

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento

MARIA APARECIDA FLORES DE SOUSA JUNQUEIRA DE ANDRADE

ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UNIDADES ESCOLARES

TUPÃ

2026

MARIA APARECIDA FLORES DE SOUSA JUNQUEIRA DE ANDRADE

ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UNIDADES ESCOLARES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Tupã, como requisito parcial para o exame de qualificação de doutorado em Ciências.

Área de concentração: Agronegócio e Desenvolvimento

Linha de Pesquisa: Sociedade e Natureza

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Silva Braga Junior

Coorientadoras: Profa. Dra. Camila Pires Cremasco e Profa. Dra. Rebeca Delatore Simão

TUPÃ

2026

Ficha catalográfica elaborada pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação da FCE – Unesp, Câmpus Tupã:

A554i Andrade, Maria Aparecida Flores de Sousa Junqueira de
Índice de avaliação de resíduos sólidos em unidades
escolares / Maria Aparecida Flores de Sousa Junqueira de
Andrade. – Tupã, 2026.
112 f ; il.

Tese (Doutorado em Agronegócio e Desenvolvimento)
Universidade Estadual Paulista UNESP – Faculdade de
Ciências e Engenharia, Campus de Tupã, 2026.

Orientador: Sérgio Silva Braga Junior.
Coorientadoras: Camila Pires Cremasco e Rebeca Delatore
Simão.

1. Resíduos sólidos — Gestão. 2. Unidades escolares —
Sustentabilidade. 3. Agronegócio e desenvolvimento. 4.
Meio ambiente. I. Título. II. Autores.

Fonte: Eliana Kátia Pupim, bibliotecária CRB 8 – 6202. Essa ficha não pode ser modificada.

Impacto potencial desta pesquisa

O impacto desta pesquisa estende-se para além do meio acadêmico, visando à validação do modelo desenvolvido com base na lógica *fuzzy*, por meio de sua aplicação nas escolas investigadas, com posterior ampliação para outras instituições do município e da região, tomando como referência as características comuns entre elas. Ao fornecer uma análise detalhada sobre como ocorre a coleta, a segregação e o descarte dos resíduos sólidos, o estudo evidencia que a adoção da compostagem e a produção de adubo orgânico configuram-se como elementos essenciais na gestão dos resíduos orgânicos, destacando sua relevância prática e educativa, além de propor possíveis estratégias de implementação na rede escolar. A pesquisa apresenta potencial para influenciar políticas públicas, incentivar a construção de novos modelos de gestão e fortalecer redes de colaboração ligadas à Educação. Dessa forma, contribui para a construção de um ecossistema mais sustentável e equitativo, reforçando o papel da educação na redução do impacto ambiental.

Potential impact of this research

The impact of this research extends beyond academia, aiming to validate the model developed based on *fuzzy* logic through its application in the investigated schools, with subsequent expansion to other institutions in the municipality and region, taking as a reference the common characteristics among them. By providing a detailed analysis of how the collection, segregation, and disposal of solid waste occur, the study shows that the adoption of composting and the production of organic fertilizer are essential elements in the management of organic waste, highlighting their practical and educational relevance, as well as proposing possible implementation strategies in the school network. The research has the potential to influence public policies, encourage the construction of new management models, and strengthen collaborative networks linked to education. In this way, it contributes to the construction of a more sustainable and equitable ecosystem, reinforcing the role of education in reducing environmental impact.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UNIDADES ESCOLARES

AUTORA: MARIA APARECIDA FLORES DE SOUSA JUNQUEIRA DE ANDRADE

ORIENTADOR: SERGIO SILVA BRAGA JUNIOR

COORDINADOR: COORDINADORA: CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL

COORDINADORA: REBECA DELATORE SIMÕES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciências, pela Comissão Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
SERGIO SILVA BRAGA JUNIOR
Data: 16/03/2026 16:31:18-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. SERGIO SILVA BRAGA JUNIOR (Participação Virtual)
Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / UNESP / Câmpus de Tupã - FCE

 Documento assinado digitalmente
RITA DE CÁSSIA NUNES ROSS
Data: 17/03/2026 15:26:43-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. RITA DE CÁSSIA NUNES ROSS (Participação Virtual)
Docente do Curso de Biomedicina / Centro Universitário Alta Paulista - UNIFADAP - Tupã/SP

 Documento assinado digitalmente
ANA CLAUDIA MARASSÁ ROZA BOSO TENÓRIO
Data: 16/03/2026 21:16:14-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.ª Dr.ª ANA CLAUDIA MARASSÁ ROZA BOSO TENÓRIO (Participação Virtual)
Ensino Básico / Prof. Altino Arantes - Secretaria da Educação do Estado de São Paulo

 Documento assinado digitalmente
DEYVER BORDIN
Data: 16/03/2026 18:57:17-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. DEYVER BORDIN (Participação Virtual)
Pesquisador / Pesquisador

 Documento assinado digitalmente
LETICIA SANCHES SILVA
Data: 29/04/2026 14:39:45-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. LETICIA SANCHES SILVA (Participação Virtual)
Docente do Ensino de Matemática / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - IFSP - Tupã/SP

Tupã, 12 de março de 2026.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de realizar este tão esperado doutorado em uma instituição de renome, cercada por profissionais de excelência, e pelo amparo constante ao longo desta jornada.

Ao Prof. Dr. Sérgio Silva Braga Junior, pelo aceite de orientação, por facilitar minha trajetória ao apontar os melhores caminhos e oportunidades, que permitiram que este trabalho fluísse em todas as suas etapas.

Ao Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho, por todo apoio e incentivo para tornar possível realizar o sonho de ingressar no doutorado desta instituição que tanto admiro.

À Prof.^a Dra. Camila Pires Cremasco, sou grata pela coorientação, pelo incentivo e contribuições que enriqueceram a pesquisa, sem as quais não obteria a conclusão deste trabalho.

À Prof.^a Dra. Rebeca Delatore Simão, gratidão pela coorientação e por todo apoio e incentivo durante esta jornada.

Aos meus filhos, expresso minha mais sincera gratidão pelo amor dispensado a mim, pelo apoio em todas as circunstâncias e por estarem sempre ao meu lado, tornando possível a realização dos meus estudos e muitas vezes poupando-me de preocupações de todas as formas.

À UNESP, Câmpus de Tupã, minha gratidão pela infraestrutura proporcionada para minha formação, e aos funcionários, pela prontidão em ajudar e pelo trabalho realizado com competência exemplar.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento, meu reconhecimento pela dedicação nas aulas ministradas, pelo conhecimento compartilhado, e pela constante disposição em auxiliar os alunos ao longo do curso.

“Entrega o teu caminho ao Senhor, confia nele, e o mais ele fará.”
Salmos 37:5 ARA

ANDRADE, Maria Aparecida Flores de Sousa Junqueira. **Índice de avaliação de resíduos sólidos em unidades escolares**. 2026. 112 folhas. Tese (Doutorado em Ciências, Área: Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Tupã, 2026.

RESUMO GERAL

O consumo e descarte de produtos têm aumentado consideravelmente no Brasil e no mundo. Os resíduos sólidos são gerados em locais como domicílios, escritórios, escolas e centros comerciais e, nas escolas, especificamente, produz-se diariamente uma quantidade significativa de resíduos, o que torna a gestão eficaz de resíduos sólidos no ambiente escolar essencial. Diante disso, esta pesquisa buscou responder à questões como a gestão de resíduos sólidos em escolas públicas do município de Tupã, e quais critérios podem fundamentar o desenvolvimento de um índice de avaliação específico para o ambiente escolar. A partir deste questionamento, foi definido o objetivo geral de “analisar a gestão de resíduos sólidos em três escolas públicas do município de Tupã e obter um índice de avaliação de resíduos sólidos em ambiente escolar”. Para alcançar este objetivo, foram definidos também os seguintes objetivos específicos: i) identificar os setores de cada unidade escolar; ii) diagnosticar a gestão de resíduos sólidos em cada setor do ambiente escolar; iii) elaborar um modelo matemático de gerenciamento baseado em lógica *fuzzy*; e iv) propor medidas de intervenção que auxiliem a diminuir falhas no processo de gestão de resíduos sólidos. A pesquisa utilizou a revisão de literatura, observações in loco com aplicação de questionários fechados a discentes, gestores, docentes e funcionários, configurando um estudo de caso descritivo com abordagem qualiquantitativa. A análise estatística incluiu ANOVA e testes de Tukey para identificar diferenças significativas nas práticas e percepções relacionadas à gestão de resíduos entre as escolas analisadas. Posteriormente, foi desenvolvido um modelo matemático baseado em lógica *fuzzy*, que será aplicado e validado nas escolas, buscando avaliar sua aplicabilidade em outras instituições do município e da região. Os resultados iniciais indicam que a gestão de resíduos varia consideravelmente entre as escolas analisadas, com destaque positivo para a escola C devido ao maior engajamento entre os ambientes e infraestrutura. Já as escolas B e A apresentam problemas significativos em práticas e conscientização, evidenciando a necessidade de intervenções direcionadas para aprimorar a gestão de resíduos sólidos no ambiente escolar.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. Ambiente escolar. Índice de avaliação. Lógica *fuzzy*. Diagnóstico de gestão ambiental.

ANDRADE, Maria Aparecida Flores de Sousa Junqueira. **Solid Waste Assessment Index in Educational Institutions**. 2026. 112 pages. Doctoral dissertation (PhD in Sciences, Area: Agribusiness and Development) – School of Sciences and Engineering, São Paulo State University (UNESP), Tupã, 2026.

ABSTRACT

The consumption and disposal of products have increased significantly in Brazil and worldwide, leading to a growing generation of solid waste in various environments such as households, offices, schools, and commercial establishments. In schools, the daily generation of waste highlights the importance of implementing effective solid waste management practices. In this context, this study aimed to analyze solid waste management in three public schools in the municipality of Tupã, São Paulo, Brazil, and to develop an evaluation index for solid waste management in the school environment. Specifically, the study sought to: (i) identify the different sectors within each school unit; (ii) diagnose solid waste management practices in each sector; (iii) develop a mathematical management model based on *fuzzy* logic; and (iv) propose intervention measures to reduce weaknesses in the solid waste management process. The research adopted a descriptive case study design with a mixed-methods approach, combining qualitative and quantitative analyses. The methodological procedures included a literature review, on-site observations, and the application of structured questionnaires to students, administrators, teachers, and staff members. Statistical analyses were conducted using Analysis of Variance (ANOVA) and Tukey's test to identify significant differences in practices and perceptions related to waste management among the schools studied. In addition, a mathematical model based on *fuzzy* logic was developed to construct a solid waste management evaluation index, which will be applied and validated in the analyzed schools and may be adapted for use in other educational institutions in the municipality and surrounding region. The results indicate considerable variation in waste management practices among the schools. School C demonstrated more effective management, mainly due to better infrastructure and stronger engagement among the school community. In contrast, Schools B and A showed significant deficiencies in both practices and environmental awareness, highlighting the need for targeted interventions to improve waste management in the school environment. The findings reinforce the importance of integrating infrastructure improvements with educational strategies to promote more sustainable waste management practices in schools.

Palavras-chave: Solid waste. School environment. Evaluation index. *Fuzzy* logic. Environmental management diagnosis.

LISTA DE FIGURAS

Artigo 1

Figura 1 - Boxplot da Questão 5 (Participação em projetos relacionados à gestão de resíduos sólidos) por escola.....	53
Figura 2 - Boxplot da Questão 6 (Participação em projetos relacionados à gestão de resíduos sólidos) por escola.....	54
Figura 3 - Diferenças entre grupos na Questão Q6 com intervalos de confiança (Teste de Tukey).....	56

Artigo 2

Figura 1 - Estrutura geral do modelo <i>fuzzy</i> proposto.....	74
Figura 2 - Funções de pertinência das variáveis de entrada do modelo <i>fuzzy</i>	78
Figura 3 - Apresenta as funções de pertinência utilizadas para representar as variáveis de entrada do modelo <i>fuzzy</i>	91
Figura 4 - Funções de pertinência da variável de saída Índice de Gestão de Resíduos (IGR)	92
Figura 5 - Superfície tridimensional do Índice de Gestão de Resíduos (IGR) em função das variáveis Infraestrutura (INF) e Conscientização Ambiental (CON).	92
Figura 6 - Mapa de contorno de decisão tridimensional e o respectivo mapa de contorno para a interação entre Infraestrutura (INF) e Conscientização (CON) na determinação do Índice de Gestão de Resíduos (IGR).	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Objetivos e metas da Agenda 2030 alinhados com a pesquisa.	21
Quadro 2 - Características relevantes das escolas pesquisadas.	24
Quadro 3 - Características metodológicas do Artigo 1.	26
Quadro 4 - Características metodológicas do Artigo 2.	27

Artigo 1

Quadro 1 - Informações sobre as escolas pesquisadas	45
Quadro 2 - Questões dirigidas aos discentes e seus objetivos no levantamento de dados	46
Quadro 3 - Questões dirigidas aos docentes e seus objetivos no levantamento de dados	47
Quadro 4 - Questões dirigidas aos funcionários e seus objetivos no levantamento de dados	47
Quadro 5 - Questões dirigidas aos gestores e seus objetivos no levantamento de dados	48

Artigo 2

Quadro 1 - Variáveis de entrada do modelo <i>fuzzy</i> para avaliação da gestão de resíduos sólidos em ambientes escolares	76
Quadro 2 - Exemplos de regras do sistema <i>fuzzy</i>	78

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

Tabela 1 – Resultados da ANOVA.....	53
Tabela 2 – Resultados do Teste de Tukey para Q5.	54
Tabela 3 – Resultados do Teste de Tukey para Q6.	57

Artigo 2

Tabela 1 - Parâmetros das funções de pertinência das variáveis de entrada	77
Tabela 2 - Parametrização das funções de pertinência trapezoidais (domínio $U = [0,3]$)	83
Tabela 3 - Estrutura simplificada da base de regras <i>fuzzy</i> (representação parcial)...	90
Tabela 4 - Médias consolidadas das dimensões Infraestrutura (INF), Conscientização (CON) e Aderência às Práticas (ADP) por unidade escolar (escala 0–3).....	96
Tabela 5 - Médias das dimensões avaliadas e Índice de Gestão de Resíduos (IGR) por unidade escolar	96

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de Variância
EA	Educação ambiental
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL DA TESE	16
2 JUSTIFICATIVA	20
3 OBJETIVOS.....	23
3.1 Objetivos Específicos	23
4 METODOLOGIA GERAL.....	23

CAPÍTULO 1

ARTIGO 1. DIAGNÓSTICO ESCOLAR REFERENTE AO PLANO DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	28
1 INTRODUÇÃO	30
2 JUSTIFICATIVA	32
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	33
3.1 Interface Entre a Educação Ambiental e a Gestão de Resíduos Sólidos no Âmbito Escolar	35
3.1.1 Ensino Fundamental.....	37
3.1.2 Ensino Médio.....	40
3.1.3 Professores	41
4 METODOLOGIA	43
4.1 Delineamento da Pesquisa e Amostra	44
4.2 Instrumentos de Coleta de Dados	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
Referências	60

CAPÍTULO 2

ARTIGO 2. MODELAGEM <i>FUZZY</i> COMO INSTRUMENTO DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE RESÍDUOS.....	68
1 INTRODUÇÃO	68
2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA DO CAPÍTULO	70
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	70
3.1 Conjuntos <i>Fuzzy</i>	70
3.2 Sistema de Inferência <i>Fuzzy</i>	72
3.3 <i>Defuzzificação</i>	73
3.4 Estrutura do Sistema <i>Fuzzy</i>	73
3.5 Variáveis de Entrada	75
3.6 Universos de Discurso	76
3.7 Funções de Pertinência.....	77

3.8 Base de Regras <i>Fuzzy</i>	78
3.9 Variável de Saída (IGR).....	80
3.10 Implementação Computacional do Modelo	80
4 METODOLOGIA	81
4.1 Modelagem Matemática do Sistema <i>Fuzzy</i>	81
4.2 Definição dos Universos de Discurso	82
4.3 Modelagem das Funções de Pertinência	82
4.4 Estrutura da Base de Regras	84
4.5 Inferência.....	84
4.6 Processo de <i>Defuzzificação</i>	85
4.7 Validação do Modelo E Ambiente Computacional	85
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
5.1 Comportamento Estrutural Do Sistema <i>Fuzzy</i>	86
6 CONCLUSÃO	98
Referências	100
Conclusões Gerais Da Tese.....	102
Referências Gerais.....	104
Apêndices	107
Apêndice A – Questionários Aplicado Aos Discentes	107
Apêndice B – Questionários Aplicado Aos Docentes	108
Apêndice C – Questionários Aplicado Aos Funcionários.....	110
Apêndice D – Questionários Aplicado Aos Gestores.....	111

1 INTRODUÇÃO GERAL DA TESE

Questões ambientais globais, muitas delas causadas pelo gerenciamento insuficiente de resíduos sólidos, têm levantado crescente preocupação em todo o mundo. Essa problemática tem intensificado discussões entre pesquisadores, funcionários públicos e membros da comunidade (Jacobi; Besen, 2011). Desde a Revolução Industrial, que intensificou a produção e o consumo desordenado, tem aumentado a geração de resíduos. Seus efeitos são percebidos em diversos ambientes, como escolas, escritórios, centros comerciais e residências (Abrelpe, 2022). Métodos limitados de descarte de resíduos mostram-se ineficientes, especialmente devido à inadequação das áreas destinadas à disposição final. A infraestrutura precária e a gestão ineficaz representam desafios substanciais para o enfrentamento de questões ambientais em escalas locais e globais.

No Brasil, os resíduos sólidos gerados por atividades agrícolas, comerciais, industriais e outras são categorizados com base em suas características, como composição química (seca ou úmida), natureza (orgânica ou inorgânica) e grau de periculosidade (ABNT, 2004; D'Almeida; Vilhena, 1998). O gerenciamento desses resíduos apresenta desafios devido à sua diversidade e complexidade, exigindo soluções específicas para cada contexto. De acordo com Calderoni (2003), o acúmulo de resíduos pode comprometer a capacidade dos ecossistemas de assimilá-los, levando a diversos impactos adversos. Nesse sentido, políticas públicas eficazes são fundamentais para mitigar tais consequências.

A Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), representa uma resposta do governo federal aos desafios relacionados aos resíduos sólidos. Seu objetivo é coordenar iniciativas que incentivem a redução da geração de resíduos, a reutilização de materiais recicláveis e a coleta seletiva, agregando valor econômico aos resíduos (Brasil, 2010). Ao fornecer diretrizes para estados e municípios quanto às práticas adequadas de manejo, a PNRS busca reduzir a disposição inadequada de resíduos e promover modelos mais sustentáveis de gestão. No entanto, sua implementação ainda enfrenta desafios significativos, como a insuficiência de dados e a limitação de infraestrutura (Veiga, 2014).

A Educação Ambiental (EA) desempenha papel fundamental na formação de cidadãos conscientes, ao sensibilizar a comunidade para a preservação ambiental e promover práticas sustentáveis desde a infância (UNESCO, 2007). No ambiente

escolar, a EA tem como objetivo formar indivíduos responsáveis e engajados em comportamentos ecológicos. Atividades práticas, como projetos de reciclagem e compostagem, demonstram como conceitos ambientais podem ser aplicados, promovendo experiências que capacitam os alunos e integram a sustentabilidade à rotina escolar (Lima; Dias; Lima, 2016; Santos; Schmitt; Rosa, 2016).

Diversos estudos apontam lacunas na compreensão de questões e práticas ambientais entre alunos e professores. No ensino fundamental, por exemplo, muitos estudantes ainda associam resíduos sólidos apenas ao conceito de “lixo”, sem considerar seu potencial de reutilização ou reciclagem (Brandão, 2021; Rosini et al., 2019). A ausência de sistemas de coleta seletiva nas escolas agrava essa situação, dificultando a adoção de práticas adequadas de descarte (Brito, 2016). Embora a conscientização ambiental aumente no ensino médio, muitos alunos ainda encontram dificuldades em incorporar esses conceitos no cotidiano, em grande parte devido à falta de apoio familiar e comunitário (Manica; Johann, 2019; Xavier; Silva; Almeida, 2016).

Os professores, apesar de seu papel essencial na disseminação do conhecimento ambiental, frequentemente enfrentam dificuldades para abordar a gestão de resíduos sólidos em sala de aula. Muitos educadores recebem formação inicial insuficiente nessa área (Oliveira; Bassetti, 2016). Além disso, a limitada inserção de temas ambientais nos Projetos Político-Pedagógicos (PPP) dificulta a integração da educação ambiental com outras disciplinas, comprometendo uma abordagem interdisciplinar (Santos; Costa; Santos, 2019). Programas de formação continuada têm contribuído para minimizar essas lacunas e aprimorar as práticas pedagógicas (Fuzzi; Santos; Leal, 2016).

Esse cenário se torna ainda mais desafiador em municípios como Tupã, onde a gestão de resíduos sólidos nas escolas enfrenta limitações relacionadas à infraestrutura e à implementação de práticas sustentáveis. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo investigar estratégias para aprimorar o gerenciamento de resíduos sólidos nas escolas do município, propondo um modelo de avaliação adaptado às condições locais.

Dessa forma, a pesquisa busca responder às seguintes questões: (i) quais setores escolares são responsáveis pela geração e manejo de resíduos sólidos; (ii) como se configuram as práticas de gestão de resíduos nas diferentes áreas da escola; (iii) de que forma um modelo matemático baseado em lógica fuzzy pode contribuir

para a otimização dessa gestão; e (iv) como intervenções estratégicas podem melhorar a eficiência do sistema.

Ao propor uma estrutura de avaliação e controle adaptada à realidade local, o estudo contribui para o enfrentamento de desafios específicos e favorece a replicação de soluções em contextos semelhantes. Práticas como a compostagem desempenham papel relevante, ao mesmo tempo ambiental e educativo, ao promoverem o reaproveitamento de resíduos orgânicos e a formação de valores sustentáveis. Estratégias como capacitação docente e melhoria da infraestrutura escolar são fundamentais para consolidar a gestão de resíduos como eixo educacional e ambiental.

Sendo assim a gestão de resíduos sólidos constitui um dos principais desafios socioambientais contemporâneos, envolvendo dimensões técnicas, organizacionais e comportamentais que se manifestam de forma integrada em diferentes sistemas institucionais. Este desafio assumiu características particulares, uma vez que as unidades escolares exercem simultaneamente funções operacionais e formativas. A geração de resíduos decorrentes das atividades cotidianas, faz com que as escolas desempenhem papel central na construção de valores ambientais e na formação de práticas sustentáveis entre estudantes e comunidade.

A avaliação da gestão de resíduos em ambientes escolares apresenta elevada complexidade analítica. O desempenho institucional depende não apenas da disponibilidade de infraestrutura física adequada, mas também do nível de conscientização ambiental e da aderência efetiva da comunidade escolar às práticas de segregação e destinação correta dos resíduos. Essas dimensões interagem de maneira dinâmica e frequentemente apresentam níveis intermediários de desenvolvimento, o que dificulta sua representação por modelos avaliativos tradicionais baseados em classificações rígidas ou indicadores lineares.

Neste contexto, a lógica *fuzzy* apresenta-se como abordagem matemática adequada para representar sistemas caracterizados por gradualidade, incerteza semântica e interação multicritério. Introduzida por Zadeh (1965), a teoria dos conjuntos *fuzzy* permite modelar graus de pertencimento contínuos entre 0 e 1, possibilitando representar formalmente categorias linguísticas como “baixo”, “moderado” ou “alto”. Esta característica torna a abordagem especialmente adequada para análise de fenômenos socioambientais, nos quais as fronteiras entre categorias raramente são abruptas.

A modelagem *fuzzy* possibilita integrar variáveis qualitativas e quantitativas em um único sistema de inferência, preservando a interpretabilidade dos resultados permitindo representar efeitos compensatórios entre diferentes dimensões do sistema analisado. Em sistemas multicritério, melhorias em determinado fator podem compensar parcialmente limitações em outro, refletindo de maneira mais realista a dinâmica de sistemas institucionais complexos.

Com base nesta abordagem, esta tese propõe o desenvolvimento de um modelo matemático *fuzzy* para avaliação da gestão de resíduos sólidos em unidades escolares. O sistema integra três dimensões analíticas fundamentais: infraestrutura disponível para manejo de resíduos, nível de conscientização ambiental da comunidade escolar e aderência efetiva às práticas de segregação e destinação adequada.

A estrutura do modelo foi construída a partir de funções de pertinência trapezoidais, base de regras compensatória sistematicamente definidas e mecanismo de inferência do tipo Mamdani, com *defuzzificação* realizada pelo método do centroide. Essa estrutura permite a construção de um indicador contínuo denominado Índice de Gestão de Resíduos (IGR), capaz de representar diferentes níveis intermediários de desempenho institucional.

A proposta metodológica buscou oferecer instrumento analítico capaz de traduzir dimensões qualitativas da gestão ambiental em estrutura matemática interpretável. Ao integrar modelagem *fuzzy* e avaliação ambiental, o estudo contribuiu para o desenvolvimento de ferramentas diagnósticas capazes de apoiar processos de gestão e tomada de decisão em contextos institucionais caracterizados por múltiplos critérios e interações graduais.

A tese encontra-se organizada da seguinte forma. O primeiro capítulo apresenta a contextualização teórica da gestão de resíduos sólidos no ambiente escolar, discutindo fundamentos da educação ambiental e a importância de instrumentos avaliativos capazes de captar a complexidade desses sistemas socioinstitucionais. O segundo capítulo desenvolve a modelagem matemática do sistema *fuzzy* proposto, descrevendo a definição das variáveis, construção das funções de pertinência, estrutura da base de regras, implementação computacional e análise dos resultados obtidos.

A articulação entre fundamentação teórica e modelagem matemática permite compreender de forma integrada como diferentes dimensões institucionais

influenciam o desempenho ambiental das escolas. Ao propor um modelo *fuzzy* estruturado e reprodutível, esta tese buscou contribuir para o avanço metodológico na avaliação de sistemas socioambientais caracterizados por múltiplas dimensões interdependentes.

2 JUSTIFICATIVA

O manejo inadequado de resíduos sólidos em instituições escolares constitui um desafio relevante para a sustentabilidade ambiental e para a saúde pública. O gerenciamento inadequado de resíduos com propriedades biológicas, químicas e físicas pode comprometer a qualidade do solo, da água e do ar, além de representar riscos diretos à saúde humana quando não é realizado de forma adequada. Nesse contexto, a adoção de práticas eficientes de gestão de resíduos torna-se elemento fundamental para a promoção de ambientes educacionais mais seguros e ambientalmente responsáveis.

Esta pesquisa está alinhada aos objetivos do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento (PGAD) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus de Tupã, cujo propósito consiste em desenvolver estudos interdisciplinares voltados à compreensão e ao enfrentamento dos desafios contemporâneos do agronegócio, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. Embora o estudo tenha sido conduzido predominantemente em ambientes escolares urbanos, sua abordagem metodológica apresenta potencial de aplicação em escolas rurais e em contextos vinculados às cadeias produtivas do agronegócio, nos quais a gestão adequada de resíduos também constitui tema relevante.

O trabalho insere-se na área de pesquisa Desenvolvimento e Meio Ambiente do PGAD, que busca analisar as relações entre atividades humanas, sistemas produtivos e sustentabilidade ambiental. Ao investigar a gestão de resíduos sólidos em instituições educacionais, a pesquisa explorou a interação entre processos educativos, organização institucional e práticas ambientais, destacando o papel da escola na formação de indivíduos ambientalmente conscientes e na redução de impactos ambientais associados ao manejo inadequado de resíduos.

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo será
disponibilizado
somente a partir de 12/03/2027

CONCLUSÕES GERAIS DA TESE

Esta tese desenvolveu um modelo matemático baseado em lógica *fuzzy* para avaliação integrada da gestão de resíduos sólidos em unidades escolares. A proposta buscou representar, de forma estruturada e interpretável, a interação entre dimensões estruturais, cognitivas e comportamentais que influenciam o desempenho ambiental das instituições educacionais.

O modelo foi estruturado a partir de três variáveis de entrada — infraestrutura, conscientização ambiental e aderência às práticas — representadas por funções de pertinência trapezoidais definidas no intervalo $[0,3]$. A base de regras *fuzzy* foi gerada por critério matemático compensatório sistemático, considerando todas as combinações possíveis entre os níveis linguísticos das variáveis de entrada. O processo de inferência foi implementado segundo o modelo de Mamdani, e o valor final do índice foi obtido por *defuzzificação* pelo método do centroide.

A estrutura do sistema resultou na construção do Índice de Gestão de Resíduos (IGR), definido em escala contínua de 0 a 10, permitindo representar gradualmente diferentes níveis de desempenho institucional. Essa abordagem possibilita diferenciar unidades escolares com níveis próximos de desempenho, evitando as limitações de classificações rígidas frequentemente utilizadas em sistemas de avaliação ambiental.

A análise estrutural do modelo evidenciou propriedades matemáticas importantes. O sistema apresentou monotonicidade global, característica segundo a qual aumentos nas variáveis de entrada não produzem redução no valor do índice final. Em termos práticos, melhorias em infraestrutura, conscientização ou aderência às práticas sempre resultam em manutenção ou elevação do Índice de Gestão de Resíduos, garantindo coerência direcional entre as condições institucionais observadas e o desempenho ambiental estimado pelo modelo.

Também se observou comportamento compensatório entre as variáveis do sistema. O desempenho global não depende exclusivamente de uma única dimensão, mas da interação entre os diferentes fatores analisados. Níveis elevados em determinada variável podem compensar parcialmente limitações em outra, refletindo a natureza integrada dos processos de gestão ambiental no ambiente escolar.

As superfícies de decisão geradas pelo sistema *fuzzy* demonstraram comportamento contínuo e estável em todo o domínio analisado. O índice apresentou crescimento gradual em relação às variáveis Infraestrutura e Conscientização, enquanto a variável Aderência às Práticas atuou predominantemente como deslocamento vertical das superfícies de decisão. Esse comportamento confirma simetria estrutural entre as variáveis e estabilidade matemática do modelo frente à variação paramétrica.

A aplicação empírica do modelo evidenciou que o desempenho da gestão de resíduos nas escolas analisadas encontra-se em nível intermediário de maturidade institucional. Observou-se que a aderência às práticas apresentou valores relativamente mais elevados, indicando consolidação parcial das rotinas operacionais de segregação e descarte. Em contraste, a dimensão de conscientização ambiental apresentou valores mais reduzidos, sugerindo limitação no nível de engajamento formativo da comunidade escolar.

Esses resultados indicam que a gestão de resíduos no ambiente escolar depende da articulação equilibrada entre infraestrutura física, processos educativos e consolidação de práticas institucionais. Investimentos isolados em apenas uma dessas dimensões tendem a produzir efeitos limitados, enquanto estratégias integradas podem promover avanços mais consistentes no desempenho ambiental das instituições.

A modelagem *fuzzy* mostrou-se adequada para representar a complexidade desses sistemas, permitindo integrar variáveis qualitativas e quantitativas em uma estrutura matemática interpretável. Ao traduzir dimensões institucionais em um índice contínuo de desempenho, o modelo possibilita identificar fragilidades específicas, acompanhar trajetórias de melhoria e apoiar processos de tomada de decisão no contexto da gestão ambiental escolar.

O modelo proposto demonstra que abordagens baseadas em lógica *fuzzy* constituem ferramenta robusta para análise de sistemas socioambientais caracterizados por múltiplos critérios e interações graduais. A integração entre modelagem matemática e avaliação ambiental permite compreender de forma mais precisa a dinâmica institucional da gestão de resíduos, contribuindo para o desenvolvimento de instrumentos diagnósticos aplicáveis a diferentes contextos organizacionais.

REFERÊNCIAS GERAIS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**. Segunda edição. Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil – o 2022**. São Paulo: Abrelpe; 2022. Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2022.pdf>. Acesso em: 04 de janeiro de 2023.

BRANDÃO, T. J. C. A educação ambiental: um estudo das concepções de professores e alunos de ensino fundamental II sobre os descartes dos resíduos sólidos na escola estadual de tempo integral Balbina Mestrinho. **Revista Ilustração**, 2(1), 95-105, 2021. doi:10.46550/ilustracao.v2i1.66

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira- INEP. **Microdados da Educação Básica 2023**: Censo Escolar 2023. Brasília: INEP, 20 INEP 23. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/pesquisas-estatisticas-e-indicadores/censo-escolar/resultados>. Acesso em: 22 nov. 2024.

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: Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos; [2 de agosto de 2010]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 4 abr. 2022.

BRITO, R. M. S. **Educação ambiental para manejo dos resíduos sólidos no IFMG – Campus Ouro Preto**: uso da gestão do conhecimento. Dissertação (Mestrado em Sistema de Informação e Gestão do Conhecimento) – Fundação Mineira de Educação e Cultura (FUMEC), Belo Horizonte, 2016.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. São Paulo: Humanitas FFLCH/USP, 2003.

CRESWELL, J. W. **Research design**: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 4th ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2014.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.). **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT/ CEMPRE, 1998.

FUZZI, F. R.; SANTOS, D. C.; LEAL, A. C. Oficina pedagógica sobre educação ambiental em resíduos sólidos urbanos no município de Alfredo Marcondes/São Paulo. In: MORALES, A. G.; RIGOLDI, A. G.M.; DIAS, L. S. (Orgs.). **Educação Ambiental: Reflexões e experiências**. 1. ed. Tupã-SP: ANAP, 2016.

HUBBARD, A. W. Research methods in health, physical education, and recreation. Washington, D.C.: **American Association for Health, Physical Education, and Recreation**, 1973.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, p. 135–158, jan. 2011.

LIMA, G. A. A.; DIAS, C. A. C.; LIMA, A. H. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos como tema incentivador de educação ambiental. **Scientia Plena**, v. 12, n. 6, p. 1-8, 2016.

MANICA, E. J.; JOHANN, L. Avaliação do conhecimento de alunos do Ensino Médio sobre o destino dos resíduos sólidos domésticos. *Revbea: Revista Brasileira de Educação Ambiental*, São Paulo, v. 14, n. 4, p. 74-86, 2019.

MOREIRA, I. M.; ALVES, A. A. A.; BARROS, R. V.; ANDRADE, T. **A educação ambiental como instrumento de gestão de resíduos sólidos em uma creche do município de João Pessoa** – Pb. *In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*, 2, 2014, São Leopoldo – RS. Anais... São Leopoldo – RS, p. 510-516.

OLIVEIRA, E. M.; BASSETTI, F. J. **Estudo da percepção de alunos de ensino fundamental e médio referente a resíduos sólidos, antes e após sensibilização**. *In: MORALES, A. G.; RIGOLDI, A. G.M.; DIAS, L. S. (Orgs.). Educação Ambiental: Reflexões e experiências*. 1. ed. Tupã-SP: ANAP, 2016.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Como as Nações Unidas apoiam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília: Casa ONU Brasil – Complexo Sérgio Vieira de Mello, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 4 abr. 2022.

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **An introduction to fuzzy sets: analysis and design**. Cambridge: MIT Press, 1998.

ROSINI, D. N.; BECEGATO, V. A.; PATRÍCIO, E. L.; BECEGATO, V. R.; HENKES, J. A. Percepção e sensibilização ambiental dos alunos do ensino médio sobre os resíduos sólidos no município de Bom Retiro SC. **Revista de Gestão Sustentável e Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 482-498, 2019.

SANTOS, A.; COSTA, V. S. O.; SANTOS, T. G. Diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos em duas unidades escolares. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 25-39, 2019.

SANTOS, V. S., SCHMITT, J. L., & ROSA, M. D. A educação ambiental com potencial para o gerenciamento dos resíduos sólidos escolares: o caso da EMEF Boa Saúde, Novo Hamburgo, RS. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, 11(5), 53-66, 2016.

SEREIA, D. A. O.; CARVALHO, F.; FAURO, J. C. S.; BARROS, I. T.; BORTOLI, M.. Sistemas de gestão ambiental: a reciclagem como um instrumento para a sensibilização no meio ambiente escolar. **Revista de Estudos Ambientais**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 60–74, 2014. DOI: 10.7867/1983-1501.2013v15n1p60-74. Disponível em: <https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/3958>. Acesso em: 4 abr. 2024.

STEBBINS, R.A. Exploratory research in the social sciences. **Thousand Oaks:** SAGE Publications, 2001.

UNESCO-Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Education for Sustainable Development:** Linking learning and happiness. Bangkok: UNESCO Bangkok, 2007. 20 p. Disponível em: <https://www.gcedclearinghouse.org/sites/default/files/resources/Education%20for%20sustainable%20development.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2024.

VEIGA, T. B. **Indicadores de sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos urbanos e implicações para a saúde humana.** 261 f. Tese (Doutorado em Enfermagem) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2014.

XAVIER, A. L. S.; SILVA, E.; ALMEIDA, E. P. O. Influência da educação ambiental na percepção de alunos do ensino público de Pombal, Paraíba, quanto à gestão dos resíduos sólidos. **Espacios**, v. 37, n. 08, 2016. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n08/163708e1.html>. Acesso em: 13 nov. 2024.

APÊNDICES

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS APLICADO AOS DISCENTES

Nome: _____

Idade: _____

Série: _____

Sexo: () F () M

Perguntas:

Q1: Qual seu nível de preocupação em relação aos problemas ambientais?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q2: Sabe o principal destino dos resíduos sólidos produzidos na sua escola?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q3: Você já recebeu alguma orientação para separar os resíduos sólidos produzidos no seu ambiente escolar?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q4: Você sabe a diferença entre resíduos sólidos e rejeitos?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q5: Você se sente responsável em descartar corretamente os resíduos sólidos que produz no seu cotidiano?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q6: É possível identificar a existência de coletores adequados de resíduos sólidos no pátio de sua escola?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q7: É possível identificar a existência de coletores adequados para coleta dos resíduos no refeitório?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q8: Você costuma separar os resíduos orgânicos dos resíduos inorgânicos antes de descartá-los?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q9: Os coletores seletivos existentes são utilizados corretamente?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q10: Você acredita que é importante separar os resíduos nos diferentes setores da escola (pátio, refeitório, sala de aula, biblioteca...)?

() nenhum () pouco () razoável () muito

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIOS APLICADO AOS DOCENTES

Nome: _____

Função: _____

Idade: _____

Sexo: () F () M

Nível de escolaridade: () Graduação () Pós-graduação () Mestrado () Doutorado

Perguntas:

Q1: Qual seu nível de preocupação em relação aos problemas ambientais?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q2: Você se sente responsável em descartar adequadamente os resíduos sólidos que produz no seu cotidiano?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q3: Na escola existem coletores adequados para cada tipo de resíduo?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q4: Em suas aulas, você costuma trabalhar com temas relacionados às questões ambientais?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q5: Você já participou de algum projeto voltado para a questão dos resíduos sólidos?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q6: Você acredita que é importante separar os resíduos nos diferentes setores da escola?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q7: Em casa ou no ambiente de trabalho, você costuma separar os resíduos orgânicos dos inorgânicos antes de descartá-los?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q8: A escola possui algum projeto ou atividade que vise reutilizar os resíduos produzidos no desenvolvimento de suas atividades?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q9: Na escola existe orientação sobre a importância da gestão de resíduos sólidos?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q10: A escola desenvolve projetos ou outras atividades ligadas à temática de resíduos?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q11: Você sabe a diferença entre resíduos sólidos e rejeitos?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q12: Você se considera uma pessoa consumista?

() nenhum () pouco () razoável () muito

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIOS APLICADO AOS FUNCIONÁRIOS

Nome: _____

Função: _____

Idade: _____

Sexo: () F () M

Grau de escolaridade: () Ensino fundamental completo () Ensino médio completo ()
Ensino superior completo

Perguntas:

Q1: Qual seu nível de preocupação em relação aos problemas ambientais?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q2: Você se sente responsável em descartar adequadamente os resíduos sólidos que produz no seu cotidiano?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q3: Em relação aos resíduos sólidos, você adota práticas sustentáveis no cotidiano?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q4: Você sabe a diferença entre resíduos sólidos e rejeitos?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q5: Você costuma separar resíduos orgânicos dos resíduos inorgânicos antes de descartá-los?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q6: Você acredita que é importante separar os resíduos nos diferentes setores da escola?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q7: É possível identificar a existência de coletores adequados para coleta dos resíduos no refeitório?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q8: A escola possui algum projeto ou atividade que vise reutilizar os resíduos produzidos no desenvolvimento de suas atividades?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q9: Os coletores existentes são utilizados corretamente pelos alunos?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q10: Você se considera uma pessoa consumista?

() nenhum () pouco () razoável () muito

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIOS APLICADO AOS GESTORES

Nome: _____

Função: _____

Idade: _____

Sexo: () F () M

Nível de escolaridade: () Graduação () Pós-graduação () Mestrado () Doutorado () Pós-Doutorado

Perguntas:

Q1: Qual seu nível de preocupação em relação aos problemas ambientais?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q2: Você se sente responsável em descartar adequadamente os resíduos sólidos que produz no seu cotidiano?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q3: Você já participou de algum projeto específico voltado para a questão dos resíduos sólidos?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q4: Tem conhecimento do destino dos resíduos produzidos na escola?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q5: Você sabe a diferença entre resíduos sólidos e rejeitos?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q6: Todo o lixo coletado na escola é descartado no mesmo dia?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q7: Você acredita que é importante separar os resíduos nos diferentes setores da escola?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q8: Você já desenvolveu alguma ação educativa ou projeto relacionado à coleta seletiva e reciclagem no ambiente escolar?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q9: A escola possui algum projeto ou atividade que vise reutilizar os resíduos produzidos no desenvolvimento de suas atividades?

() nenhum () pouco () razoável () muito

Q10: Na escola existe orientação sobre a importância da gestão de resíduos sólidos?

☐ nenhum ☐ pouco ☐ razoável ☐ muito

Q11: Esta escola adota práticas sustentáveis?

☐ nenhum ☐ pouco ☐ razoável ☐ muito

Q12: Qual o grau de importância de uma boa gestão dos resíduos sólidos produzidos na escola para o meio ambiente?

☐ nenhum ☐ pouco ☐ razoável ☐ muito

Q13: Você se considera uma pessoa consumista?

☐ nenhum ☐ pouco ☐ razoável ☐ muito