações: resíduos orgânicos, resíduos recicláveis e rejeitos, evitando qualquer tipo de contaminação sanitária, passam a ser classificados como Classe A, diferenciando-se da Classe B, que têm resíduos de origem urbana da coleta convencional ou que apresentem qualquer material de despejo ou contaminantes sanitários. Portanto, agora os fertilizantes orgânicos são divididos em apenas duas classes (A e B), não mais em quatro categorias como era na normativa anterior.

Nesse sentido, o fertilizante orgânico produzido a partir de RSOU deve atender aos critérios de qualidade apresentados na IN nº 61/2020 e em relação à sua segurança, aos limites máximos de contaminantes admitidos em normativa específica, também atribuídos à IN SDA Mapa nº 27/2006, alterada pela IN SDA nº 07/2016, que será descrita a seguir, no tópico 4.2.

A partir dessa organização, fica evidente que os fertilizantes orgânicos compostos que utilizam como matéria-prima diferentes resíduos orgânicos urbanos para sua produção, exceto aqueles de origem sanitária ou sem segregação e coleta diferenciada, passam a ser considerados como Classe A, diferenciando-se daqueles agora chamados de Classe B.

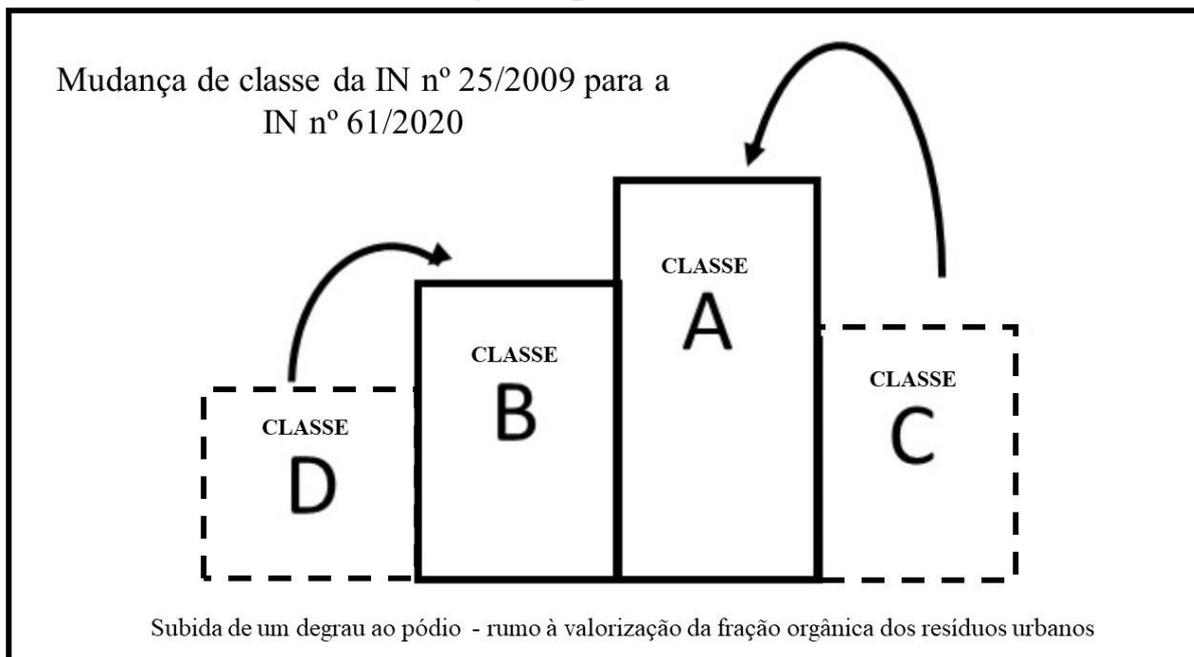


Figura 8. Mudança de classificação dos fertilizantes orgânicos compostos de acordo com a matéria-prima utilizada, IN nº 61/2020.

A Classe B, acaba por agrupar as definições das Classe B e D da IN nº 25/2009, onde era representada pelas matérias-primas de resíduos industriais ou da agroindústria que em seu processo utilizavam metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, juntamente com aquelas matérias-primas de origem sanitária. A restrição de uso anteriormente dada aos fertilizantes Classe D, não são consideradas nessa nova redação, desde que seu uso seja autorizado pelo órgão ambiental.

Nota-se também que, no primeiro capítulo de ambas as normativas, onde são apresentadas as definições dos termos utilizados em sua redação, a IN SDA Mapa nº 25/2009 trata do composto como “composto de lixo” e a IN SDA Mapa nº 61/2020, utiliza o termo “compostagem”, idêntico à redação dada pela Resolução Conama MMA nº 481/2017, que estabelece os critérios e os procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos.

Portanto, reforça-se aqui a discussão que a valorização da fração orgânica dos resíduos urbanos passa a ocupar nas diferentes agendas públicas desde a publicação da IN SDA Mapa nº 25/2009.

4.1.7 O composto de RSOU e a agricultura orgânica

Conforme apresentado, o marco legal para a agricultura orgânica no Brasil se dá pela Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003, que traz em seu art. 1º:

Considera-se sistema orgânico de produção agropecuária todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não renovável, empregando, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção do meio ambiente (BRASIL, 2003, online).

Segundo essa legislação, entre as finalidades de um sistema de produção orgânica, destacam-se alguns pontos de reflexão e relevância para o presente trabalho.

Art. 1º, § 1º,

I – a oferta de produtos saudáveis isentos de contaminantes intencionais;

[...]

III – incrementar a atividade biológica do solo;

IV – promover um uso saudável do solo, da água e do ar, e reduzir ao mínimo todas as formas de contaminação desses elementos que possam resultar das práticas agrícolas;

V – manter ou incrementar a fertilidade do solo a longo prazo;

VI – a reciclagem de resíduos de origem orgânica, reduzindo ao mínimo o emprego de recursos não renováveis;

VII – basear-se em recursos renováveis e em sistemas agrícolas organizados localmente;

VIII – incentivar a integração entre os diferentes segmentos da cadeia produtiva e de consumo de produtos orgânicos e a regionalização da produção e comércio desses produtos [...] (BRASIL, 2003, online).

Nesse sentido a prática da compostagem dos resíduos orgânicos, sejam eles originados de ambientes urbanos ou rurais, está totalmente alinhada aos princípios fundamentais da agricultura orgânica, desde que atendida sua segurança para uso agrícola, principalmente relacionada a um processo seguro e isento de contaminantes intencionais.

Adiante, serão levantadas questões referentes às restrições de uso impostas pelo regulamento da produção orgânica aos insumos produzidos a partir de RSOU que, historicamente, assemelham-se aquelas apresentadas nas normativas anteriormente citadas para os fertilizantes originados do despejo sanitário ou de processos industriais, que utilizam metais

pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, por não permitir seu uso para culturas que tenham contato direto com as partes comestíveis.

A partir das definições destacadas acima, entende-se que, ao utilizar como matéria-prima para a produção de composto os resíduos oriundos de sistemas de produção não orgânicos, poderá existir o risco de contaminação do produto final conter traços de agrotóxicos ou mesmo de materiais de organismos geneticamente modificados (OGM) introduzidos no processo por intermédio de seu material de origem, sendo essa uma possível explicação para as restrições de uso dadas ao composto de RSOU.

Entretanto, pela própria definição de compostagem trazida pela legislação, que resulta em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem (BRASIL, 2017c, 2020), proporcionado pela intensa atividade de populações diversificadas de organismos, além de seu calor originado do processo termofílico, somados a estudos que relatam a dinâmica e degradação de moléculas orgânicas de pesticidas no solo, em decorrência da ação de comunidades microbiológicas (MATTOS, 2015; SOUZA, 2020), permite-se inferir que no processo de compostagem essa dinâmica é ainda mais intensificada, o que acarreta na transformação dessas substâncias.

Atualmente, a forma de monitorar a qualidade e a segurança do produto final é baseada em parâmetros voltados para a qualidade agrônômica (BRASIL, 2006a, 2016 e 2020) e contaminantes pautados em metais pesados, organismos biológicos como: os patogênicos aos seres humanos, fitopatógenos e propágulos de plantas, ou contaminantes físicos, como pedras, plásticos, vidros e metais (BRASIL, 2006b, 2016 e 2021).

Mesmo que aparentemente possa parecer simplificado esse monitoramento a poucas substâncias e organismos, as análises para garantir os resultados exigidos pelos regramentos legais aqui apresentados, são monetariamente custosas, restritas a laboratórios especializados e espalhadas em um arcabouço legal difícil de ser interpretado. Sobre resíduos de agrotóxicos e OGM no composto de RSOU não foram encontrados resultados conclusivos na literatura pesquisada.

Por outro lado, ao destinar os resíduos orgânicos para a compostagem e gerar um produto de uso seguro para a agricultura, baseado hoje nos indicadores descritos acima, é possível proporcionar uma série de benefícios sociais, econômicos, agrônômicos e ambientais que vão ao encontro dos destaques legais supracitados como os princípios e finalidades dos sistemas orgânicos de produção (BRASIL, 2003)

Nesse ponto específico, de onde surge a problemática da presente pesquisa, a regulamentação que determina as substâncias e os produtos autorizados como fertilizantes, corretivos e substratos em sistemas orgânicos de produção é determinada pelo Anexo V da Portaria Mapa nº 52/2021. Historicamente, ela apresenta a restrição de uso para o composto produzido a partir de resíduos orgânicos, aqui considerados como RSOU, semelhante àquelas restrições dos materiais Classe D citados nas normativas anteriores, que se originam de material sanitário ou potencialmente tóxicos.

Ao compreender a estrutura da legislação brasileira e a dinâmica a que estão submetidas as INs, buscou-se investigar as publicações que antecederam a Portaria Mapa nº 52/2021, como elas abordavam o uso do composto de RSOU para a agricultura orgânica e sua relação com outras legislações ou avanços científicos que se relacionem à valorização da fração orgânica, por meio da qualidade e da segurança para uso agrícola desse produto.

Foram encontradas três INs Mapa até a publicação da Portaria nº 52, de 15 de março de 2021: as nº 64/2008, nº 46/2011 e nº 17/2014. O resultado encontrado sobre a forma como as diferentes normativas abordam o uso do composto de RSOU para a agricultura orgânica está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Evolução histórica do texto que aborda o uso de composto de RSOU para os sistemas orgânicos de produção, até a atual Portaria Mapa nº 52/2021

Instrução Normativa	Evolução texto do Anexo V sobre composto de RSOU	Condições gerais	Condições adicionais para substâncias e produtos obtidos de sistemas de produção não orgânicos
IN nº 64/2008	Composto orgânico proveniente de lixo doméstico	Permitido desde que oriundo de coleta seletiva; permitido para culturas perenes desde que bioestabilizado e não usado diretamente nas partes aéreas comestíveis; definição da quantidade a ser utilizada em função do manejo e da fertilidade do solo, tendo como referência os parâmetros técnicos de recomendações regionais de forma a evitar possíveis impactos ambientais.	Permitido somente com a autorização do OAC ou da OCS desde que os limites máximos de contaminantes não ultrapassem os estabelecidos no Anexo VII.
IN nº 46/2011	Composto orgânico proveniente de lixo doméstico	Permitidos desde que oriundo de coleta seletiva; permitido para culturas perenes, desde que bioestabilizado e não usado diretamente nas partes aéreas comestíveis; definição da quantidade a ser utilizada em função do manejo e da fertilidade do solo, tendo como referência os parâmetros técnicos de recomendações regionais de forma a evitar possíveis impactos ambientais.	Permitido somente com a autorização do OAC ou da OCS desde que os limites máximos de contaminantes não ultrapassem os estabelecidos no Anexo VI.
IN nº 17/2014	Composto proveniente de resíduos orgânicos domésticos , resíduos de alimentos oriundos de comercialização, preparo e consumo em estabelecimentos comerciais e industriais, e materiais vegetais de podas e jardins.	Permitido para culturas perenes, florestais e ornamentais, desde que bioestabilizado e não usado diretamente nas partes aéreas comestíveis; permitidos desde que oriundo de coleta seletiva; permitidos desde que seu uso e manejo não causem danos à saúde e ao meio ambiente	Permitido somente com a autorização do OAC ou da OCS. As análises de risco que indicarão a necessidade de verificação dos contaminantes constantes do Anexo VI desta IN devem levar em consideração o estabelecimento ou a propriedade de origem do insumo, não sendo obrigatórias por partida.
Portaria nº 52/2021	Composto proveniente de resíduos orgânicos domésticos , resíduos de alimentos oriundos de comercialização, preparo e consumo em estabelecimentos comerciais e industriais.	Permitido desde que oriundo de coleta seletiva e bioestabilizado, e desde que seu uso e manejo não causem danos à saúde e ao meio ambiente.	Permitido desde que não usado diretamente nas partes aéreas comestíveis, e autorizado pelo OAC ou OCS mediante a realização de análise de risco. A análise de risco indicará a necessidade de verificação dos contaminantes constantes do Anexo VI.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Nota-se que as IN Mapa nº 64/2008 e nº 46/2011 trazem redações idênticas para esse ponto específico, não alterado em sua nova edição: continuam a utilizar o termo “lixo doméstico” e restringem o uso do composto produzido com resíduos alimentares domésticos nas partes aéreas comestíveis, assemelhando-se àquelas restrições dos insumos Classe D descritos anteriormente. Nas condições adicionais para substâncias e produtos obtidos de sistemas de produção não orgânicos, sua permissão se dava apenas com a autorização da OAC ou OCS, desde que seus limites máximos de contaminantes não ultrapassasse aqueles exigidos nos respectivos regramentos. Ou seja, era obrigatória por partida, a análise dos contaminantes.

Por sua vez, em revisão posterior, a IN Mapa nº 17/2014 altera a redação dessa denominação para “resíduos orgânicos domésticos”, o que pode parecer uma modificação simples, mas, ao mesmo tempo, uma mudança conceitual que valoriza a fração orgânica dos resíduos enquanto matéria-prima.

Vale ressaltar que, entre a publicação das INs Mapa nº 46/2011 e nº 17/2014, algumas discussões e marcos legais ocorriam no âmbito da ciência, da sociedade, do poder público — como a publicação da Lei nº 12.305/2010, que institui a PNRS no Brasil — e da sociedade civil organizada sobre a restrição de uso do composto produzido por restos de alimentos de áreas urbanas para a agricultura orgânica (CEPAGRO, 2014; SESC, 2014).

A Lei nº 12.305/2010 incentiva a compostagem ao atribuir aos geradores e aos gestores estaduais e municipais responsabilidades para uma destinação ambientalmente adequada dos resíduos produzidos, sendo a compostagem reconhecida como uma opção válida para sua reciclagem e atribui ao titular dos serviços de limpeza pública a responsabilidade de fomentar a implantação de sistemas de compostagem para resíduos sólidos orgânicos, com a articulação de agentes econômicos e sociais sobre as possíveis formas de utilização do composto produzido.

Nesse sentido, a IN Mapa nº 17/2014 acaba por descrever esse produto como “Composto proveniente de resíduos orgânicos domésticos, resíduos de alimentos oriundos de comercialização, preparo e consumo em estabelecimentos comerciais e industriais, e materiais vegetais de podas e jardins” (BRASIL, 2014, p. 11), tratados aqui como os resíduos sólidos orgânicos de origem urbana. Entretanto, mantêm-se a restrição de uso exclusivamente para plantas perenes, florestais, ornamentais e não usados diretamente nas partes comestíveis.

A partir dessa publicação, é introduzida uma pequena redação, mas com grande representatividade para garantia da qualidade do produto final, que é a frase: “permitidos desde que oriundo de coleta seletiva” (BRASIL, 2014, p. 11).

Sobre o processo de compostagem em si, diferentes grupos e organizações sociais, pesquisadores e poder público, por intermédio do MMA, discutem formas de garantir um processo eficiente e seguro para a reciclagem da fração orgânica dos resíduos, que culmina nesse importante marco para a compostagem no Brasil: a Resolução Conama MMA nº 481/2017 (BRASIL, 2017c).

Até então inexistente a nível federal, essa Resolução estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental no processo de compostagem de resíduos orgânicos e visa à proteção do meio ambiente na busca de reestabelecer o ciclo natural da matéria orgânica e seu papel natural de fertilizar os solos.

Além do mais, define termos de relevante importância para o presente trabalho, que outrora causavam divergências conceituais, a saber:

Art. 2º

[...]

IV – composto: produto estabilizado, oriundo do processo de compostagem, podendo ser caracterizado como fertilizante orgânico, condicionador de solo e outros produtos de uso agrícola;

V – higienização: processo de tratamento de redução de patógenos de acordo com critérios estabelecidos nesta Resolução;

[...]

VII – reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas a transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do [Sistema Nacional do Meio Ambiente, Sisnama] e, se couber, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa);

[...]

XI – resíduos orgânicos: são aqueles representados pela fração orgânica dos resíduos sólidos, passível de compostagem, sejam eles de origem urbana, industrial, agrossilvipastoril ou outra;

XII – resíduos recicláveis: são aqueles representados pela fração de resíduos passíveis de reciclagem, com exceção dos resíduos orgânicos que podem ser reciclados por meio de compostagem;

XIII – resíduos sólidos urbanos: aqueles originários de atividades domésticas em residências urbanas, da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana, de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços [...] (BRASIL, 2017c, online).

Para essa Resolução, é vedada a adição de resíduos perigosos na compostagem, compreendidos por aqueles dispostos em legislações específicas e normas técnicas aplicáveis. Sobre a qualidade ambiental do processo, deve-se garantir o período termofílico mínimo para redução de agentes patogênicos de acordo com o apresentado no Anexo I dessa Resolução. Quando comercializado e aplicado no solo, deve seguir os padrões de qualidade estabelecido pelo Mapa, conforme as normativas citadas anteriormente.

Os resíduos orgânicos originários dos resíduos sólidos urbanos destinados ao processo de compostagem devem, preferencialmente, ser originados de segregação na origem em, no mínimo, três frações: resíduos recicláveis, resíduos orgânicos e rejeitos. Por fim, estimula a inclusão de associações ou cooperativas para operação de unidades de compostagem administradas pelo poder público e incentiva os municípios a criarem metas progressivas para o aumento da reciclagem da fração orgânica, a partir de seus planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos (BRASIL, 2017c).

Nesse sentido, entende-se que há uma tendência cada vez maior em incentivar o desvio do aterro sanitário da fração orgânica dos resíduos urbanos, destacando-a como matéria-prima de qualidade suficiente para garantir um uso seguro para a agricultura. Esses esforços são demonstrados nos últimos anos por meio das revisões e da criação de importantes legislações que envolvem desde a geração dos resíduos, seu processamento pela compostagem e condições de uso para a agricultura.

Apesar de diferentes órgãos governamentais desenvolverem esses regulamentos, observa-se que há diálogo entre os instrumentos legais apresentados, fato que resulta em uma estrutura com enorme potencial para tornar possível a economia circular da reciclagem dos RSOU por meio da compostagem.

A publicação da Portaria Mapa nº 52/2021 reorganiza o regulamento técnico para os sistemas orgânicos de produção e revoga as normativas anteriores, centralizando-as em um único documento. Nessa nova redação, pela primeira vez na história da agricultura orgânica brasileira, permite-se o uso do composto proveniente de resíduos orgânicos domésticos, resíduos de alimentos oriundos de comercialização, preparo e consumo em estabelecimentos comerciais e industriais desde que oriundos de coleta seletiva e bioestabilizado, e desde que seu uso e manejo não causem danos à saúde e ao meio ambiente (BRASIL, 2021), sem a restrição de uso abordada nas INs anteriores.

Entretanto, seu uso irrestrito se dá em uma condição geral, ou seja, que utilize matéria-prima oriunda de sistemas de produção orgânicos. Quando considerada a matéria-prima com origem de sistemas não orgânicos, a restrição “permitidos desde que não usado diretamente nas

partes aéreas comestíveis” permanece. Além do mais, deverá ser autorizado pelos OAC ou OCS mediante realização da análise de risco e, a análise de risco indicará a necessidade de verificação dos limites de contaminantes exigidos pelo Anexo VI dessa mesma Portaria.

Nesse aspecto, desde as alterações trazidas pela IN nº 17/2014 e mantidas na Portaria nº 52/2021, a obrigatoriedade da análise de contaminantes está condicionada à análise de risco, que deve levar em consideração o estabelecimento ou a propriedade de origem do insumo, não sendo obrigatórias por partida.

Logo, se a origem da matéria-prima definida por esse regulamento como resíduos orgânicos domésticos, resíduos de alimentos oriundos de comercialização, preparo e consumo em estabelecimentos comerciais e industriais for proveniente de sistemas orgânicos, ele pode ser utilizado sem restrição de uso, desde que, atenda as condições impostas sobre coleta seletiva, que esteja bioestabilizado e que seu uso e manejo não prejudiquem à saúde e o meio ambiente.

No entanto, esse cenário é possível em condições extremamente restritas, como em uma unidade de produção orgânica ou em estabelecimentos industriais e comerciais que trabalham exclusivamente com matérias-primas de produção orgânica. Nesse sentido, grande parte da fração orgânica dos resíduos urbanos, que são gerados ainda em sua maioria pelas sobras dos sistemas convencionais de produção agrícola, tende a gerar um produto final com as restrições de uso apresentados por essa Portaria.

Alguns entendimentos ainda se mantêm confusos na redação do atual regramento da produção orgânica, como, por exemplo, a restrição: “permitido desde que não usado diretamente nas partes aéreas comestíveis”, se faz de difícil compreensão pois, se há um receio em utilizar o composto de RSOU, por que limitá-lo às partes aéreas comestíveis, e não às partes comestíveis como um todo? Quer dizer que ele pode ser utilizado em raízes e tubérculos, mas em folhosas e frutíferas não poderia?

Ainda em comparação à IN Mapa nº 17/2014 e à Portaria Mapa nº 52/2021 sobre a valorização da fração orgânica para a produção de insumos aceitos na agricultura orgânica, segundo suas definições sobre compostagem, observa-se:

Art. 3º

[...]

II – compostagem: processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo o material ser enriquecido com minerais ou agentes capazes de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas e isento de substâncias proibidas pela regulamentação de orgânicos;

III – composto orgânico: produto obtido por processo de compostagem;

[...] (BRASIL, 2017c).

Art. 2º

[...]

VI – compostagem: processo de decomposição onde microrganismos agindo em condições adequadas de temperatura e umidade, transformam a matéria orgânica de origem animal ou vegetal e suas misturas em fertilizante natural para o solo, ao mesmo tempo em que reduz a presença de agentes patogênicos e sementes de invasoras eventualmente presentes na matéria-prima, podendo ser enriquecido com minerais ou agentes capazes de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas, autorizadas neste Regulamento Técnico;

VII – composto orgânico: produto obtido por processo de compostagem;

[...] (BRASIL, 2021, online).

Nota-se que essa nova redação (BRASIL, 2021) apresenta o processo de compostagem em consonância com a Resolução Conama nº 481/2017 e à IN SDA Mapa nº 61/2020, estruturada de maneira que valida a compostagem como um processo eficaz de transformação da matéria orgânica em fertilizante natural para o solo e de reduzir a presença de agentes

patogênicos e sementes de invasoras, quando conduzida em condições adequadas de temperatura e umidade.

Ao analisar o composto produzido por projeto comunitário de Florianópolis, oriundo de resíduos urbanos, que utiliza modelo de gestão descentralizada de compostagem por intermédio do Método UFSC de compostagem, Assis (2016) conclui que, em dois anos consecutivos, os limites de contaminantes encontrados no produto final estavam dentro dos padrões estabelecidos para fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo.

O trabalho de Pai Neto (2017) apresenta o mesmo método utilizado em um pátio de compostagem de Florianópolis com capacidade superior de carga, projeto que realiza o tratamento de resíduos de grandes geradores por intermédio da Associação Orgânica (AO), demonstrando também resultados que se enquadram aos limites de metais pesados estabelecidos pela regulamentação de fertilizantes, condicionadores de solo e substratos para plantas, assim como aos limites de tolerância da Portaria nº 52/2021.

Para Galvão, Ruiz e Costa (2019), resultados encontrados em análise de composto, utilizando o Método UFSC de compostagem para tratar, de forma descentralizada e com segregação na origem, resíduos orgânicos de feiras livres de São Paulo apresentaram também resultados que se enquadram na legislação de fertilizantes orgânicos, em acordo com a IN SDA nº 27/2006.

Mesmo que não classifique em diferentes categorias as substâncias e produtos utilizados para os sistemas orgânicos de produção, seu regulamento trata historicamente do composto produzido a partir de resíduos orgânicos urbanos, da mesma maneira que as outras normativas apresentadas tratam o composto que utiliza material de origem sanitária ou potencialmente tóxica.

Nesse sentido, após a interpretação e discussão realizada com as normativas anteriormente apresentadas, permite-se fazer uma comparação desse processo histórico que culmina na Portaria nº 52/2021, com a valorização dos insumos produzidos a partir dos RSOU para a agricultura orgânica, tomando-se como modelo a figura do pódio, também apresentada para os fertilizantes orgânicos (Figura 9).

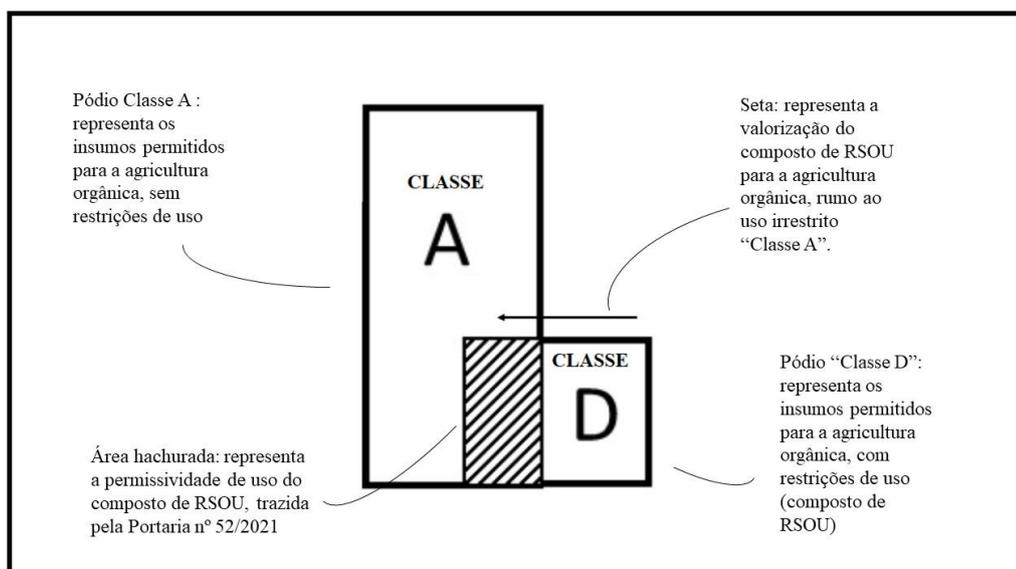


Figura 9. Representação da valorização histórica do composto produzido por RSOU para a agricultura orgânica.

Nessa figura, simbolicamente, a letra “D” ilustra a restrição de uso apontado pela Portaria nº 52/2021 que não permite seu uso diretamente nas partes aéreas comestíveis,

assemelhando-se às demais normativas apresentadas para os condicionadores de solo, substratos para plantas e fertilizantes orgânicos compostos. A parte hachurada representa o apontamento recente de não impor restrição de uso ao composto produzido por matérias-primas de origem da produção orgânica, observação que permite inferir que há uma tendência em rumar para o primeiro lugar do pódio (Classe A), sem restrições de uso, conforme considerada por outras INs.

A parte que se mantém externa, ainda representada pela “Classe D” e sem hachura, é a representação da resistência dada pela regulamentação da produção orgânica em considerar o composto de RSOU como apto e seguro, impondo a restrição de uso para as “partes aéreas comestíveis”, quando a matéria-prima for originada de sistemas não orgânicos de produção.

Ao comparar alguns produtos semelhantes ao composto de RSOU apresentados no Anexo V da Portaria nº 52/2021, como o “Composto orgânico, vermicomposto” e “Excrementos de animais, compostos e biofertilizantes obtidos de componentes de origem animal”, estes não apresentam a restrição de uso para aplicação nas partes aéreas comestíveis como o composto de RSOU. Ou seja, na analogia das classes apresentada na figura do pódio, seriam pertencentes ao grupo do retângulo “Classe A”.

Porém, acredita-se que os avanços em métodos eficientes de compostagem, associados à pesquisa, podem comprovar seu uso seguro e irrestrito para esse produto.

4.2 O Composto de RSOU, os Limites de Tolerância para Contaminantes e Padrões Mínimos de Qualidade Admitidos na Legislação Brasileira

Os limites máximos de contaminantes admitidos em condicionadores de solo, substratos para plantas e fertilizantes orgânicos compostos são regulamentados pela IN SDA Mapa nº 27, de 5 de junho de 2006, sendo que em 12 de abril de 2016 seu texto foi parcialmente alterado pela IN SDA Mapa nº 07. Essas duas normativas e seus respectivos anexos abordam sobre as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, aos animais e às plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas para a produção, comercialização e importação de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes (BRASIL, 2006b, 2016).

Em seu Anexo IV, apresenta os limites máximos de tolerância para contaminantes químicos e biológicos permitidos em substratos para plantas, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Limites máximos de contaminantes admitidos em substratos para plantas

Contaminante	Valor máximo admitido
Sementes ou qualquer material de propagação de ervas daninhas	0,5 planta por litro, avaliado em teste de germinação
Espécies fitopatogênicas dos fungos dos gêneros <i>Fusarium</i> , <i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Rhizoctonia</i> e <i>Sclerotinia</i>	Ausência
Arsênio (mg/kg)	20,0
Cádmio (mg/kg)	8,00
Chumbo (mg/kg)	300,00
Cromo (mg/kg)	500,00
Mercúrio (mg/kg)	2,5
Níquel (mg/kg)	175,00
Selênio (mg/kg)	80,00
Coliformes termotolerantes - número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	1.000,00
Ovos viáveis de helmintos - número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4 g ST)	1,00
<i>Salmonella</i> sp.	Ausência em 10 g de matéria seca

Fonte: Adaptada de IN nº 27/2006, redação dada pelo Anexo IV da IN nº 07/2016.

Seu Anexo V trata especificamente dos contaminantes permitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo (Tabela 6).

Tabela 6. Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo

Contaminante	Valor máximo admitido
Arsênio (mg.kg ⁻¹)	20,00
Cádmio (mg.kg ⁻¹)	3,00
Chumbo (mg.kg ⁻¹)	150,00
Cromo hexavalente (mg.kg ⁻¹)	2,00
Mercurio (mg.kg ⁻¹)	1,00
Níquel (mg.kg ⁻¹)	70,00
Selênio (mg.kg ⁻¹)	80,00
Coliformes termotolerantes – número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	1.000,00
Ovos viáveis de helmintos – número por quatro gramas de sólidos totais (n° em 4 g ST)	1,00
<i>Salmonella</i> sp.	Ausência em 10 g de matéria seca
Vidros, plásticos, metais > 2 mm	0,5% na massa seca
Materiais inertes Pedras > 5 mm	5,0% na massa seca

Fonte: Adaptada de IN n° 27/2006, redação dada pelo Anexo V da IN n° 07/2016.

Apesar desses limites de contaminantes apresentados, a IN n° 27/2006 admite tolerância de 30% dos valores definidos, excetuando-se aos estabelecidos como ausentes em seus Anexos IV e V, referentes às espécies fitopatogênicas e à presença de *Salmonella* sp.

Aos sistemas orgânicos de produção, os limites de tolerância para contaminantes permitidos são determinados pela própria Portaria n° 52/2021 em seu Anexo VI, onde apresenta uma tabela exclusiva, diferentemente das outras INs apresentadas. Os valores de referência utilizados como limites máximos admitidos em compostos orgânicos e outras substâncias permitidas como fertilizantes na agricultura orgânica são mais restritivos que aqueles limites apresentados pelas INs n° 27/2006 e n° 07/2016.

A Tabela 7 apresenta uma lista de contaminantes químicos e biológicos permitidos em compostos orgânicos para os sistemas orgânicos de produção, assim como seus limites de tolerância.

Tabela 7. Limites máximos de contaminantes permitidos em compostos orgânicos e outros materiais para sistemas orgânicos de produção

Elemento	Limite (mg.kg ⁻¹ de matéria seca)
Arsênio	20
Cádmio	0,7
Cobre	70
Níquel	25
Chumbo	45
Zinco	200
Mercurio	0,4
Cromo (VI)	0,0
Cromo (total)	70
Selênio	80
Coliformes termotolerantes – número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	1.000
Ovos viáveis de helmintos – número por quatro gramas de sólidos totais (n° em 4 g ST)	1
<i>Salmonella</i> sp.	Ausência em 10 g de matéria seca

Fonte: Adaptada do Anexo VI, Portaria nº 52/2021.

Nota-se que o número de contaminantes é maior para os sistemas orgânicos de produção, onde são incluídos os parâmetros Cu e Zn na lista de metais pesados, assim como os valores máximos admitidos são mais restritivos, com destaque aos elementos: Cd, Cu, Ni, Pb, Zn e Cr (VI). Os valores para os organismos patogênicos, como *Salmonella*, coliformes termotolerantes e ovos viáveis de helmintos, não se diferenciam das IN nº 27/2006 e nº 07/2016.

Os índices de pedra, vidro, plástico e metal são exigidos apenas para condicionadores de solo e fertilizantes orgânicos, não sendo citados na Portaria nº 52/2021. Os organismos fitopatogênicos e materiais propagativos de plantas invasoras são exclusivos aos substratos para plantas, não apresentados limites desses parâmetros para essa normativa da produção orgânica. Em relação aos resultados encontrados a partir do estudo e organização da legislação vigente para uso do composto de RSOU na agricultura, elaborou-se a Tabela 8, onde observa-se a organização de todos os parâmetros e seus respectivos limites de contaminantes e padrão de qualidade exigidos pelas INs e pela Portaria aqui apresentadas.

Tabela 8. Comparação entre limites de tolerância de contaminantes permitidos em fertilizantes orgânicos, condicionadores de solo, substratos para plantas e fertilizantes para sistema orgânico de produção. NMP = número mais provável; ST = sólidos totais; C org. mín = carbono orgânico mínimo; N tot. mín. = nitrogênio total mínimo; CTC = capacidade de troca de cátions, expressa em milimol-carga (mmolc); CRA = capacidade de retenção de água. A linha tracejada indica os parâmetros que se diferenciam entre as INs e a Portaria.

Contaminante	Portaria nº 52/2021	IN nº 27/2006 (Anexo IV – em substrato para plantas) complementada pela IN nº 07/2016	IN nº 27/2006 (Anexo V – em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo) complementada pela IN nº 07/2016
	Valor máximo admitido (mg.kg ⁻¹)		
Arsênio	20	20	20
Cádmio	0,7	8	3
Cobre	70	-	-
Níquel	25	175	70
Chumbo	45	300	150
Zinco	200	-	-
Mercurio	0,4	2,5	1
Cromo VI	0	-	2
Cromo (total)	70	500	-
Selênio	80	80	80
Coliformes termotolerantes (NMP/g de sólidos totais)	1.000	1.000	1.000
Ovos viáveis de helmintos (n.4g ⁻¹ ST)	1	1	1
<i>Salmonella</i> sp	ausência em 10 g de MS	ausência em 10 g de MS	ausência em 10 g de MS
Semente ou qualquer material de propagação de erva-daninha	-	0,5 planta por litro, avaliado em teste de germinação	-
Espécies fitopatogênicas (<i>Fusarium</i> , <i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Rhizoctonia</i> e <i>Sclerotinia</i>)	-	ausência	-
Índice de pedra (IP) peneira 5 mm, %m/m	-	-	5,0% na massa seca
Índice de vidro, plástico e metal (IVPM)	-	-	0,5% da massa seca
Parâmetros de qualidade mínima exigidos aos condicionadores de solo IN nº 35/2006			
CTC (mmolc.kg ⁻¹) > 200 CRA (%) > 60			
Parâmetros de qualidade mínima exigidos pela IN nº 61/2020 para fertilizantes orgânicos compostos			
C org. mín. (%) > 15	N tot. mín. (%) > 0,5	Relação C:N máx. < 20	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Acredita-se que essa organização facilite a compreensão dos parâmetros que devem ser analisados como contaminantes para os diferentes usos em que o composto de RSOU pode ser empregado e verificar sua segurança de uso ou conformidade, assim como para uma finalidade

específica. Com isso, contribui-se para a realização de resultados completos sobre os parâmetros exigidos, sem a existência de lacunas ou gastos extras com parâmetros desnecessários.

4.3 Resultados de Compostos de RSOU Segregados na Fonte

Foram encontrados dez resultados de análises de compostos orgânicos provenientes de RSOU segregados na fonte que avaliaram os parâmetros de contaminantes exigidos pela legislação brasileira. Destes, seis se originam da pesquisa bibliográfica realizada pelos critérios descritos, dois de relatórios internos do Sesc-SC e dois cedidos por instituições parceiras por meio de comunicação pessoal (Tabela 9).

Tabela 9. Diferentes análises de compostos provenientes de RSOU e suas respectivas fontes

	Análise	Fonte
1	Sesc (2014)	Relatório interno do Hotel Sesc Cacupé (2014)
2	Sesc (2020)	Relatório interno do Hotel Sesc Cacupé (2020)
3	Camping do Rio Vermelho (CRV 2014)	Cedido pela Cepagro (2014)
4	Projeto Revolução dos Baldinhos (PRB 2014)	Assis (2016)
5	Projeto Revolução dos Baldinhos (PRB 2015)	Assis (2016)
6	Projeto Revolução dos Baldinhos (PRB 2016)	Assis (2016)
7	São Paulo (SP 2016)	Galvão, Ruiz e Costa (2019)
8	São Paulo (SP 2017)	Galvão, Ruiz e Costa (2019)
9	Associação Orgânica (AO 2016)	Pai Neto (2016)
10	Organossolo (OS 2019)	Cedido por Organossolo Biotecnologia Agroambiental Eireli (2022)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Dessas dez análises apresentadas, nove foram realizadas pelo Método UFSC de compostagem e apenas a OS desenvolve processo mecanizado com revolvimento das pilhas de compostagem. Apesar da semelhança no método utilizado, a característica dos resíduos e a fonte de material estruturante se diferenciam, conforme descritos na Tabela 10.

Ainda que o Método UFSC de compostagem apresente vantagens na sua simplicidade de operação e nos custos reduzidos de implantação, utiliza muito material estruturante, o que pode ser limitante em alguns locais (INÁCIO; MILLER, 2009). Desse modo, a busca por parcerias e estratégia logística para a obtenção dessa matéria-prima é fundamental para o seu bom funcionamento.

Tabela 10. Principais características dos RSOU das iniciativas analisadas

Iniciativa	Característica	Origem do resíduo	Material estruturante
Sesc (2014)	Compostagem institucional	Sobras do preparo e consumo de alimentos diversos do restaurante do HSCAC segregados na origem	Palha de restos culturais (trigo, arroz e capim), folhas de varrição e maravalha da cama de cavalos (Sociedade Hípica Catarinense)
Sesc (2020)			Palha de restos culturais (trigo, arroz e capim), folhas de varrição e serragem da cama de cobaias (biotério central da UFSC)
Camping do Rio Vermelho (2014)	Compostagem institucional	Sobras do preparo e consumo dos campistas e restaurante do Camping segregados na origem	Folhas de varrição e acícula de Pinus
Projeto Revolução dos Baldinhos (2014, 2015 e 2016)	Gestão Comunitária de Resíduos Orgânicos	Sobras do preparo e consumo de alimentos domésticos, segregados na origem, da própria comunidade	Palha de restos culturais (trigo arroz e capim), serragem/maravalha de marcenaria
São Paulo (2016 e 2017)	Compostagem da gestão pública de RSU do município de São Paulo	Resíduos de feiras livres do município (frutas, legumes e verduras – FLV)	Cepilho de poda triturada
Associação Orgânica (2016)	Parceria da gestão pública de RSU do município de Florianópolis (Comcap) com a AO	Sobras do preparo e consumo de alimentos de grandes geradores: restaurantes, hospitais e condomínios	Palha de restos culturais (trigo, arroz e capim), cepilho de poda triturada
Organossolo (2019)	Compostagem empresarial de grande escala	Resíduos da indústria: cervejaria, sucos e refrigerantes, pães, massas e bolos, cosméticos e látex; sobras do preparo e consumo de refeitórios; FLV de supermercados segregados na origem	Cepilho de poda triturada

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

A palha de restos culturais, como trigo, arroz entre outras gramíneas descritas como material estruturante no HSCAC (2014 e 2020), no PRB (Cepagro, 2014, 2015 e 2016) e na AO (2016) é originada das Centrais Estaduais de Abastecimento (Ceasa/São José), utilizada como proteção no transporte de frutas, como melancia e abacaxi. Torna-se um resíduo após o descarregamento dessas frutas e uma matéria-prima de excelente qualidade, muito utilizada em projetos de compostagem de Florianópolis e região. É representada por espécies da família *Poaceae* como restos culturais de arroz, trigo e espécies diferenciadas de forrageiras, com fibras longas e paralelas, características ideais para estruturar as paredes da composteira.

Quanto ao material estruturante que será misturado aos outros resíduos orgânicos no interior da composteira, é desejável que possua características de fibras curtas (para facilitar sua mistura) e, se possível, que contenha uma alta relação C:N, contribuindo para uma lenta degradação e manutenção dos atributos necessários para garantir as qualidades da arquitetura da leira e sua funcionalidade quanto à aeração passiva. Nesse caso, tem sido utilizados serragem, maravalha e restos de poda triturada, resíduos urbanos que podem ser encontrados em abundância nos ambientes urbanos, por meio de diversas fontes.

Nota-se que, a partir da organização apresentada na Tabela 10, as dez análises apresentadas foram coletadas em seis iniciativas diferentes, com diversas origens dos resíduos tratados, porém todos com segregação na fonte geradora.

Os resultados encontrados para contaminantes físicos, químicos e biológicos foram comparados aos limites de tolerância exigidos pela Portaria Mapa nº 52/2021, aos Anexos IV e V da IN SDA Mapa nº 27/2006, com suas respectivas atualizações da IN SDA Mapa nº 07/2016 (Tabela 11).

Tabela 11. Apresentação das dez análises de composto orgânico acessadas, comparadas aos limites de tolerância de contaminantes da Portaria nº 52/2021 e aos Anexos IV e V da IN SDA nº 27/2006, alterada pela IN SDA nº 07/2016 de diferentes projetos que utilizam matéria-prima de RSOU. Sesc = Hotel Sesc Cacupé; CRV = Camping do Rio Vermelho/Cepagro, PRB = Projeto Revolução dos Baldinhos/Cepagro, SP = Compostagem de resíduos de feiras livres no município de São Paulo; AO = Associação Orgânica/Comcap; OS = Organossolo.

	Portaria 52/2021	IN nº 27/2006 – Anexo IV (alterada pela IN nº 07/2016)	IN nº 27/2006 – Anexo V (alterada pela IN nº 07/2016)	Sesc 2014	Sesc 2020	CRV 2014	PRB 2014	PRB 2015	PRB 2016	SP 2016	SP 2017	AO 2016	OS 2019
Elemento													
Arsênio	20	20	20	7,9	1,52	1,9	<0,2		24,55		<1,0	< 0,1	0,48
Cádmio	0,7	8	3	3,9	<0,001	<0,5	<2	0	<0,395	<0,5	0,9	0,44	0,3
Cobre	70	–	–	<0,001	2	<0,001			<0,250				0,004
Níquel	25	175	70	1,6	<0,11	<1,0	<2	37,28	0,74	11,3	3,2	1,32	10,7
Chumbo	45	300	150	5	1,9	<1,0	70,8	0	<0,833	6,4	5	5,04	11,9
Zinco	200	–	–	0,004	17,66				<0,305				0,014
Mercurio	0,4	2,5	1	<0,1	<0,002	<0,1	<1		<0,033	0,76	<1,0	<0,05	<0,2
Cromo VI	0	–	2						<0,305	0			<0,02
Cromo (total)	70	500	–	11,4	3,08	<1,0	10	34,76	<0,305		5,8	3	
Selênio	80	80	80	<1,0	<0,01	<1,0	<0,2		<0,833		1	0,03	<0,1
Coliformes termotolerantes (NMP/g de sólidos totais)	1.000	1.000	1.000		11000	1100			30		153,06		60
Ovos viáveis de helmintos (n/4g ST)	1	1	1		0						0		0
<i>Salmonella</i> sp.	ausência em 10g de MS	ausência em 10 g de MS	ausência em 10 g de MS		ausente	ausente		ausente	presente		ausente		ausente
Semente ou qualquer material de propagação de erva daninha	–	0,5 planta por litro, avaliado em teste de germinação	–										
Espécies fitopatogênicas (<i>Fusarium</i> , <i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Rhizoctonia</i> e <i>Sclerotinia</i>)	–	ausência	–										
Índice de pedra (IP) peneira 5mm, %m/m	–	–	5							<0,1	5		
Índice de vidro, plástico e metal (IVPM)	–	–	5							<0,1	0		

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

A Figura 10 a seguir apresenta o percentual de parâmetros analisados por cada iniciativa aqui apresentada, sobre o total de 17 contaminantes considerados na legislação brasileira para uso seguro do composto de RSOU na agricultura.

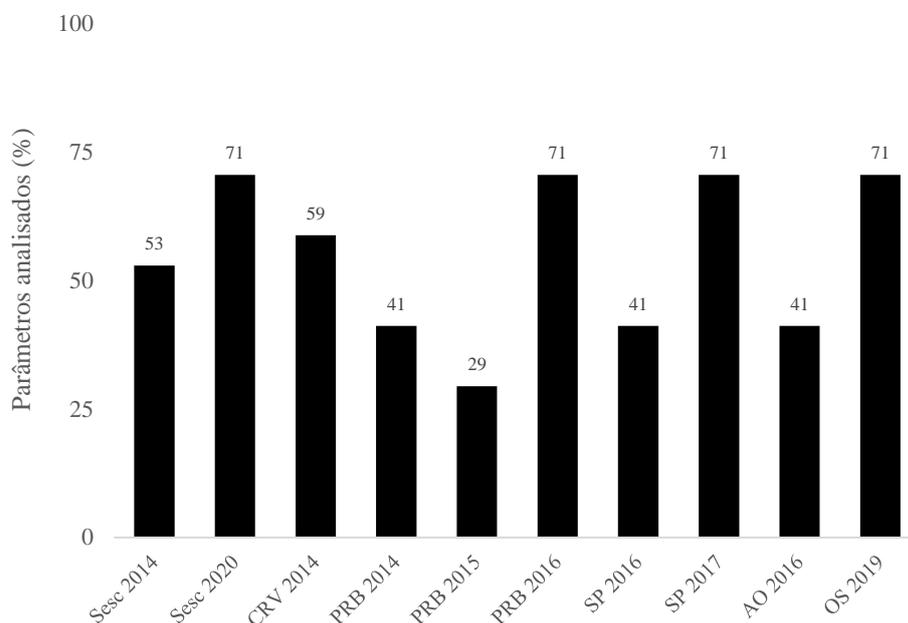


Figura 10. Quantidade de parâmetros analisados entre os diferentes projetos avaliados. Resultado expresso em porcentagem. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Os parâmetros com maior representatividade nas análises foram respectivamente: Cd, Ni e Pb, presentes em todas as análises; seguidos por Hg (90%); As, Cr (total) e Se (80%); *Salmonella* sp. (60%); Cu e coliformes termotolerantes (50%); Zn (40%); Cr hexavalente e ovos viáveis de helmintos (30%); IP e IPVM (20%). Semente ou qualquer material de propagação de erva-daninha e espécies fitopatogênicas não foram considerados nas análises (Figura 11).

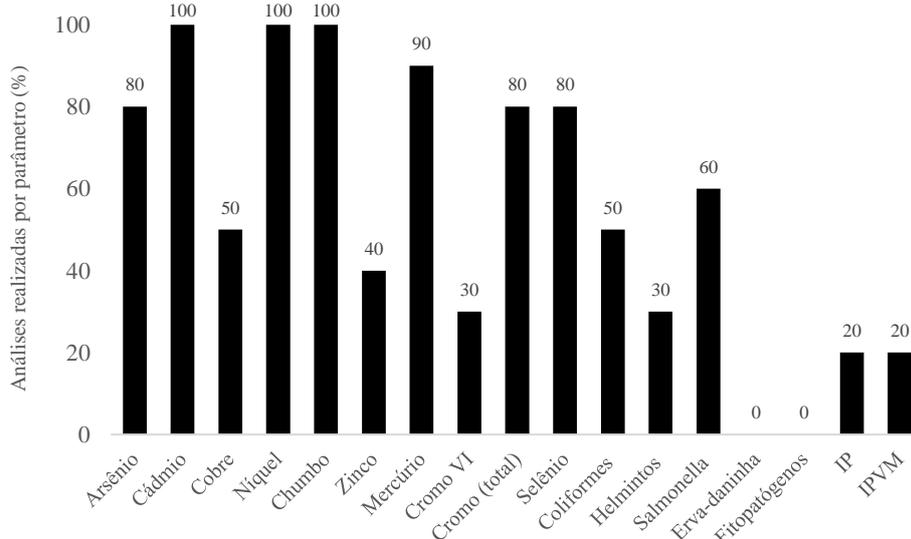


Figura 11. Percentual de parâmetros analisados nas dez iniciativas. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Diante do exposto, nota-se que, entre os elementos considerados como contaminantes químicos, aqueles exclusivos da produção orgânica (Cu e Zn) tiveram pouca representatividade nas análises (50% e 40%), seguidos pelo Cromo VI (30%). O IP e o IPVM também obtiveram

poucos resultados (20%), e a presença de materiais propagativos de ervas daninhas e das espécies de fitopatógenos não foram analisadas em nenhuma das iniciativas. A baixa representatividade de Cu e Zn pode ser compreendida pelo objetivo dos trabalhos avaliados não levarem em conta nas suas pesquisas a Portaria nº 52/2021, onde só foram considerados na pesquisa de Assis (2016), ao analisar os padrões de segurança de uso para a agricultura orgânica do composto produzido pelo PRB (2016); no pátio de compostagem do HSCAC (2014 e 2020); e no CV (CEPAGRO, 2014), por serem projetos de compostagem ligados diretamente à educação ambiental e agricultura orgânica de base agroecológica, apesar deste desconsiderar o elemento Zn em sua análise; e, da OS (2019), por se tratar de uma empresa que comercializa seu produto para diferentes finalidades.

O Cr (VI) foi avaliado apenas em três iniciativas: Assis (2016), Galvão, Ruiz e Costa (2019) e na análise da OS (2019). Apesar de sua importância e já ser considerado pela antiga IN Mapa nº 46/2011 da produção orgânica, foi introduzido como parâmetro de contaminante para os fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo apenas em 2016, a partir da publicação da IN SDA nº 07/2016. Sua ausência nas outras análises pode estar relacionada à dificuldade de se chegar à informação dos parâmetros que devem ser monitorados pela legislação brasileira ou até mesmo por questões financeiras, tendo em vista o elevado custo cobrado para a obtenção desses resultados.

Já o IP e IPVM foram considerados apenas nas análises apresentadas por Galvão, Ruiz e Costa (2019), da compostagem dos resíduos de FLV de feiras livres no município de São Paulo. Por se tratar de compostos produzidos a partir de matéria-prima urbana, consideram-se parâmetros importantes de serem analisados como contaminantes físicos. Embora todos os projetos trabalhem com a sensibilização para uma eficiente segregação na fonte geradora, sabe-se, por experiência prática, que é possível ocorrer a presença desses contaminantes misturados com a fração orgânica. Apesar desses parâmetros não serem obrigatórios, por partida, como critério de contaminação na legislação da produção orgânica, estão sujeitos ao monitoramento pela regulamentação dos fertilizantes orgânicos e merecem atenção quando a matéria-prima utilizada para a compostagem for originada dos RSOU.

Da mesma forma, o monitoramento de propágulos de plantas daninhas e das espécies de fungos fitopatogênicos considerados como contaminantes biológicos para os substratos para plantas não foi considerado em nenhuma das análises realizadas. A não avaliação desses parâmetros pode ser justificada pelos mesmos motivos apresentados acima. Mesmo sabendo que um processo de compostagem bem executado, atingindo-se temperaturas acima de 63 °C, sementes de ervas-daninhas e patógenos de plantas são inviabilizados, somado ainda à contribuição de microrganismos antagonistas presentes no ambiente da compostagem (INÁCIO; MILLER, 2009), o composto orgânico produzido, comercializado, ou importado e utilizado como substrato para plantas, deverá atender às exigências do Anexo IV da IN nº 27/2006 e contribuir aos princípios de precaução para se evitar a introdução de um novo problema para as áreas de cultivo orgânico.

Os organismos patogênicos coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e a presença de *Salmonella* sp. obtiveram também uma baixa representatividade nas análises realizadas pelas iniciativas apresentadas, sendo consideradas em 50%, 30% e 60%, respectivamente. Apesar da contaminação biológica não ser o objetivo principal dos trabalhos apresentados, esses parâmetros são de fundamental importância para garantir o uso seguro do composto e da eficiência do processo de compostagem. Podem ser indicadores para a presença de materiais contaminados utilizados como matéria-prima ou indicar falhas do processo com a possibilidade de serem corrigidas ou melhoradas. Nesse sentido, a Resolução Conama nº 481/2017 estabelece que os lotes de composto que não atenderem aos parâmetros de qualidade ambiental estabelecidos na legislação pertinente (nesse caso, fazendo referência aos organismos

patogênicos), à exceção das substâncias inorgânicas, poderão ser reprocessados para que se adequem aos requisitos mínimos exigidos (BRASIL, 2017c).

Os metais pesados encontrados nos resultados das análises apresentadas foram comparados com as regulamentações brasileiras e serão apresentados a seguir, quando possível acompanhados de uma discussão sobre sua toxicidade, seus benefícios, suas possíveis origens de contaminação, entre outras informações pertinentes ao objeto deste estudo.

4.3.1 Arsênio

A Figura 12 apresenta os dez resultados analíticos obtidos para o elemento Arsênio (As), comparando-o aos limites máximos de tolerância permitidos nas três regulamentações técnicas apresentadas para os diferentes usos do composto de RSOU na agricultura.

Para esse parâmetro, as três normativas apresentam o mesmo limite de concentração para esse elemento (20 mg.kg^{-1}). A IN SDA nº 27/2006 traz, em sua redação, a tolerância de 30% dos valores definidos nessa norma, que resulta em 26 mg.kg^{-1} , indicado pela linha tracejada com ponto duplo. Nota-se que o resultado encontrado por Assis (2016) apresenta um valor acima daquele indicado como limite para esse elemento, porém ainda abaixo da tolerância permitida para os substratos, fertilizantes e condicionadores de solo. Segundo a autora, tal resultado pode estar associado ao uso de madeira tratada utilizada como material estruturante. O resultado apresentado para Sesc (2014), apesar de estar dentro dos padrões estabelecidos, também apresenta valor elevado para esse elemento quando comparado aos outros resultados apresentados.

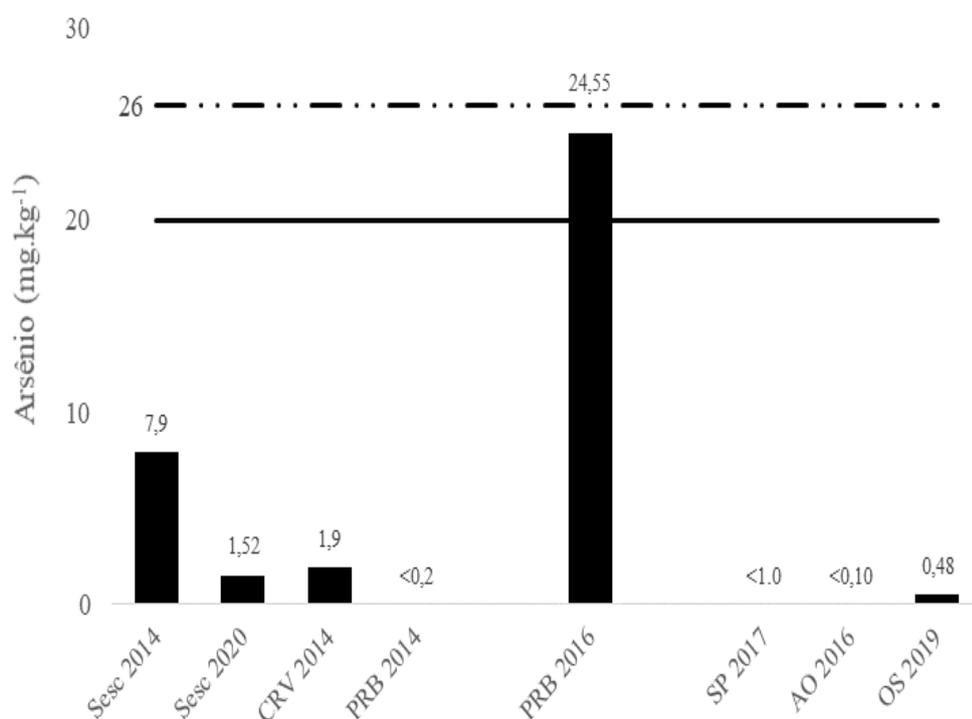


Figura 12. Concentrações de As (mg.kg^{-1}) encontradas nas dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha contínua representa o limite da regulamentação técnica para esse elemento e a linha tracejada com ponto duplo, a tolerância de 30% para substratos para plantas, fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo (26 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2021). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Segundo registros internos do HSCAC sobre o período de compostagem realizado para Sesc em 2014, durante esse ano, foi utilizada a cama de cavalos da Sociedade Hípica Catarinense, cuja procedência da maravalha é desconhecida, podendo haver traços de madeira tratada. Percebe-se que a análise desse mesmo pátio de compostagem, para o ano de 2020, apresentou teores de As bem inferiores, o que pode estar associado à mudança de matéria-prima utilizada como material estruturante nos dois períodos.

A introdução de certos materiais no processo de compostagem deve ser avaliada com muita cautela para evitar a contaminação do produto final e garantir sua segurança de uso. As madeiras de Pinus e eucalipto tratadas por processo de autoclave são submetidas a uma substância chamada de arsenato de cobre cromatado (CCA), por um processo que seja impregnada em seu interior por meio de uma condição de pressão elevada.

Nesse sentido, a IN SDA nº 05/2016, que trata do regulamento técnico para a produção de substratos para plantas, apresenta, em seu artigo 20, a proibição de uso de serragem ou maravalha com resíduos de produtos químicos para o tratamento de madeira. Essa restrição poderia ser uma premissa para o uso de composto de RSOU para a agricultura orgânica, além daquelas já estabelecidas na redação atual.

4.3.2 Cádmio

O resultado apresentado para o elemento cádmio (Cd) é apresentado na Figura 13, sendo extrapolados os limites de concentração para esse elemento em duas análises: Sesc (2014) e São Paulo (2017), sendo que a primeira ultrapassa os padrões de conformidade apresentados para a agricultura orgânica ($0,7 \text{ mg.kg}^{-1}$) e para os fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo ($3,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), e a segunda apenas para a agricultura orgânica.

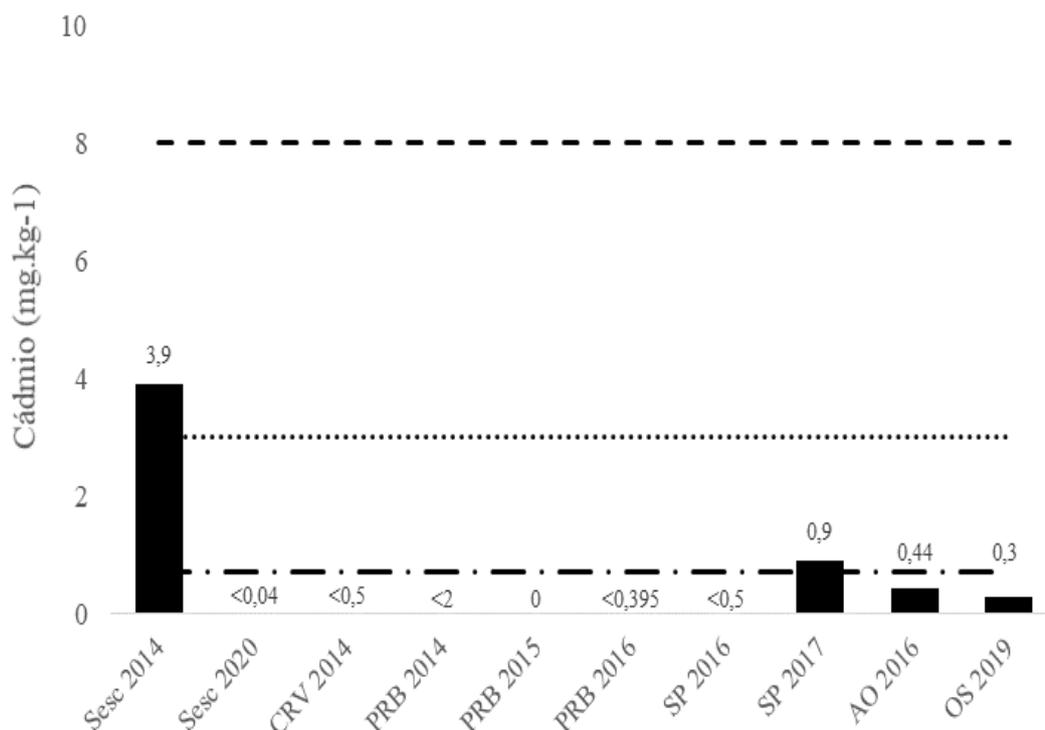


Figura 13. Concentrações de Cd (mg.kg^{-1}) encontradas nas dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha inferior (traço-ponto) indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica ($0,7 \text{ mg.kg}^{-1}$); a linha pontilhada para os condicionadores de solo e

fertilizantes orgânicos ($3,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) e; a linha tracejada para os substratos para plantas (mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2021). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

O Cd é um elemento tóxico, carcinogênico e pode gerar resíduos perigosos em plantas úteis (INÁCIO; MILLER, 2009). Na busca de compreender as possíveis origens dessa contaminação e a realidade dos dois projetos apresentados, sabe-se que esse elemento não foi introduzido por meio de matérias-primas que utilizam o elemento Cd por vias de contaminação conhecidas como pilhas e baterias, pigmentos presentes em tintas, entre outros.

Outra possível fonte de contaminação que explique sua presença nas análises apresentadas pode estar associada ao uso de produtos oriundos da agricultura convencional. O Cd é um elemento natural e está presente nos solos e sua introdução na agricultura está muito ligada aos processos de extração dos fertilizantes fosfatados e suas aplicações sucessivas aos solos agrícolas (BIZARRO; MEURER; TATSCH, 2008). Sua liberação e absorção pelas plantas são associadas ao pH ácido e pode apresentar riscos à saúde humana e ao ambiente. Carvalho *et al.* (2020) identificaram a presença maior de Cd em hortaliças produzidas a partir da agricultura convencional do que aquelas produzidas por sistemas orgânicos. Apesar de os teores de Cd encontrados por esses autores estarem dentro dos padrões estabelecidos pela legislação, alerta-se para o seu risco.

Entretanto, pelo fato de essa inconformidade estar associada a apenas duas análises apresentadas, sendo que somente o Sesc (2014) apresenta um valor relativamente mais elevado que as demais, não se pode chegar a uma conclusão efetiva sobre a origem dessa contaminação nem tampouco que está associada ao uso de matéria-prima originada de sistemas não orgânicos, mas vale a ressalva para o desenvolvimento de pesquisas futuras para monitorar a presença desse elemento em compostos provenientes de RSOU e sua associação com as matérias-primas utilizadas.

Para SP (2016), o material produzido e analisado nesse período se encontra dentro dos padrões estabelecidos para o elemento Cd e pode ser utilizado como fertilizante orgânico, condicionador de solo e substrato para plantas, conforme avaliado por Galvão, Ruiz e Costa (2019).

4.3.3 Cobre e zinco

Os resultados encontrados para os elementos Cu e Zn serão apresentados e discutidos conjuntamente a seguir, pelo fato de serem dois parâmetros exigidos apenas pela Portaria nº 52/2021 e não são considerados como contaminantes para os substratos para plantas, fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo.

A Figura 14 apresenta os teores de Cu das cinco diferentes iniciativas que avaliaram esse elemento, sendo encontrado em concentrações muito baixas. Apenas no Sesc (2020) e no OS (2019) ele foi detectado pelos métodos analíticos utilizados, sendo que nas demais análises apresenta concentrações abaixo dos limites mínimos detectáveis.

As concentrações de Zn são apresentadas na Figura 15, sendo representadas por apenas quatro das dez iniciativas. Seus valores são baixos também em relação aos limites estabelecidos pela regulamentação da produção orgânica e tanto o Cu quanto o Zn não são limitantes para uso nos sistemas orgânicos, de acordo com os resultados encontrados. O Zn e o Cu, em baixas concentrações, são micronutrientes fundamentais para o desenvolvimento de culturas de interesse agrônomo. O Zn age como ativador e componente estrutural de enzimas, assim como de estruturas celulares.

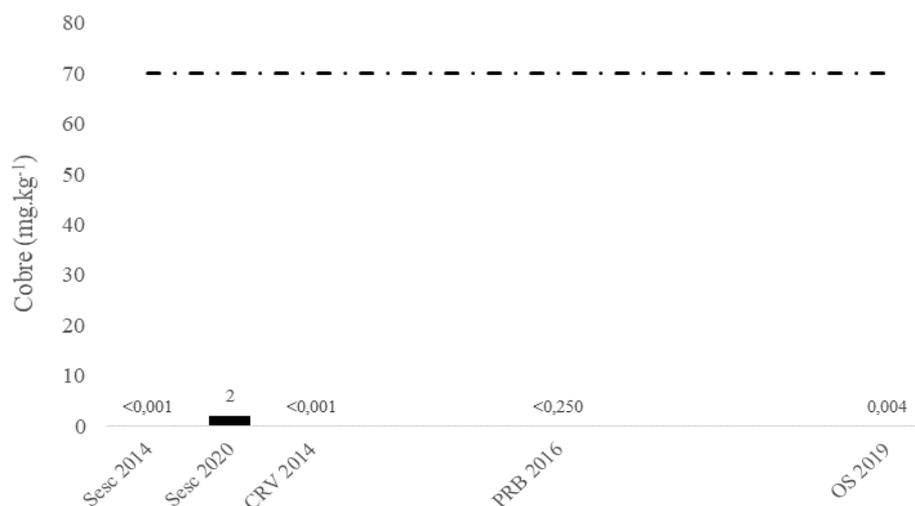


Figura 14. Concentrações de Cu (mg.kg⁻¹) encontradas em cinco diferentes análises de composto de RSOU. A linha traço-ponto indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica (70 mg.kg⁻¹) Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

O Cu é componente de diversas enzimas e catalizador de proteínas ligadas aos processos de fotossíntese. O Zn e o Cu, em baixas concentrações, são micronutrientes fundamentais para o desenvolvimento de culturas de interesse agrônômico.

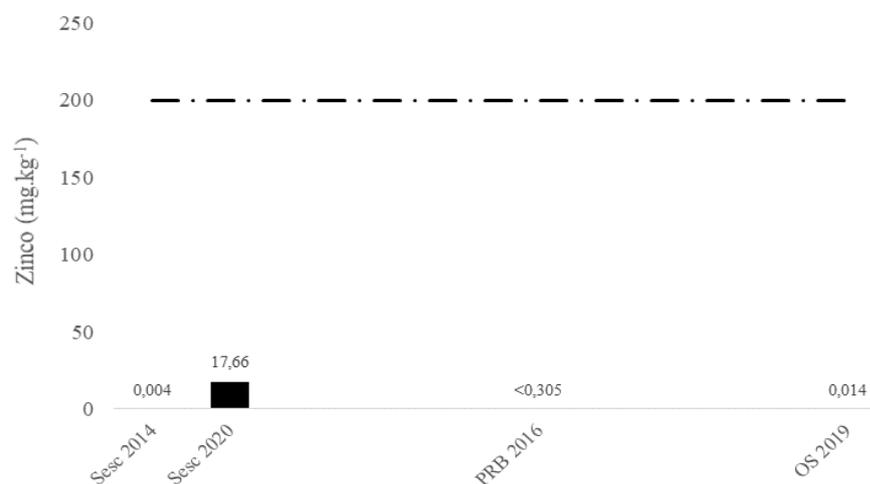


Figura 15. Concentrações de Zn (mg.kg⁻¹) encontradas em quatro diferentes análises de composto de RSOU. A linha traço-ponto indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica (200 mg.kg⁻¹) (BRASIL, 2021). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

O Zn age como ativador e componente estrutural de enzimas e de estruturas celulares no cloroplasto, fazendo parte da plastocianina (OHSE *et al.*, 2001). Esses autores indicam que a falta de disponibilidade desses elementos está associada a deformidades e ao desenvolvimento anormal de plantas de arroz produzidas no sul do Brasil. Para Chaves *et al.* (2010), ao analisarem o acúmulo de Cu e Zn em plantas utilizadas como fitorremediadoras de solos, relatam que sua concentração elevada nos solos passam a ser tóxico para as plantas, com sintomas de redução de crescimento à clorose, onde identificaram, em seu experimento, resultados significativos para os parâmetros de crescimento analisados para as plantas, ao serem submetidas a diferentes concentrações de Zn e Cu, que atingiram concentrações de 150 mg.dm⁻³ e 100 mg.dm⁻³, respectivamente. O Cu, em altas concentrações, pode ser tóxico para diversos organismos, provoca inativação de enzimas citoplasmáticas e estresse oxidativo.

Silva *et al.* (2018) avaliaram o efeito tóxico em planta nativa da Mata Atlântica (Timbaúva) submetida a diferentes concentrações de Zn e concluíram que valores próximos a 200 mg.kg^{-1} afetaram positivamente a altura, o diâmetro do colo, a massa seca aérea e radicular dessa espécie, mas valores superiores prejudicaram seu crescimento. O Zn pode atingir os solos por diversas origens, como por meio de dejetos suínos líquidos, lodo de esgoto, rejeitos de mineração e aplicação sucessiva de fungicidas que contêm esses elementos. Em excesso, pode causar sintomas de toxicidade devido à deficiência induzida de ferro, que causa clorose e interfere na absorção de fósforo, magnésio e manganês (SILVA *et al.*, 2018).

Para Inácio e Miller (2009), o Cu e Zn são elementos que podem se acumular em plantas e partes de plantas de uso alimentício e estão presentes em doses elevadas em esterco de animais monogástricos, como suínos e aves, pelo fato de as rações oferecidas a esses animais apresentarem grandes quantidades desses elementos.

Diante desses fatos, torna-se uma preocupação a presença em doses elevadas desses contaminantes para a agricultura orgânica, tendo em vista que em diversas regiões brasileiras o acesso a esses insumos é facilitado, muitas vezes originado de animais criados em sistemas não orgânicos.

4.3.4 Níquel

Os valores encontrados para o elemento Níquel (Ni) são apresentados na Figura 16, foi analisado em todas as dez iniciativas, destacando-se o resultado apresentado por Assis (2016) para o PRB (2015), que ultrapassa os valores máximos indicados para a produção orgânica.

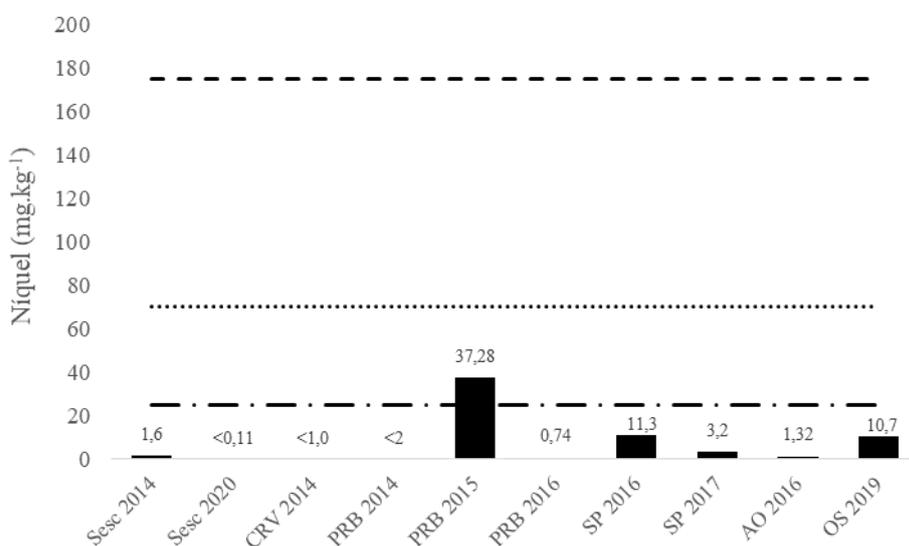


Figura 16. Concentrações de Ni (mg.kg^{-1}) encontradas nas dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha inferior (traço-ponto) indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica (25 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2021); a linha pontilhada os limites máximos permitidos para fertilizante orgânico e condicionadores de solo (70 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2006, Anexo V) e a linha tracejada aos substratos para plantas (175 mg.kg^{-1}) (BRASIL, 2006, Anexo IV). Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Da mesma forma como relatado anteriormente, as possíveis formas de contaminação com metais pesados no processo da compostagem estão associadas à introdução desses elementos pela matéria-prima utilizada, fato que requer atenção e, uma vez identificada, sua origem pode ser evitada e resultar em um produto final seguro para uso agrícola.

Assis (2016) identificou, em seu trabalho, valores altos para metais pesados como Pb (2014), Cr (total) e Ni (2015) e As (2016), inferindo como causa provável o uso de material contaminado com esses elementos, originados de serragem utilizada.

O Ni é a matéria-prima para a produção de pigmentos para tintas, pode ser encontrado em diversas ligas metálicas, em baterias e pilhas, subprodutos e efluentes industriais, lodo de esgoto, entre outros componentes presentes em eletroeletrônicos, acumulando-se no solo, na água e nos seres vivos. É um elemento natural encontrado nos solos, sendo que nos solos agrícolas atingem concentrações entre 3 e 1000 mg.kg⁻¹, na água de 0,7 a 10 µg.dm⁻³ e no ar em baixas concentrações, de 1 a 35 ng.m⁻³ (CETESB, 2012). É um micronutriente envolvido no ciclo do nitrogênio e na produção de aminoácidos. Carlím *et al.* (2019) relatam, em sua pesquisa, um incremento de produtividade de 12% e 6% em teor de proteína, em plantas de soja, submetidas a diferentes dosagens de Ni e molibdênio (Mo).

O Ni é tido como cancerígeno pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC, 2022) e pode ser translocado para partes comestíveis das plantas (INÁCIO; MILLER, 2009). Sendo a alimentação uma das formas de ingestão do Ni, Simões (2018) encontra em sua pesquisa doses elevadas de Ni para a alimentação humana, em especial para crianças e lactantes: analisando 85 amostras de alimentos prontos para o consumo, 76 encontravam-se contaminadas por esse elemento.

4.3.5 Chumbo

Os resultados encontrados para o Chumbo (Pb) são apresentados na Figura 17, também analisado por todas as dez iniciativas, e comparados às concentrações máximas admitidas para esse elemento em insumos agrícolas nas regulamentações brasileiras.

Os valores apresentados por Assis (2016) para o PRB (2014) encontram-se acima dos limites máximos permitidos para a agricultura orgânica e, assim como aqueles valores de Cr (total), Ni e As, foram atribuídos ao uso de serragem contaminada com tinta e metais pesados tóxicos utilizados para o tratamento de madeira. Para seu uso como fertilizante orgânico, condicionador de solo e substrato para plantas, encontra-se dentro dos limites de tolerância (BRASIL, 2006, Anexos IV e V).

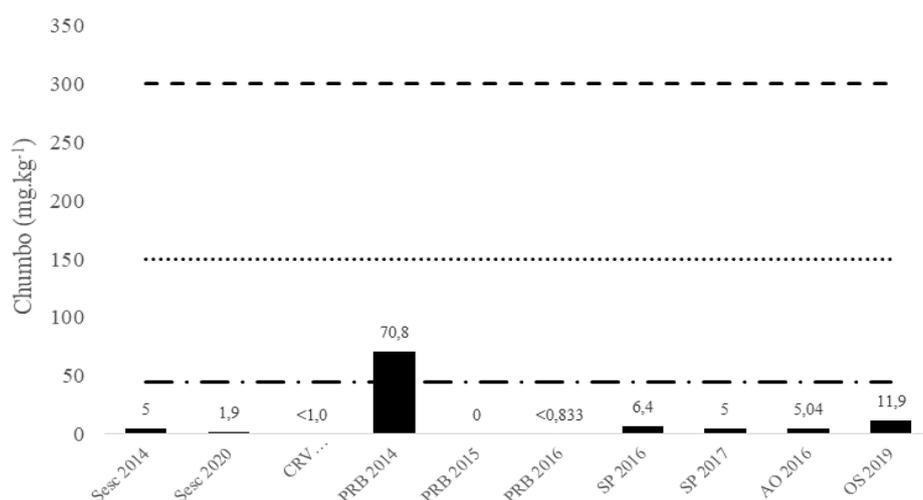


Figura 17. Concentrações de Pb (mg.kg⁻¹) encontradas nas dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha inferior (traço-ponto) indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica (45 mg.kg⁻¹) (BRASIL, 2021); a linha pontilhada os limites máximos permitidos para fertilizante orgânico e condicionadores de solo (150 mg.kg⁻¹) (BRASIL, 2006, Anexo V) e a linha tracejada aos substratos para plantas (300 mg.kg⁻¹), (BRASIL, 2006, Anexo IV). Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

O Pb e outros metais pesados podem estar presentes no solo a partir de sua origem (litogênese), ser introduzidos pelas atividades antrópicas, como em áreas com agricultura intensiva e uso massivo de agrotóxicos, resíduos agrícolas e fertilizantes minerais, associados a altos teores de Pb e Cd (SOUSA *et al.*, 2020). Esses autores constataram acúmulo de Pb em tomates e atribuíram esse resultado à grande quantidade de cama de frango utilizada em região agrícola da região serrana do estado do Rio de Janeiro.

Campos *et al.* (2005), ao determinarem o teor de metais pesados em fosfatos de rochas brasileiras e estrangeiras e avaliarem a eficiência de extração de elementos-traço em fosfatos com três diferentes métodos, apresentam altas concentrações de Pb em fosfatos nacionais naturais. As rochas utilizadas para extração dessa substância também apresentam teores elevados de Cr, Cu, Ni e Zn, e persistem no produto final. Por sua baixa mobilidade no solo, esses elementos se acumulam, são absorvidos pelas plantas e ingressam na cadeia alimentar, sendo as rochas fosfatadas utilizadas na produção dos fertilizantes as maiores fontes de contaminação em solos agrícolas.

É provavelmente por essa razão que a IN SDA nº 27/2006 admite como limite para contaminantes inorgânicos em fertilizantes minerais que contenham o nutriente fósforo, valores superiores aos apresentados para os fertilizantes orgânicos, condicionadores de solo e substratos para plantas, concentrações que variam enquanto fornecedora de Fósforo (P₂O₅) ou em mistura com outros nutrientes (BRASIL, 2006, Anexo I).

4.3.6 Mercúrio

Os resultados encontrados para o elemento Mercúrio (Hg) foram analisados em nove das dez iniciativas apresentadas (Figura 18).

Para esse parâmetro, os valores demonstrados por Galvão, Ruiz e Costa (2019), sobre a compostagem de resíduos de FLV de feiras livres no município de São Paulo, apresentaram concentrações acima do permitido para a legislação da produção orgânica, porém em conformidade para uso como fertilizante orgânico, condicionador de solo e substrato para plantas.

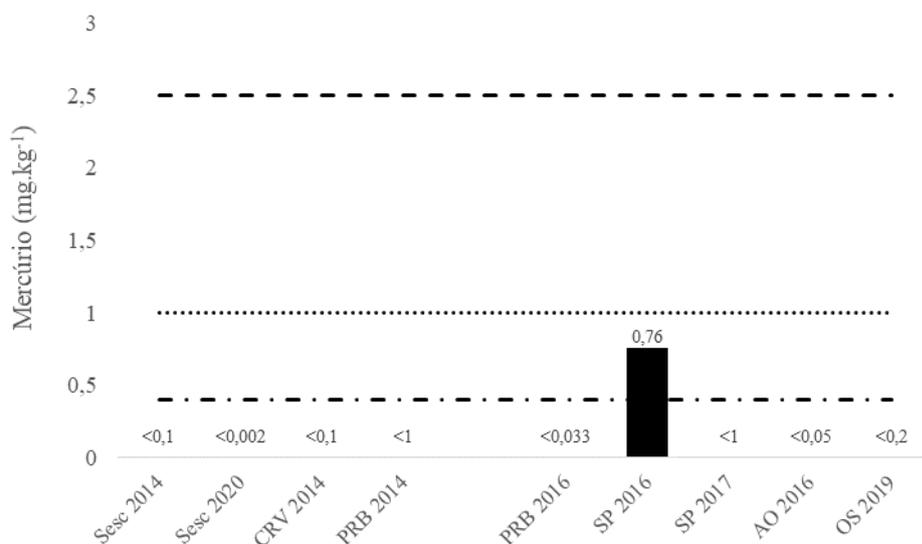


Figura 18. Concentrações de Hg (mg.kg⁻¹) encontradas em nove das dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha inferior (traço-ponto) indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica (0,4 mg.kg⁻¹) (BRASIL, 2021); a linha pontilhada os limites máximos permitidos para fertilizante orgânico e condicionadores de solo (1 mg.kg⁻¹) (BRASIL, 2006, Anexo V) e a linha tracejada aos substratos para plantas (2,5 mg.kg⁻¹) (BRASIL, 2006, Anexo IV). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

O Hg é considerado um metal muito tóxico e pode causar uma série de doenças relacionadas à sua exposição direta ou por meio de seus compostos, como distúrbios mentais diversos, arritmias cardíacas, gengivite, estomatite, dermatite, entre outros efeitos tóxicos agudos. Seu uso é empregado em uma série de atividades humanas, como mineração do ouro, fabricação de aparelhos diversos, medicamento, agrotóxicos, pigmentos para tintas, fogos de artifício, reagente químico para finalidades diversas, produtos farmacêuticos, cosméticos, fotografia, entre outros (BRASIL, 2022).

Câmara e Corey (1995), ao discorrerem sobre os produtos mercuriais na agricultura, relatam o uso de óxido amarelo de mercúrio e alcoxi-álquil mercurial em culturas como cana-de-açúcar, soja, trigo, milho, batata e tomate, na utilização intensa por produtores brasileiros como fungicidas para essas plantas. Segundo esses autores, tais produtos foram proibidos em 1975, devido aos fatores ambientais, sua estabilidade e acumulação, efeitos sobre o sistema nervoso e por sua capacidade de penetrar a barreira placentária, sendo utilizados apenas em sementes, até a proibição do emprego de todos os compostos mercuriais na agricultura brasileira, em 1980, pelo Mapa, porém continuaram sendo utilizados de maneira clandestina.

Nesse sentido, é difícil de inferir a origem precisa dos teores de Hg encontrados nos resultados para SP (2016), tendo em vista as informações que os autores abordam sobre as matérias-primas utilizadas nessa iniciativa. Para esse caso específico, seriam recomendáveis a repetição de novas análises e a investigação de outros fatores, como o histórico da área onde está situada a unidade de compostagem.

4.3.7 Cromo hexavalente e cromo (total)

Para os valores de Cromo (VI) e Cromo (total), as análises apresentaram concentrações em conformidade aos padrões estabelecidos pela legislação, conforme demonstrados na Figura 19.

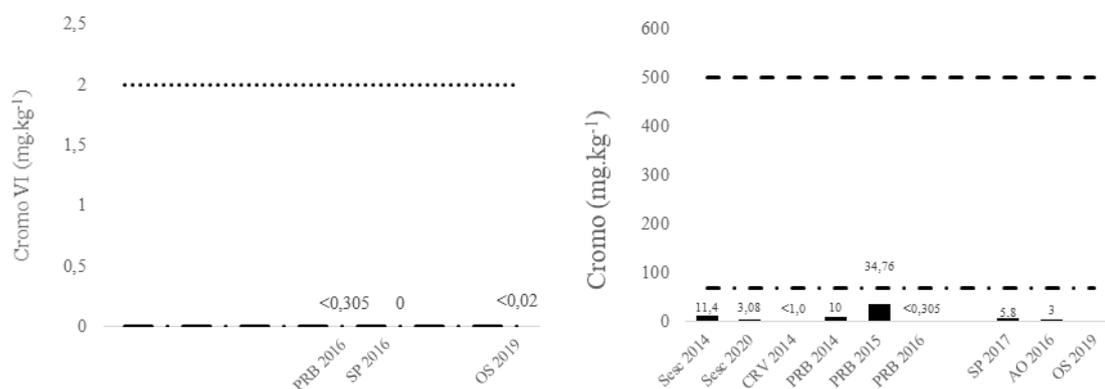


Figura 19. Concentrações de Cr hexavalente (VI) (mg.kg⁻¹) encontradas em três das dez diferentes análises de composto de RSOU (figura da esquerda). A linha inferior (traço-ponto) indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica (0 mg.kg⁻¹) (BRASIL, 2021); a linha pontilhada, aos fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo (2 mg.kg⁻¹) (BRASIL, 2006, Anexo V). A figura da direita apresenta as concentrações de Cr (total) (mg.kg⁻¹) encontradas em oito das dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha inferior (traço-ponto) indica o limite desse elemento para a agricultura orgânica (70 mg.kg⁻¹) (BRASIL, 2021); a linha tracejada, aos substratos para plantas (500 mg.kg⁻¹) (BRASIL, 2006, Anexo IV). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

O Cr é um elemento abundante na crosta terrestre e considerado um micronutriente com funções metabólicas importantes relacionadas ao controle glicêmico. Sua carência no

organismo contribui para a intolerância à glicose e para alterações relacionadas ao perfil lipídico. O Cr está presente em diversos alimentos, como levedo de cerveja, carnes, ovos, trigo, pimentão, maçã, brócolis, espinafre, entre outros, sendo ingerido como Cr (III), sua forma trivalente (PEREIRA; MUNIZ, 2012).

Por apresentar algumas características particulares como resistência à oxidação, desgaste e atrito, esse metal é comumente utilizado na fabricação de ligas metálicas, construção civil, indústria química para pigmentação, galvanoplastia e curtimento de couro. Por se tratar de um metal de transição, estágios oxidativos são encontrados entre as formas Cr (III) e Cr (VI), distintas quanto à mobilidade e toxicidade.

O Cr (VI) é altamente tóxico e carcinogênico, de origem antrópica e apresenta alta reatividade e solubilidade em água (MARONEZI *et al.*, 2019). Essas autoras investigaram, em seu trabalho, o potencial da matéria orgânica e Fe (III) do solo imobilizar o Cr (VI) como uma possível estratégia de remediação de solos contaminados com esse elemento. Elas concluíram que a matéria orgânica é um agente de redução do Cr (VI) a Cr (III), apesar de não reduzir sua toxicidade. A matéria orgânica do solo ainda contribui para a redução de Fe (III) a Fe (II), sendo este capaz de contribuir para a redução do Cr (VI) e sua adsorção e imobilização, o que reforça as propriedades empregadas pelo composto orgânico por meio das características atribuídas às substâncias húmicas presentes nesse produto.

Diante dessas observações, tornam-se importantes os cuidados com uso de matérias-primas que podem conter grandes concentrações de Cr, em especial o Cr (VI), como aquelas originadas da indústria que utiliza esse elemento em seu processo produtivo ou outras fontes, como o lodo de esgoto que recebe o despejo industrial.

4.3.8 Selênio

Os resultados encontrados para o elemento Selênio (Se) foram analisados por oito das dez iniciativas e apresentam concentrações muito aquém daquelas previstas como limites máximos para esse elemento nas legislações apresentadas.

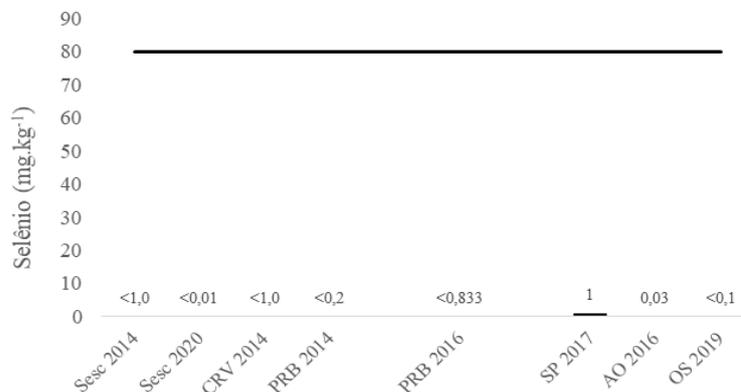


Figura 20. Concentrações de Se (mg.kg⁻¹) encontradas em oito das dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha contínua indica a concentração máxima desse elemento permitida para os sistemas orgânicos de produção, substrato para plantas, fertilizante orgânico e condicionador de solo (80 mg.kg⁻¹) (BRASIL, 2021; BRASIL, 2006, Anexo IV e V). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

O Se é um micronutriente considerado essencial para as plantas, os animais e os humanos, podendo estar presente naturalmente nos solos ou ser incrementado pela adubação. Ele é um mineral com alto poder antioxidante e está relacionado à prevenção de doenças como o câncer, o fortalecimento do sistema imunológico e doenças cardiovasculares, quando ingerido em doses diárias de 50 a 200 µg (BOLDRIN *et al.*, 2012; FARINA, 2000; MARTINEZ, 2007).

A baixa ingestão dietética desse elemento tem sido relacionada a problemas de saúde humana em diversas regiões do mundo, principalmente associadas à parcela da população com menor poder aquisitivo. Esses autores apontam que o enriquecimento do solo com Se e a consequente absorção pelas plantas pode ser uma alternativa para o aumento na concentração desse elemento em culturas alimentares que tenham a disponibilidade de bioacumulação. Boldrin *et al.* (2012) apontam, em sua pesquisa, que a forma como o Se será disponibilizado para as plantas deve ser levada em conta, tendo em vista que óxidos de Fe e Al presentes na fração argila de solos intemperizados (característica predominante nos solos brasileiros) podem adsorver o selênio, que reduz sua disponibilidade para as plantas, sendo a forma selenato mais eficiente na absorção pelas plantas de arroz.

Entretanto, o excesso de Se nas plantas, nos animais ou nos humanos apresenta efeito tóxico. A ingestão de doses elevadas podem causar perda de cabelo e unhas, lesões na pele, disfunções gástricas, intestinais e hepáticas, vômitos, irritabilidade e fadiga. Além da ingestão pela dieta, uma série de compostos de Se é utilizado pela indústria, como em retificadores, semicondutores, células fotoelétricas, eletrodos, câmeras, televisões, baterias solares, cabos elétricos, vulcanização da borracha, fabricação de plásticos, manufatura do ácido sulfúrico, síntese de compostos orgânicos, processamento da pirita, como oxidantes na preparação da niacina e da cortisona, como antioxidantes em óleos de lubrificação, como agentes de coloração em fotografias, tintas, vidros, pinturas e em sedimentos que resultam do processo de refinamento do cobre por eletrólise (FARINA, 2000).

4.3.9 Dados discrepantes

Como os valores encontrados nas análises que apresentaram inconformidades são extremamente dispersos e heterogêneos (conforme demonstrados nos gráficos acima), a representação demonstrada a partir de gráficos-caixa (Figura 21) ilustra o quanto os valores que extrapolaram os limites de tolerância trazidos pela legislação, são isolados e se distanciam dos outros, que se mantém dentro dos padrões estabelecidos.

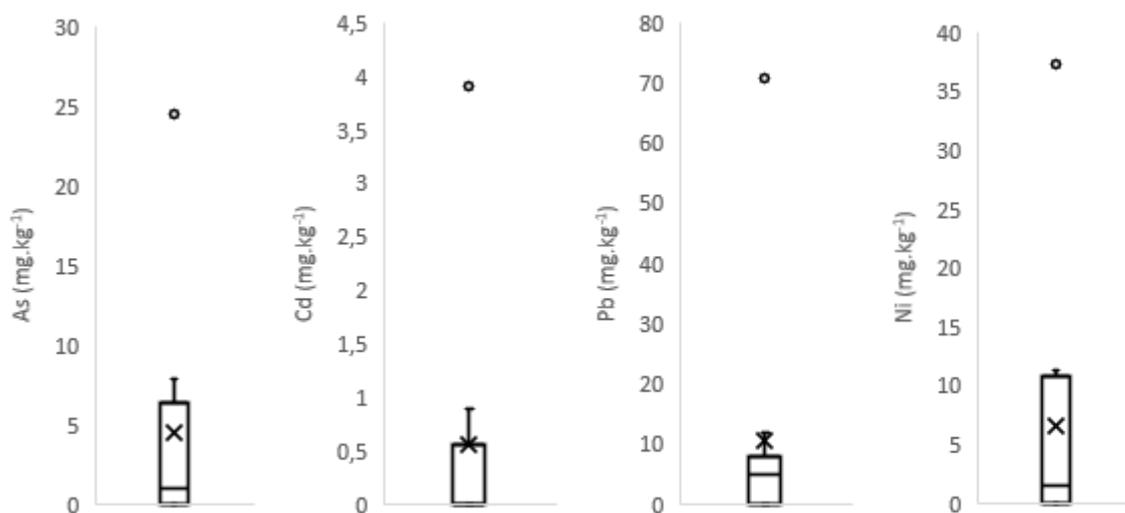


Figura 21. Gráficos-caixa dos pontos discrepantes para as análises de As (24,55 mg.kg⁻¹), Cd (3,9 mg.kg⁻¹), Pb (70,8 mg.kg⁻¹) e Ni (37,08 mg.kg⁻¹). Esses pontos são identificados por seu distanciamento dos demais, quando extrapolam valores de 1,5 vez o desvio interquadrático (dq), sendo para o limite inferior = $Q1 - 1,5dq$ e para o superior = $Q3 + 1,5dq$. Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Nesses quatro gráficos, são apresentados os pontos discrepantes para os metais pesados As, Cd, Pb e Ni, encontrados em análises realizadas para os compostos de PRB 2016 (ASSIS, 2016); Sesc 2014; PRB 2014 (ASSIS, 2016) e; PRB 2015 (ASSIS, 2016), respectivamente.

Ao analisar os resultados individualmente (por iniciativa), pode-se chegar a conclusões equivocadas, de que, um composto produzido com matéria-prima de origem urbana é contaminado por determinado metal. Entretanto, após sua análise em conjunto com outras semelhantes, permite uma comparação, onde é observada a ocorrência isolada de concentrações elevadas de determinado elemento. Conforme já discutido anteriormente, tais resultados podem estar associados ao material de origem, que, uma vez identificado, podem ser evitados e substituídos.

A partir dessa interpretação, é possível inferir que os pontos discrepantes (*outliers*) das análises encontradas, que ultrapassaram os limites máximos admitidos para esses metais, não representam uma realidade para todos os compostos analisados, são eventos isolados e merecem maior investigação. Além do mais, reforça-se a importância de ampliar a pesquisa e a divulgação para aumentar a quantidade de análises realizadas para compostos de RSOU, corroborando para um conhecimento mais aprofundado de suas características e segurança de uso. Outros contaminantes não foram possíveis de serem interpretados dessa maneira, devido à falta de dados (número reduzido de análises).

4.3.10 Coliformes termotolerantes e outros contaminantes biológicos

Os valores encontrados para os coliformes termotolerantes estão apresentados na Figura 22, onde foram analisados em apenas cinco das dez iniciativas apresentadas. Das cinco análises, duas apresentaram inconformidade com os padrões estabelecidos pela legislação, sendo: CRV (2014) e Sesc (2020). Esta, em especial, chama a atenção, pois apresentou valores 11 vezes maior que o permitido, e a do CRV (2014) 1,1 vez.

Apesar de nem todos serem prejudiciais à saúde, os coliformes termotolerantes são indicadores da possível presença de outros organismos entéricos patogênicos, o que não foi identificado para essas duas iniciativas. Apesar de apresentar essa inconformidade, a Resolução Conama nº 481/2017 prevê que, caso identificado valor acima do estabelecido pela legislação acerca da contaminação biológica, esta pode ser reprocessada para se adequar aos limites toleráveis.

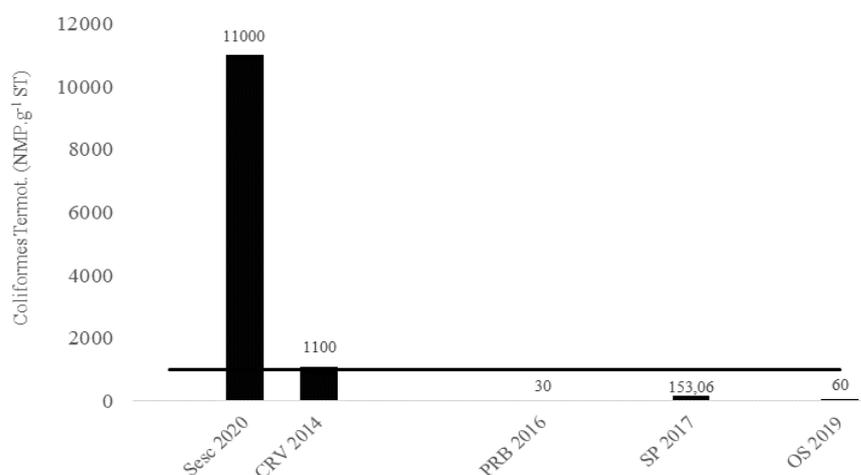


Figura 22. Concentrações de coliformes termotolerantes (NMP.g⁻¹ ST = número mais provável por grama de sólidos totais) encontradas em cinco das dez diferentes análises de composto de RSOU. A linha contínua indica a concentração máxima desse organismo permitida para os sistemas orgânicos de produção, substrato para plantas, fertilizante

orgânico e condicionador de solo (NMP.g⁻¹ ST = 1.000) (BRASIL, 2021; BRASIL, 2006, Anexos IV e V). Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Os valores altos para esse parâmetro em Sesc (2020) podem estar relacionados ao uso da serragem das camas de cobaias do biotério central da UFSC, parceiros nesse projeto, e material utilizado durante esse período. Entretanto o monitoramento da temperatura nas composteiras do HSCAC é realizado diariamente e mantiveram aquelas taxas de temperatura estipuladas pelo MMA, mantendo-se acima dos 65 °C por períodos mais prolongados dos que os três dias exigidos pela legislação (SESC, 2020).

A questão da heterogeneidade apresentada na leira de compostagem, associada aos sítios de anaerobiose e a metodologia de aferição da temperatura, podem também contribuir para a distorção da qualidade do processo, sendo a repetição dessas condições importante para validação e conclusão das informações aqui relatadas.

Outra causa possível é a recolonização desse organismo, proveniente de fontes de contaminação natural, como aves e outros animais silvestres presentes no local. Fato que pode ter ocorrido também em CRV (2014), tendo em vista que nesse projeto não havia a introdução de materiais externos, apenas as folhas de varrição e acícula de Pinus do próprio estabelecimento.

Teixeira (2012), ao analisar a compostagem de lodo de estação de tratamento de esgoto pelo Método UFSC, encontrou resultados muito satisfatórios para o controle de coliformes termotolerantes ao comparar o produto final com a concentração desses organismos no lodo bruto. Andrade (2020), ao analisar a co-compostagem de resíduos de banheiro seco com o Método UFSC de compostagem, identificou redução na ocorrência de *E. coli* no início do processo e um recrescimento das colônias em fase posterior. Atribui esses resultados à não homogeneização da temperatura e dos resíduos em seu experimento, recomendando sua repetição para validação desses resultados.

Wichuk e McCartney (2007) apresentam, em sua pesquisa, uma série de trabalhos que relacionam o controle de patógenos pela compostagem e os padrões estabelecidos por regulamentos estadunidenses e canadenses (USEPA e CCME), que, apesar de existirem outros fatores envolvidos no controle de patógenos, como as relações antagônicas entre organismos e a ação de antibióticos produzidos por certos fungos e actinomicetos, a temperatura é o principal agente de controle.

Entretanto revelam que a literatura aborda diversos trabalhos em que apresentam uma série de bactérias patogênicas, vírus, cistos e oocistos viáveis de protozoários e ovos viáveis de helmintos detectados em sistemas de compostagem aparentemente bem operados. Uma das possibilidades apresentadas frente às reduções esperadas e reais dos patógenos no composto podem estar relacionadas à rebrota e à recontaminação, sendo a rebrota de níveis indetectáveis de certos patógenos além da fase de alta temperatura uma explicação potencial apenas para certos patógenos bacterianos, como *Salmonella* sp. e *E. coli*, tendo em vista não necessitarem de um organismo hospedeiro para se reproduzirem (WICHUK; McCARTNEY, 2007).

Tais apontamentos vão ao encontro daqueles apresentados por Andrade (2020) e podem contribuir para compreender uma possível explicação aos valores elevados apresentados pela análise do Sesc (2020). Entretanto, assim como nas outras iniciativas, análises mais frequentes dos materiais produzidos são relevantes para compreender a real qualidade dos materiais produzidos nesses pátios de compostagem.

Por outro lado, uma observação importante realizada por Caplenas e Kanarek (1984), ao analisarem os resultados de águas residuárias da indústria de celulose e compará-los com a metodologia utilizada para determinação de Coliformes Fecais nos Estados Unidos, apontam que resultados falso positivos foram registrados através da presença de *Klebsiella pneumoniae*, um coliforme termotolerante de origem não fecal, presente naturalmente no solo ou em cascas

de madeira. Concluem que a presença de altas contagens de *Klebsiella* identificada na análise, com a ausência de *E. coli*, determina a falta de especificidade do teste.

Ao comparar esse estudo com o parâmetro: Coliformes Termotolerantes, exigido na legislação brasileira como indicador de contaminação biológica em insumos agrícolas, gera-se uma inquietação sobre a especificidade desses resultados e sobre o método utilizado para sua análise. Um primeiro ponto é se os resultados acarretam em uma real preocupação, tendo em vista que outros organismos de origem não fecal podem colonizar a compostagem ou o composto em maturação, sem a especificidade para identificação de um organismo entérico. Outro ponto é o próprio método de análise utilizado pelos laboratórios, no caso identificado em algumas das análises como “Determinação quantitativa pela técnica de tubos múltiplos”, um protocolo utilizado para análise de água.

Nesse sentido, o monitoramento para garantir uma higienização do produto final pelo processo de compostagem, deveria ser mais específico como, por exemplo, a identificação de *E. coli* e não de maneira generalizada, através dos Coliformes Termotolerantes.

Quanto aos outros parâmetros biológicos analisados referentes aos patógenos, os resultados apresentados para ovos viáveis de helmintos tiveram pouca representatividade, sendo encontrados em apenas três das dez análises apresentadas, com resultados em conformidade com as diferentes regulamentações, onde não foram detectados.

Apesar de a presença desses parasitas estar associada às fezes e as iniciativas apresentadas não trabalharem diretamente com matéria-prima de origem fecal, pode-se ocorrer a contaminação por fontes externas, sendo seu monitoramento importante e exigido pela legislação vigente.

Embora as formas adultas desses organismos sejam sensíveis a condições adversas, os ovos de helmintos podem sobreviver por longos períodos e a condições extremas, sendo a dose infecciosa muito baixa, onde a ingestão de um único ovo represente um risco significativo para a saúde (WICHUK; McCARTNEY, 2007). Teixeira (2012), por sua vez, encontrou resultados muito satisfatórios para o controle de helmintos a partir do tratamento de lodo de esgoto com o Método UFSC de compostagem.

Os resultados para *Salmonella* sp. foram obtidos em 60% das análises, porém apenas PRB (2016) identificou a presença desse patógeno. Para Assis (2016), o monitoramento da leira de composto foi realizado apenas uma vez durante todo o processo, momento em que apresentava temperaturas satisfatórias para a eliminação desse patógeno. Outro apontamento que a autora relata é a possibilidade de contaminação cruzada, tendo em vista que as ferramentas utilizadas para o manejo das composteiras em diferentes estágios são as mesmas. De acordo com a Resolução Conama nº 481/2017, o material poderia ser reprocessado e reavaliado para a garantia de um uso seguro.

A *Salmonella* sp. é uma bactéria que causa intoxicação alimentar com sintomas relacionados à gastroenterite, podendo causar infecções graves e, em casos raros, levar a morte. Sua transmissão se dá pela ingestão de alimentos contaminados, como carnes e ovos, entre outros que tiveram exposição ao patógeno.

Para Wichuk e McCartney (2007), diversos estudos apresentam a persistência desses organismos por longos períodos a temperaturas na faixa de 55 °C, mas uma inativação relativamente mais rápida em faixas de temperatura entre os 65 e 70 °C. Outros estudos apresentados por esses autores demonstraram também o recrescimento de *Salmonella* sp. em leiras de compostagem após ultrapassarem as faixas de temperaturas elevadas, o que corrobora para aqueles apontamentos apresentados por Assis (2016).

Os resultados encontrados por Teixeira (2012) não identificaram *Salmonella* sp. nas amostras extraídas do lodo de esgoto utilizado em seu experimento, mas sim em uma das coletas na leira de composto. O autor sugere que possa ter ocorrido uma contaminação posterior desse organismo na composteira, por alguma zona da composteira que não atingiu a temperatura

decorrente de sua heterogeneidade já discutida aqui anteriormente ou mesmo que a amostragem realizada no lodo de esgoto tenha sido insuficiente, e recomenda a repetição para a avaliação desse parâmetro.

4.4 Aptidão para Uso Agrícola das Iniciativas Apresentadas

Apesar de serem encontradas lacunas representadas pela falta de parâmetros analisados em comparação ao total de contaminantes exigidos nas regulamentações para os diferentes usos do composto em todas as iniciativas, a Tabela 12 apresenta a aptidão para uso agrícola dos compostos analisados, com a descrição das inconformidades encontradas, os parâmetros que deixaram de ser analisados e a indicação para correção daquelas análises que apresentam inconformidades para os organismos patogênicos, de acordo com a Resolução Conama nº 481/2017.

Tabela 12. Aptidão para uso agrícola das dez análises obtidas de acordo com os limites máximos de contaminantes determinados pela Portaria nº 52/2021 para os sistemas orgânicos de produção; IN SDA nº 27/2006 para os substratos para plantas (Anexo IV) e IN das nº 27/2006 para os fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo (Anexo V), com suas respectivas alterações dadas pela IN SDA nº 07/2016. IP = índice de pedra; IPVM = índice de pedra, vidro e metal; sementes = semente ou qualquer material de propagação de erva daninha; fitopatígeno = *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium*, *Ryzoctonia* e *Sclerotinia*. Onde: célula cinza = apto; célula branca = inapto.

	Portaria nº 52/2021	IN nº 27/2006 (Anexo IV)	IN nº 27/2006 (Anexo V)	Motivo/ inconformidade	Parâmetros não analisados e recomendação da Resolução Conama nº 481/2017 para correção dos parâmetros biológicos
1 Sesc (2014)				Cd	Cr (VI), coliformes, helmintos, Salmonella, sementes, fitopatógenos IP e IPVM
2 Sesc (2020)				Coliformes	Cr (VI), sementes e fitopatógenos IP IPVM; reprocessar o material para eliminar coliformes
3 CRV (2014)				Coliformes	Zn, Cr (VI), helmintos, sementes e fitopatógenos e IP IPVM; reprocessar o material para eliminar coliformes
4 PRB (2014)				Pb	Cu, Zn, Cr (VI), coliformes, helmintos, salmonela, sementes e fitopatógenos IP e IPVM
5 PRB (2015)				Ni	As, Cu, Zn, Hg, Cr (VI), Se, coliformes, helmintos, sementes e fitopatógenos e IP e IPVM
6 PRB (2016)				As/Salmonella	Helmintos, sementes e fitopatógenos IP e IPVM; reprocessar o material para eliminar <i>Salmonella</i>
7 SP (2016)				Hg	As, Cu, Zn, Cr (total), sementes e fitopatógenos
8 SP (2017)				Cd	Cu, Zn, sementes e fitopatógenos e IP e IPVM
9 AO (2016)					Cu, Zn, Cr (VI), coliformes, helmintos, <i>Salmonella</i> , sementes e fitopatógenos, IP e IPVM
10 OS (2019)					Cr (total), sementes, sementes e fitopatógenos IP e IPVM
Total (%)	20	70	60		

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Conforme já relatado, os lotes de composto que não atenderem aos parâmetros de qualidade ambiental estabelecidos na legislação pertinente, à exceção das substâncias inorgânicas, poderão ser reprocessados para que se adequem aos requisitos mínimos exigidos (BRASIL, 2017c). Nesse sentido, considerando-se que aquelas amostras que apresentaram valores superiores aos permitidos para os organismos patogênicos poderão ser novamente incorporadas a novas leiras ou submetidas a tratamentos adicionais, como a solarização (VASCONCELOS, 2019). Na Tabela 13, é apresentado um panorama que considera apenas a aptidão de uso para o composto com base nas concentrações de metais pesados encontrados.

Tabela 13. Aptidão para uso agrícola das dez análises obtidas de acordo com os limites máximos de contaminantes (metais pesados) determinados pela Portaria nº 52/2021 para os sistemas orgânicos de produção; IN SDA nº 27/2006 para os substratos para plantas (Anexo IV) e IN SDA nº 27/2006 para os fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo (Anexo V), com suas respectivas alterações dadas pela IN SDA nº 07/2016. Onde: célula cinza = apto; célula branca = inapto.

	Portaria nº 52/2021	IN nº 27/2006 (Anexo IV)	IN nº 27/2006 (Anexo V)	Motivo/ inconformidade	Parâmetros não analisados
1 Sesc (2014)				Cd	Cr(VI); Considerada a tolerância de 30% (IN SDA 27/2006)
2 Sesc (2020)					Zn, Cr(VI)
3 CRV (2014)					Cu, Zn, Cr(VI)
4 PRB (2014)				Pb	Cu, Zn, Cr(VI)
5 PRB (2015)				Ni	As, Cu, Zn, Hg, Cr(VI)
6 PRB (2016)				As	Considerada a tolerância de 30% (IN SDA 27/2006)
7 SP (2016)				Hg	As, Cu, Zn, Cr(total)
8 SP (2017)				Cd	Cu, Zn
9 AO (2016)					Cu, Zn, Cr(VI)
10 OS (2019)					Cr (total)
Total (%)	40	100	100		

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Diante do exposto, os compostos analisados pelas iniciativas em relação aos limites máximos de metais pesados admitidos pelas normativas (onde os contaminantes biológicos não estão sendo considerados), correspondem a 40% em conformidade para a agricultura orgânica e seus limites máximos de contaminantes apresentados no anexo VI da Portaria nº52/2021. E 100% das análises realizadas se enquadram aos limites máximos de contaminantes admitidos para os substratos para plantas, fertilizantes orgânicos compostos e condicionadores de solo.

Entretanto, esse resultado não considera os parâmetros que deixaram de ser analisados e que o composto de Sesc (2014) e PRB (2016) serão aptos para o uso como substratos para plantas, fertilizantes orgânicos compostos e condicionares de solo, por conta da tolerância de 30% admitidos pelo art. 3º da IN SDA nº 27/2006.

A aptidão aqui apresentada leva em consideração apenas os metais pesados (Tabela 13) e os metais pesados com os organismos patogênicos (Tabela 12), onde não foram levados em conta as sementes ou qualquer material de propagação de erva daninha e a presença de espécies fitopatogênicas *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium*, *Ryzoctonia* e *Sclerotinia* estabelecidos para os substratos para plantas, parâmetros não analisados por nenhuma iniciativa. Não foram

considerados também o IP nem o IPVM exigidos para os fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo, contaminantes físicos analisados apenas em SP (2016, 2017).

Nesse sentido, além dos apontamentos apresentados, entende-se que os resultados aqui demonstrados não podem ser conclusivos para definir se o composto produzido a partir de matéria-prima originada de RSOU, de uma maneira mais ampla, pode ou não ser utilizado para a agricultura orgânica, tendo em vista o número reduzido de análises encontradas para essa discussão.

As inconformidades encontradas a partir dos limites estabelecidos para contaminantes nas substâncias e nos produtos autorizados como fertilizantes, corretivo e substrato em sistemas orgânicos de produção, determinados pela Portaria nº 52/2021, foram pontuais e aleatórias e, quando identificadas, não representam uma realidade para todas as iniciativas aqui descritas.

4.5 O Composto Orgânico, sua Heterogeneidade e Amostragem

Devido a diversos fatores, o composto orgânico gerado pelos processos de compostagem resulta em um material heterogêneo. O material de origem pode ser diversificado ao longo da alimentação da composteira, ou seja, pode ser iniciado com um tipo de material e este mudar ao longo do tempo de uso, resultando em diferentes qualidades encontradas no perfil da leira ou pilha de composto. A umidade é outro fator para o qual é fácil de ser observada sua variação. O exterior de uma leira de compostagem, por ter maior contato com o meio externo, sofre ação direta do sol, da chuva e do vento, diferentemente de seu interior.

Dependendo do método adotado, principalmente relacionado ao revolvimento e à aeração, sítios de anaerobiose podem ser encontrados no composto em diferentes etapas do processo. Essas zonas podem retardar o processo de decomposição e geração de substâncias que não ocorrem na decomposição aeróbia, também deturpando a representatividade da leira ou pilha de composto como um todo.

Esses e outros fatores podem distorcer os resultados analíticos de compostos orgânicos. Nesse sentido, a noção sobre amostragem se faz pertinente para que os resultados de análises possam ser os mais representativos possíveis sobre o total que se busca conhecer.

Ao pesquisar referências específicas para amostragem de leiras ou pilhas de composto, ou ainda para fertilizantes orgânicos sólidos, não foi encontrada nenhuma obra técnica vigente sugerida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Entretanto, a prática da amostragem é utilizada com sucesso para diversos materiais e pode ser extrapolada para o objetivo deste estudo.

Uma prática muito comum utilizada na agricultura é a amostragem de solos para recomendação de adubação e calagem para diferentes culturas. Nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, o “Manual de adubação e calagem”, elaborado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul (SBCS/NRS), trata dos solos agrícolas como heterogêneos e sua correta amostragem deve representar a condição real média de sua fertilidade. Apresentam ainda diferentes ferramentas que podem ser utilizadas como amostradores, de acordo com os diferentes tipos de solos e, levando em consideração algumas observações das áreas de cultivo e sistemas de cultivo, o número médio de subamostras igual a 15 são suficientes (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2016).

Cestonaro e Barros (2019), ao analisarem a representatividade do amostrador tipo *trier* na caracterização de leiras de compostagem com RSOU, concluíram que se mostrou eficiente para composto maturado (120 dias), porém apresentou alguma limitação para leiras de compostagem em estágio inicial, atributo relacionado ao tamanho das partículas e à diferença na forma dos materiais. Concluíram que essa ferramenta é apropriada, pois reduz erros de amostragem, não necessitando de mecanização, espaço físico ou elevado dispêndio de recursos humanos.

Em pesquisa sobre esse equipamento, o *trier* é utilizado para amostragem de resíduos sólidos, entre outros materiais, sugerido pela ABNT NBR 10007:2004. Ao verificar as definições e recomendações dessa norma técnica, muitas informações podem ser pensadas para o contexto da amostragem de leiras ou pilhas de compostagem. Primeiramente, algumas definições:

2.1 amostra composta: soma de parcelas individuais do resíduo a ser estudada, obtidas em pontos, profundidades e/ou instantes diferentes, através dos processos de amostragem. Estas parcelas devem ser misturadas de forma a se obter uma amostra homogênea.

2.2 amostra homogênea: amostra obtida pela melhor mistura possível das alíquotas dos resíduos.

2.3 amostra representativa: parcela do resíduo a ser estudada, obtida através de um processo de amostragem, e que, quando analisada, apresenta as mesmas características e propriedades da massa total do resíduo.

[...]

2.5 amostrador: equipamento ou aparelho utilizado para coleta de amostras.

[...]

2.11 técnico de amostragem: profissional técnico responsável pela execução da coleta de amostra (ABNT, 2004, p. 1).

Depois, sobre os diferentes materiais apresentados que compõem os resíduos sólidos, aqueles ditos como sólidos, em pó ou granulados em sacos, tambores, barris ou recipientes similares, montes ou pilhas de resíduos, sugere-se utilizar o amostrador *trier* (ABNT, 2004).

Por sua semelhança geométrica e estrutural com as leiras de compostagem, as pilhas de resíduos apresentadas pela normativa podem ser imaginadas como leiras ou pilhas de composto, cuja metodologia de amostragem funciona muito bem. Pela norma apresentada, para se realizar uma coleta mais representativa dos montes ou pilhas de resíduos, deve-se retirar as amostras de pelo menos três seções (do topo, do meio e da base). Em cada seção, devem ser coletadas quatro alíquotas equidistantes, e o amostrador deve penetrar obliquamente nos montes ou nas pilhas, conforme apresentado na Figura 23.

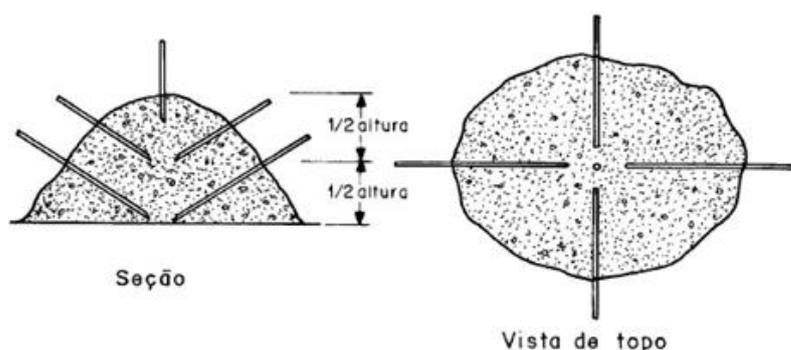


Figura 23. Esquema didático de coleta de amostras de montes ou pilhas de resíduos sólidos. Fonte: ABNT, 2004, p. 12.

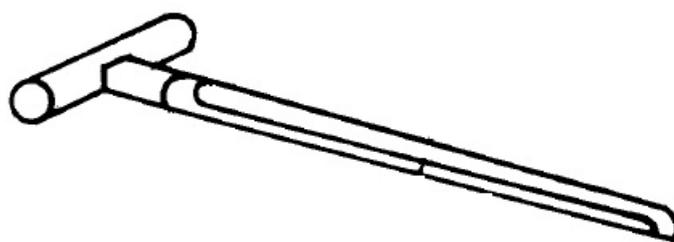


Figura 24. Amostrador *trier*. Fonte: Adaptada de ABNT, 2004.

4.5.1 Métodos de teste para o exame de compostagem e composto (TMECC 02.01, 2001)

Apesar da literatura consultada não apresentar referências técnicas e acadêmicas sobre procedimento de amostragem e análise para o composto orgânico ou fertilizantes orgânicos sólidos no Brasil, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) em conjunto com a Fundação de Pesquisa e Educação do Conselho de Compostagem estadunidense (CCREF), publica um protocolo detalhado para a indústria de compostagem, com a finalidade de verificar a condição física, química e biológica de matérias-primas, em compostagem e seus produtos finais nos pontos de venda, chamado de Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC).

Apesar das regulamentações brasileiras e desse país serem diferentes em diversos aspectos, alguns pontos nos procedimentos de amostragem e cuidados no processo são relevantes e inspiradores para uma possível padronização de métodos a âmbito nacional. O TMECC tem a finalidade de fornecer protocolos para amostrar, monitorar e analisar materiais antes, durante e depois do processo da compostagem, sendo protocolos padronizados de relevante importância para os produtores de composto, órgãos reguladores e toda a cadeia envolta na produção e utilização desse material.

Dentre as questões apresentadas por esse método e que serão detalhadas a seguir, aqueles presentes na seção Coleta de Amostras e Preparação Laboratorial – 02.01 Amostragem de Campo de Materiais Compostos, baseado em cinco protocolos, de 02.01-A a 02.01-E, com destaque para as seguintes informações de relevância para o presente trabalho: a) os procedimentos de amostragem; b) os planos de amostragem; c) os cuidados que devem ser tomados com as amostras; d) os cuidados para envio das amostras ao laboratório e; e) análise dos dados.

a) Segundo o TMECC, reforça-se a importância das amostras serem coletadas de forma composta, compreendendo a retirada de diversas subamostras (não menos de 15), que serão misturadas, homogeneizadas e separada uma pequena porção (cerca de 1 litro) para envio ao laboratório. Para métodos de compostagem que utilizam o revolvimento e sua constante mistura o número de subamostras pode ser inferior das leiras estáticas, ou seja, quanto mais heterogêneo for o composto, o número de subamostras deve ser aumentado. O amostrador, pessoa responsável pela coleta das amostras, deve ter um treinamento prévio, afim de evitar erros de amostragem ou mesmo ser tendencioso para determinados parâmetros, reduzindo a confiabilidade dos resultados. A finalidade da análise realizada e o formato da leira ou pilha de composto, determinará a forma de amostragem. Esse processo deve ser pensado e estudado com antecedência, etapa denominada como plano de amostragem.

b) Os planos de amostragem contemplam o planejamento para coleta de amostras, desde leiras ou pilhas de compostagem residenciais, até aquelas industriais, que perpassa por uma série de variações de acordo com o método de compostagem utilizado. A Figura 25 foi adaptada do TMECC e demonstra diferentes formas e estruturas que ilustram variações nos formatos e

estruturas que o técnico de amostragem poderá encontrar, somados ainda ao próprio composto já embalado, pronto para consumo ou para venda.

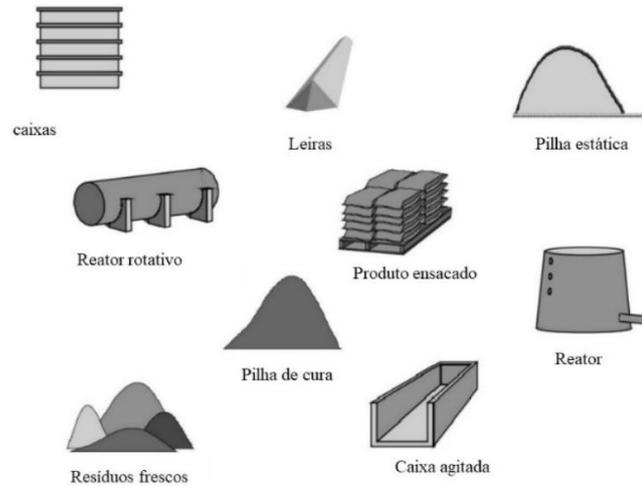


Figura 25. Diferentes métodos de compostagem e composto já embalado para consumo ou venda. Fonte: Adaptado de TMECC, 2001.

Uma vez identificada a finalidade da análise e identificados os parâmetros que serão avaliados, o TMECC indica uma série de recipientes e cuidados para armazenamento das amostras, reduzindo o risco de degradação ou interferência nos resultados que pode ser gerado entre o tempo do momento da coleta e da análise em si, como a perda de umidade, oxidação, volatilização de compostos, entre outros. Nesse aspecto e na expectativa dos procedimentos de amostragem, acondicionamento e envio das amostras, podem ser realizados por qualquer pessoa, sugere-se que o responsável pela coleta, busque contato prévio com laboratório onde realizará as análises, a fim de compreender as formas ideais de acondicionamento (embalagem, temperatura e tempo máximo para envio das amostras) e a necessidade de utilização de reagentes ou conservantes necessários para estabilização de alguns parâmetros.

Para esse método, sugerem que as subamostras, devem ser grandes (em torno de 1 litro) e abundantes (>15). As amostras devem ser realizadas de forma aleatória, sendo proposta uma metodologia simples, conforme demonstrada na Figura 26.

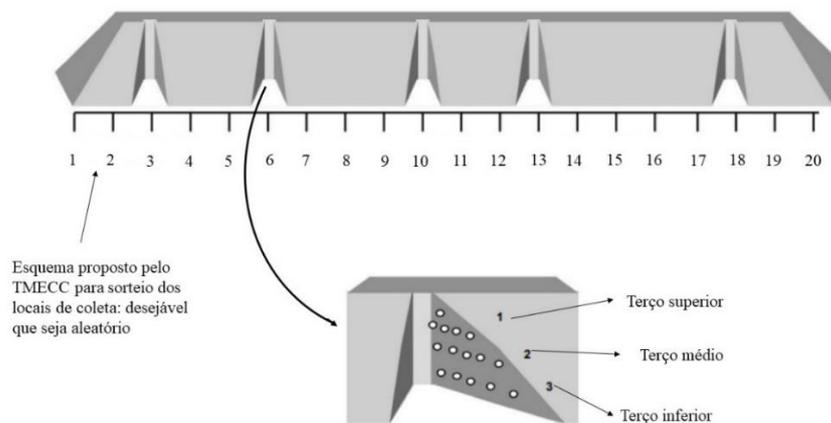


Figura 26. Esquema para sorteio dos pontos de amostragem da leira de compostagem. A partir de uma métrica, podem ser sorteados números onde serão feitos os cortes. Da exposição do perfil, serão retiradas as subamostras. Fonte: adaptada de TMECC, 2001.

Uma amostragem em pontos aleatórios permite que não haja uma tendência por parte do amostrador em avaliar locais com características mais desejadas ou indesejadas e pode ser adaptado de diversas maneiras. Na figura acima, a ideia é criar uma métrica, dar nome aos pontos e realizar um sorteio para definir onde serão coletadas as subamostras, nesse caso, criou-se uma escala de 1 a 20, onde os números sorteados foram: 3, 6, 10, 13 e 18. Esse modelo é idealizado para leiras de grande porte, podendo ser redesenhado para leiras menores, onde não haveria a necessidade do corte, apenas a coleta de pontos através da ferramenta de coleta. Nota-se que, semelhante ao apresentado na NBR 1007:2004, as subamostras são coletadas em uma distância semelhante da base ao topo, respeitando-se a equidistância do terço inferior, médio e superior.

Na Figura 27 abaixo o plano de amostragem pode servir para analisar a variabilidade do perfil (amostragem estratificada); pode ser realizada a amostragem composta em situações em que se saiba que a variabilidade da massa é insignificante; a amostragem de área inteira ou lote corresponde à combinação de várias subamostras que são homogeneizadas e separada uma porção para envio ao laboratório e; a amostragem de ponto único pode ser utilizada para o conhecimento de um ponto específico que apresenta algum fator de atenção como baixa temperatura ou a anaerobiose, mas não representará o lote como um todo.

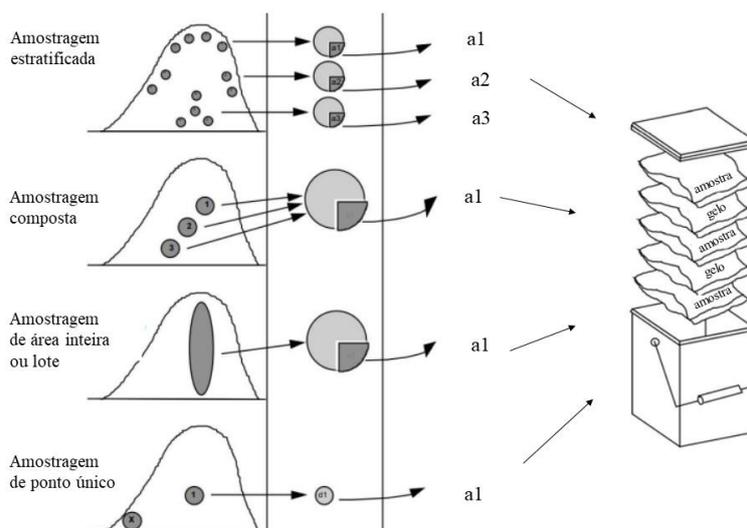


Figura 27. Sugestões de amostragem para diferentes finalidades e indicação de acondicionamento das amostras para envio ao laboratório. Fonte: adaptado de TMECC, 2001.

A figura acima ainda apresenta a recomendação de acondicionamento das amostras para envio ao laboratório que, segundo esses métodos, devem ser mantidas a temperatura de 4 °C, com auxílio de gelo, em uma embalagem que preserve a baixa temperatura como poliestireno expandido, por exemplo. Evidentemente, as amostras devem estar acondicionadas em embalagens lacradas e de material que não sofra interferência de umidade.

c) Para coleta e mistura das amostras, os objetos utilizados devem estar devidamente higienizados e devem ser, preferencialmente, de aço inoxidável, plástico, vidro ou teflon. Orientam a não utilização de materiais galvanizados em nenhuma etapa do processo, por conta da interferência do elemento zinco utilizado para proteção desses metais. As ferramentas

recomendadas são semelhantes aquelas descritas para a coleta de solo ou resíduos descritas acima, inclusive o amostrador trier. Durante a mistura e homogeneização, deve-se tomar o cuidado para fazer em local protegido, para evitar a volatilização de substâncias e também a perda de umidade. Deve-se evitar coletar amostras de compostos que tenham mais de 60% de umidade (indicado pela formação de grumos durante a coleta), com risco de gerar resultados da avaliação física e biológica não confiáveis. Indicam ainda uma frequência de análises de acordo com a quantidade de composto produzido por ano (Tabela 14).

Tabela 14 – Frequência de amostragem proposta no TMECC, 2001, adaptada da US EPA 40CFR503.

Quantidade produzida (tonelada.ano ⁻¹)	Frequência de monitoramento
<290	Uma vez por ano
≥290 a <1.500	Uma vez por trimestre
≥1.500 a <15.000	Uma vez a cada 60 dias
≥15.000	Uma vez por mês

d) identificação das amostras – para identificação das amostras, o TMECC indica algumas informações que devem ser descritas nas etiquetas que acompanharão as amostras e alguma forma de registro dos procedimentos realizados, como uma caderneta de campo, por exemplo. Para as etiquetas é recomendado: nome do responsável, nome da instalação, identificação da pilha ou leira, data, hora, número da amostra, finalidade da amostra/teste, método de preservação da amostra. Para o caderno de campo: nome do responsável, nome da instalação, dados da leira; condições meteorológicas no momento da amostragem, data e hora da coleta, descrição do ponto de amostragem, amostra pontual ou composta, número e volume das amostras.

4.6 Produto Técnico-Tecnológico

A fim de contribuir para o monitoramento da qualidade de compostos produzidos a partir de matéria-prima de RSOU, foi elaborado um material orientativo em formato de Manual digital de acesso livre, que apresenta os principais resultados encontrados na presente pesquisa e tem como público-alvo profissionais que atuam na gestão de pátios de compostagem, pesquisadores, agricultores e consumidores.

O objetivo dessa ferramenta é apresentar, de maneira didática, as principais etapas envolvidas no monitoramento de contaminantes para o composto de RSOU: 1) indicação de materiais orientativos sobre a compostagem de RSOU (cartilhas, manuais, trabalhos acadêmicos, artigos científicos, vídeos, entre outros); 2) amostragem: sugestões de ferramentas e formas de coleta de amostras para garantia de resultado representativo do lote analisado; 3) indicação de parâmetros que devem ser analisados perante a legislação vigente; 4) calculadora que apresenta a conformidade dos resultados frente aos limites de tolerância exigidos pelas diferentes regulamentações brasileiras para uso desse produto na agricultura; e; 5) um banco de dados colaborativo, de acesso livre, onde as informações inseridas pelos usuários ficarão disponíveis para *download*, com a intenção de contribuição em pesquisas e na discussão sobre o uso do composto de RSOU para a agricultura (Figura 28).



Figura 28. Principais etapas envolvidas no Manual digital, desde orientações sobre a coleta de amostras do composto até o armazenamento de resultados em banco de dados: recomendações sobre amostragem; escolha dos parâmetros para serem analisados; calculadora de conformidade dos resultados obtidos; armazenamento da informação em banco de dados. Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

O Manual digital foi criado com a colaboração de um profissional da área de Tecnologia da Informação, sendo alojado em um sítio da internet⁴. Os principais elementos presentes nessa ferramenta são apresentados na Figura 29.



Figura 29. *Template* utilizado para o desenvolvimento do Manual e suas funcionalidades. Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Na aba *O PROJETO*, são apresentadas a plataforma e a sua finalidade, tendo o objetivo de situar o usuário sobre o seu funcionamento e os objetivos.

Em *PUBLICAÇÕES*, estão disponíveis materiais didáticos, técnicos e científicos, cuja intenção é estar constantemente atualizados e permitir ao usuário acessar conteúdos relacionados à compostagem e aos seus usos para a agricultura.

Na aba *LEGISLAÇÃO*, são armazenadas as regulamentações técnicas relacionadas aos diferentes usos do composto para a agricultura, assim como as Leis e os Decretos que deram origem a elas. São apresentadas por sua numeração e data de publicação, acompanhadas de um breve descritivo sobre sua finalidade e o endereço eletrônico para acessá-las. Pretende-se mantê-las sempre atualizadas em acordo com as novas edições.

O espaço *AMOSTRAGEM* tem o objetivo de explicar a importância dessa etapa para obtenção de resultados representativos do todo amostrado (lote do composto que está sendo monitorado) e sugerir formas de planejamento, coleta, armazenamento e envio da amostra para o laboratório.

⁴ O Manual digital está disponível no endereço eletrônico: <https://bancomposto.wordpress.com/>

Em *PARÂMETROS*, encontram-se as informações organizadas sobre quais parâmetros relacionados aos contaminantes analisar de acordo com os objetivos pretendidos, com a lista exigida em cada Instrução Normativa e Portaria aqui apresentada.

Em *CALCULADORA*, o usuário preencherá uma planilha preestabelecida com os parâmetros indicados pela legislação, com os resultados encontrados em sua análise. Automaticamente será gerada uma resposta de conformidade ou inconformidade, apresentando quais parâmetros estão acima ou abaixo daqueles limites exigidos nas regulamentações técnicas para os diferentes usos do composto e quais são os usos permitidos para aquele resultado.

Após o preenchimento dos valores obtidos no resultado de sua análise e clicar em “calcular”, os valores daquela amostra serão adicionados ao *BANCO DE DADOS*. Essa aba é destinada ao armazenamento de dados de todos os resultados alimentados pelos usuários, que ficarão disponíveis para livre consulta, com a possibilidade de realizar *download* no formato do *software* Excel[®].

5 CONCLUSÕES

1) A partir do panorama legal pesquisado, apresentado e discutido neste trabalho, assim como a data recente de suas publicações, entende-se que há um esforço integrado de diferentes atores da sociedade e interministerial para a valorização da fração orgânica dos resíduos, sua reciclagem por meio da compostagem e utilização para fins agrícolas, evidenciadas pelas regulamentações interligadas desde o campo da geração e destinação dos resíduos orgânicos com incentivo à compostagem, seu tratamento com critérios de segurança e qualidade e sua utilização para fins agrícolas.

2) Sobre a restrição de uso trazida pela legislação para o composto de RSOU aos sistemas orgânicos de produção, entende-se que, a partir dos resultados e discussões aqui demonstrados, poderia permitir seu uso para todas as formas de cultivo, assemelhando-se àqueles apresentados aos produtos: “composto orgânico, vermicomposto” e “excrementos de animais, compostos e biofertilizantes de componentes de origem animal”. Nesse sentido, em sua redação, sugere-se a retirada do texto “permitidos desde que não usado diretamente nas partes aéreas comestíveis”.

3) Os resultados dos compostos orgânicos produzidos a partir de RSOU apresentados neste trabalho não são suficientes para determinar o uso desse produto, de uma maneira ampla, para os sistemas orgânicos de produção, tanto pela falta de parâmetros analisados pelas iniciativas quanto pelas inconformidades registradas, mas possibilitaram uma reflexão sobre as possíveis origens de contaminação e formas de evitá-las.

4) Acredita-se que a ferramenta desenvolvida neste trabalho possa auxiliar no monitoramento desse produto tão importante e demandado para a agricultura, com a geração de resultados mais precisos e em maior número para subsidiar novas pesquisas e futuras revisões legais para seu uso agrícola.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a importância da temática abordada nesta pesquisa, espera-se ampliar a discussão em torno do uso de produtos gerados a partir dos resíduos orgânicos urbanos para a agricultura e, considerados os elevados custos para obtenção de resultados para o monitoramento de contaminantes nesses materiais, incentive organizações públicas e privadas ligadas à pesquisa e à extensão, a contribuir para o conhecimento e melhoria nos processos relacionados aos produtos gerados a partir da compostagem de RSOU.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, I. T. **Tratamento de excretas humanas e resíduos sólidos orgânicos em leiras de compostagem estáticas, termofílicas e de aeração passiva**. 2020. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

ASSIS, A. **Gestão comunitária de resíduos orgânicos: qualidade do composto produzido pelo Projeto Revolução dos Baldinhos**. 2016. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (Abrelpe). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: Abrelpe, 2018/2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama>. Acesso em: 29 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 10007**. Amostragem de resíduos sólidos. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 31 maio 2004. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-10007-amostragem-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 13591**. Compostagem - terminologia. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 29 abril 1996. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-13.591-Compostagem.pdf>. Acesso em: 12 out. 2022.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA A DIFUSÃO DE ADUBOS (Anda). **Pesquisa setorial**. 2019. Disponível em: https://anda.org.br/pesquisa_setorial/. Acesso em: 22 nov. 2020.

BIZARRO, V. G.; MEURER, E. J.; TATSCH, F. R. P.; Teor de cádmio em fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 247-259, jan./fev. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/xk5fdRjL8vf8KTvmtJG9VHD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 7 jul. 2022.

BOLDRIN, P. F. *et al.* Selenato e selenito na produção e biofortificação agrônômica com selênio em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 6, p. 831-837, jun. 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63076/1/7387.pdf>. Acesso: 23 maio 2022.

BRASIL. **Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. Brasília, [2014]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm. Acesso em: 27 out. 2020.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agro 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017a. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/2012-agencia-de->

noticias/noticias/25786-em-11-anos-agricultura-familiar-perde-9-5-dos-estabelecimentos-e-2-2-milhoes-de-postos-de-trabalho.html. Acesso em: 20 nov. 2020.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios**. Conheça o Brasil: população rural e urbana. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>. Acesso em: 25 set. 2020.

BRASIL. **Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980**. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [2013]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/L6894.htm. Acesso em: 22 nov. 2020.

BRASIL. **Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003**. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/110.831.htm#:~:text=LEI%20No%2010.831%2C%20DE%2023%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202003.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20agricultura%20org%C3%A2nica%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias. Acesso em: 4 jun. 2022.

BRASIL. **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 outras providências. Brasília: Presidência da República, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 31 ago. 2020.

BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). Brasília: Presidência da República, [2019]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm. Acesso em: 31 jul. 2022.

BRASIL. Mercúrio. **Rede Nacional de Atenção Integral à Saúde do Trabalhador (Renast)**, [2022]. Disponível em: <https://renastonline.ensp.fiocruz.br/temas/mercurio>. Acesso em: 14 jun. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 46, de 6 de outubro de 2011**. Estabelece o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção para uso nos Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal. Brasília: Mapa, 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=78910>. Acesso em: 31 ago. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 5, de 14 de março de 2016**. Estabelece as regras sobre definições, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. Brasília: Mapa, 2016. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/21393137/do1-2016-03-14-instrucao-normativa-n-5-de-10-de-marco-de-2016-21393106. Acesso em: 23 nov. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 7, de 12 de abril de 2016**. Altera os anexos IV e V da Instrução Normativa SDA nº 27, de 5 de junho de 2006. Brasília: Mapa, 2016. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/21513067/do1-2016-05-02-instrucao-normativa-n-7-de-12-de-abril-de-2016--21512974. Acesso em: 27 ago. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009**. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília: Mapa, 2009. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186>. Acesso em: 31 ago. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 27, de 5 de junho de 2006**. Estabelece os limites que os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, devem atender para sua produção, importação ou comercialização, no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. Brasília: Mapa, 2006. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=76854>. Acesso em: 31 ago. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 35, de 4 de julho de 2006**. Estabelece as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. Brasília: Mapa, 2006. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020**. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura, revoga a IN 25 SDA e dá outras providências. Brasília: MAPA, 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-61-de-8-de-julho-de-2020-266802148>. Acesso em: 31 ago. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos**: manual de orientação. Brasília: MMA; Cepagro; Sesc-SC, 2017b. Disponível em: http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/municipioverdeazul/2016/07/rs6-compostagem-manualorientacao_mma_2017-06-20.pdf. Acesso em: 3 maio 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 481, de 3 de outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, visando à proteção do meio ambiente e buscando reestabelecer o ciclo natural da matéria orgânica e seu papel natural de fertilizar os solos. Brasília: MMA, 2017c. Disponível em:

https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19344546/do1-2017-10-09-resolucao-n-481-de-3-de-outubro-de-2017-19344458. Acesso em: 3 out. 2020.

BRITO, F. S. **Detecção e Avaliação *in vitro* do crescimento de *Trichoderma* spp. isolados de composto frente a fitopatógenos**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

BÜTTENBENDER, S. E. **Avaliação da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos provenientes da coleta seletiva realizada no município de Angelina/SC**. 2004. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/87760/204218.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 3 maio 2022.

CÂMARA, V. M.; COREY, G. Vigilância epidemiológica relacionada com substâncias de uso proibido na agricultura. **Bulletin of the Pan American Health Organization**, Washington, v. 28, n. 4, p. 135-139, 1995. Disponível em: <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/15562/v119n2p135.pdf?sequence=1>. Acesso em: 3 maio 2022.

CAMPOS, L. M. *et al.* Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 361-367, abr. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/4qX9r4rXpKjt5bcTwRRvqGr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 jan. 2022.

CAPLENAS, N. R., KANAREK, M. S. Thermotolerant Non-fecal Source *Klebsiella pneumoniae*: Validity of the Fecal Coliform Test in Recreational Waters. **American Journal of Public Health**. Nov. 1984, Vol. 74, No. 11. p. 1273-1275.

CARLIM, E. L. *et al.* Fertilization with nickel and molybdenum in soybean: effect on agronomic characteristics and grain quality. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 37, n. 3, p. 217-222, maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.379>. Acesso em: 3 jun. 2022.

CARVALHO, G. A. D. *et al.* Cádmio em hortaliças: comparando agricultura orgânica e convencional. **Alimento: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 35-60, 2020. Disponível em: <https://revistascientificas.ifrj.edu.br/revista/index.php/alimentos/article/view/1362/754>. Acesso em: 15 jul. 2022.

CESTONARO, T.; BARROS, R. T. V. Representatividade da amostragem com emprego do trier na caracterização de leiras de compostagem de resíduos sólidos urbanos com base na Teoria da Amostragem de Pierre Gy. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 359-370, mar./abr. 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522019000200359. Acesso em: 23 nov. 2020.

CHAVES, L. H. *et al.* Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 167-176, jun. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/4swBkbHJXf4hgsNkMg6GfyR/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 jun. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. **Ficha de informação toxicológica**. São Paulo: CETESB, 2012. p. 1-4. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2021/05/Mercu%CC%81rio.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.

DI PIETRO, M. S. Z. **Direito administrativo**. 25. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

FARIAS, A. R. *et al.* Identificação, mapeamento e quantificação das áreas urbanas do Brasil. **Comunicado Técnico**, Campinas, n. 4, p. 1-5, maio 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1069928/1/20170522COT4.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

FARINA, M. Selênio: funções biológicas e efeitos tóxicos. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 22, n. 22, p. 59-81, 2000. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/download/27112/15564/129343>. Acesso em: 16 jun. 2022.

FLORIANÓPOLIS. **Decreto nº 18.646, de 4 de junho de 2018**. Institui o Programa Florianópolis Capital Lixo Zero, o grupo de governança e dá outras providências. Florianópolis: PMF, 2018. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/f/florianopolis/decreto/2018/1864/18646/decreto-n-18646-2018-institui-o-programa-florianopolis-capital-lixo-zero-o-grupo-de-governanca-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 20 nov. 2020.

FLORIANÓPOLIS. **Decreto nº 21.723, de 8 de julho de 2020**. Florianópolis: PMF, 2020. Disponível em: http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/diario/pdf/23_09_2020_21.21.42.d2aa1ac7a1dc1693b3a1d997cf9c0508.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

FLORIANÓPOLIS. **Indicadores de geração de resíduos**. Florianópolis: Comcap, [s/d]. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/comcap/index.php?cms=indicadores+da+geracao+de+residuos&menu=6&submenuid=1414>. Acesso em: 20 nov. 2020.

FLORIANÓPOLIS. **Lei nº 10.501, de 8 de abril de 2019**. Dispõe sobre a obrigatoriedade da reciclagem de resíduos sólidos orgânicos no município de Florianópolis. Florianópolis: PMF, 2019. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/f/florianopolis/lei-ordinaria/2019/1051/10501/lei-ordinaria-n-10501-2019-dispoe-sobre-a-obrigatoriedade-da-reciclagem-de-residuos-solidos-organicos-no-municipio-de-florianopolis>. Acesso em: 20 nov. 2020.

GALVÃO, R. G.; RUIZ, M. S.; COSTA, E. G. Qualidade do composto de resíduos orgânicos de feiras livres e poda de árvores da cidade de São Paulo. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 5, n. 1, p. 585-605, jan. 2019.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: **Atlas**, 2002.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem**: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). 2022. Disponível em: <https://www.iarc.who.int/search/niquel>. Acesso em: 15 jul. 2022.

LEAL, M. A. A. **Método de avaliação da estabilidade de materiais orgânicos por meio de emissões potenciais de CO₂ e de NH₃**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2020. 46 p.: (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 316)

LIMA, S. K. *et al.* **Texto para discussão**: produção e consumo de produtos orgânicos no mundo e no Brasil. Brasília; Rio de Janeiro: IPEA, 2020. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9678/1/TD_2538.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

MARTINEZ, R. A. S. **Doses e formas de aplicação de selênio na produtividade de grãos e nas características agrônômicas da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**. 2007. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

MARONEZI, V. *et al.* Mecanismos de remoção de cromo(VI) do solo pela interação entre matéria orgânica e ferro(III). **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 17-33, 2019. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/rig/article/view/645/613>. Acesso em: 23 abr. 2022.

MATTOS, M. L. T. Microbiologia do solo. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). Recurso Solo: Propriedades e Usos. São Carlos: **Editora Cubo**, 2015. p. 250-272. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1034181>. Acesso em: 15 set. 2022.

MOREIRA, R. M. *et al.* **Legislação de produção orgânica no Brasil: projeto de fortalecimento da agroecologia e da produção orgânica nos SPG e OCS brasileiros**. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Fórum Brasileiro de SPG. Pouso Alegre: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, 2016. 19 p.: il.

OHSE, S. *et al.* Germinação e vigor de sementes de arroz irrigado tratadas com zinco, boro e cobre. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 7/8, n. 1, p. 41-50, 2000/2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Sidinei-Lopes/publication/279506514_Germinacao_e_vigor_de_sementes_de_arroz_irrigado_tratadas_com_zinco_boro_e_cobre/links/5606e28208aea25fce39972d/Germinacao-e-vigor-de-sementes-de-arroz-irrigado-tratadas-com-zinco-boro-e-cobre.pdf. Acesso em: 13 fev. 2022.

OLIVEIRA, L. I. **A lei e a instrução normativa: a força da instrução normativa.** [c2019]. Disponível em: <http://www.rochamarques.com.br/site/wp-content/uploads/pdf/a-lei-e-a-instrucao-normativa.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2020.

OLIVEIRA, E. A. G. *et al.* **Avaliação da estabilidade de materiais orgânicos por meio de incubação e da captura conjunta das emissões de CO₂ e de NH₃.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2014. 26 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 97).

ORGANIS. Panorama do consumo de orgânicos no Brasil, 2021. Associação de Promoção dos Orgânicos, 2021. Disponível em: <https://www.organicsnet.com.br/site/wp-content/uploads/2022/01/Pesquisa-Organis-2021-Amostra.pdf>. Acesso em: 09 out. 2022.

PAI NETO, R. D. **Produção de composto em pátio de compostagem municipal utilizando o Método UFSC e análise de sua qualidade química.** 2017. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – UFSC, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/174371/TCC-REMI%20DAL%20PAI%20NETO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 31 ago. 2020.

PEREIRA, A. G.; MUNIZ, L. B. Avaliação da suplementação de cromo em pacientes diabéticos tipo II em um centro de saúde de Brasília-Distrito Federal. **Revista**, Valparaíso de Goiás, v. 1, n. 1, p. 25-31, jan./jun. 2012. Disponível em: <http://revistafacesa.senaaires.com.br/index.php/revisa/article/view/9/6>. Acesso em: 18 set. 2021.

PIRES, I. C. G; FERRÃO, G. E. Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 9, n. 1, p. 1-18, 2017.

REFAZENDO ciclos: resíduos urbanos e o retorno da fertilidade aos solos. [S. l.: s. n.], 2014. 1 vídeo (6 min). Publicado pelo canal Cepagro. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=bVCzgVnfiTo>. Acesso em: 22 nov. 2020.

SANTA CATARINA. Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina. **Instrução Normativa nº 75, de 17 de julho de 2019.** Define a documentação necessária ao licenciamento e estabelece critérios para apresentação dos planos, programas e projetos técnicos e ambientais para implantação, operação e monitoramento de unidades de compostagem de resíduos sólidos urbanos segregados na fonte, incluindo tratamento de efluentes líquidos, tratamento e disposição de resíduos sólidos e outros passivos ambientais. Disponível em: <https://www.ima.sc.gov.br/index.php/licenciamento/instrucoes-normativas>. Acesso em: 22 nov. 2020.

SERVIÇO SOCIAL DO COMÉRCIO DE SANTA CATARINA (SESC-SC). **Restaurante Sesc.** 2020. Disponível em: <https://www.sesc-sc.com.br/site/servicos/restaurantes-do-sesc>. Acesso em: 22 nov. 2020.

SILVA, B. M. *et al.* **Crítérios técnicos para elaboração de projeto, operação e monitoramento de pátios de compostagem de pequeno porte.** Fundação de Amparo à Pesquisa de Santa Catarina, FAPESC. Florianópolis, 2017. 46 p.: il.

SILVA, F. C.; SANTOS, A. D.; BERTON, R. S. Gestão pública de resíduo sólido domiciliar orgânico no município: compostagem, agricultura e informática. *In: MAGNONI JÚNIOR, L. et al. (org.). JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil. 2. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017. p. 111-139.*

SILVA, R. F. *et al.* Crescimento e tolerância de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* Vell. cultivadas em solo contaminado com zinco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 3, p. 979-986, jul./set. 2018.
Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/33374/pdf>. Acesso em: 20 jun. 2022.

SIMÕES, B. D. F. **Identificação e quantificação de níquel em produtos alimentares para crianças**. 2018. 67 f. Dissertação (Mestrado em Farmácia) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2018. Disponível em: <https://eg.uc.pt/bitstream/10316/84709/1/tese%20final.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2022.

SIQUEIRA, T. M. O.; ABREU, M. J. Fechando o ciclo dos resíduos orgânicos: compostagem inserida na vida urbana. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 38-43, out./dez. 2016.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. NÚCLEO REGIONAL SUL. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS), 2016. Disponível em: http://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf. Acesso em: 28 jul. 2022.

SOUSA, F. F. *et al.* Lead and cadmium transfer factors and the contamination of tomato fruits (*Solanum lycopersicum*) in a tropical mountain agroecosystem. **Bulletin of Environmental Contamination Toxicology**, New York, n. 105, p. 325-331, jul. 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00128-020-02930-w.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2021.

SOUZA, A. J. **O papel do microbioma na degradação de pesticidas em solos agrícolas**. 2022. 44 f. Monografia (Especialização em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2020.

TEIXEIRA, C. **Higienização de lodo de estação de tratamento de esgoto por compostagem termofílica para uso agrícola**. 2012. 139 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

TRIVELLA, R. B. B., ANDRADE, I. T. O fortalecimento da rede de agricultura urbana de Florianópolis: potencialidades de parcerias público-privadas. *In: Encontro Latino Americano de Agricultura Urbana e Periurbana, 4., 2019, Florianópolis. Anais [...] Florianópolis: UFSC, 2019. p. 151-165.*

TMECC. Test methods for the examination of composting and compost. 02.01. Sample Collection and Laboratory Preparation. Field Sampling of Compost Materials, 2001. 25 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. **Guia de produção técnica e tecnológica**. Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica. Orienta Docentes e Discentes a desenvolver e registrar produtos técnicos/tecnológicos vinculados ao Mestrado Profissional em Agricultura Orgânica. Seropédica: UFRRJ, 2020. Disponível em: <http://cursos.ufrj.br/posgraduacao/ppgao/formularios>. Acesso em: 22 nov. 2020.

VASCONCELOS, C. V. **Caracterização e tratamento do composto orgânico de resíduos urbanos de Belo Horizonte - MG para a utilização em ações de agricultura urbana**. 2019. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

WICHUK, K.; McCARTNEY, D. A review of the effectiveness current time-temperature regulations on pathogen inactivation during composting. **Journal of Environmental Engineering and Science**, Londres, v. 6, n. 5, p. 573-586, ago. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Kristine-Wichuk/publication/237152287_A_review_of_the_effectiveness_of_current_time-temperature_regulations_on_pathogen_inactivation_during_composting/links/551555360cf2f7d80a32c48c/A-review-of-the-effectiveness-of-current-time-temperature-regulations-on-pathogen-inactivation-during-composting.pdf. Acesso em: 21 jun. 2022.

WIGAND, C. G. *et al.* Compostagem e aterro sanitário: uma discussão sobre a importância de sua centralização. *In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS*, 10., 2019, João Pessoa. **Anais** [...]. João Pessoa: Instituto Venturi para Estudos Ambientais, 2019. p. 1-8.