RGe ISSN: 2177-3246

GOVERNANÇA REGULATÓRIA E ROTAS TECNOLÓGICAS SUSTENTÁVEIS PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA

REGULATORY GOVERNANCE AND SUSTAINABLE TECHNOLOGICAL PATHWAYS FOR SOLID WASTE MANAGEMENT IN THE BRAZILIAN LEGAL AMAZON

GOBERNANZA REGULATORIA Y VÍAS TECNOLÓGICAS SOSTENIBLES PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA AMAZONÍA LEGAL BRASILEÑA

10.56238/revgeov17n4-200

Julio Cesar Pinho Mattos
Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia
Instituição: Universidade Federal de Pernambuco
E-mail: eng.juliomattos@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-2529-9315

José Fernando Thomé Jucá
Pós-doutor
Instituição: Universidade Federal de Pernambuco
E-mail: jucah@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-8956-7905

Carlos Roberto Oliveira
Doutor
Instituição: Universidade Estadual Paulista
E-mail: carlos.roberto-oliveira@unesp.br
Orcid: https://orcid.org/0009-0000-5526-1425

Elen Dânia Silva dos Santos
Mestre em Gestão e Regulação dos Serviços Públicos de Saneamento Básico
Instituição: Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA)
E-mail: elendania@gmail.com

RESUMO
Objetivo: Este estudo analisa por que os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei nº 12.305/2010) não foram alcançados na Amazônia Brasileira, mesmo após a criação do novo Marco Regulatório do Saneamento (Lei nº 14.026/2020)1. A pesquisa compara as rotas tecnológicas previstas nos Planos Estaduais com as novas exigências de governança e sustentabilidade financeira para propor um modelo de gestão viável para a região2. Referencial Teórico: A análise se baseia no conceito de dependência de trajetória (path dependency) para explicar por que práticas inadequadas, como os lixões, persistem apesar da legislação3. O estudo utiliza as diretrizes de rotas tecnológicas sustentáveis e de governança regulatória como ferramentas essenciais para implementar tanto a PNRS

quanto o novo marco legal4. Método: A metodologia é qualitativa, focada na análise documental e comparativa dos Planos Estaduais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PEGIRS)5. Foi verificado o alinhamento desses planos com a PNRS e, principalmente, com as novas diretrizes do Marco Regulatório de 20206666. A investigação também usou dados de um questionário aplicado às Entidades Reguladoras da região7. Resultados e Discussão: Os resultados mostram uma profunda desconexão entre o planejamento e a execução. A maioria dos Planos Estaduais (77,8%) foi elaborada antes do Marco Regulatório de 2020, não incorporando suas regras de sustentabilidade financeira8. O problema central é a falha regulatória: a adesão dos municípios a um sistema de cobrança pelo serviço é quase nula, o que inviabiliza economicamente qualquer projeto9999. Como resultado, 88,0% dos municípios que declararam dados ainda utilizam lixões ou aterros controlados, descumprindo a meta principal da PNRS. Originalidade/Valor: A contribuição do estudo é evidenciar que o fracasso em atingir as metas da PNRS na Amazônia não se deve à falta de planos, mas a um vácuo de governança que o novo Marco Regulatório tenta corrigir. A pesquisa demonstra que a lei por si só é insuficiente e aponta a necessidade urgente de fortalecer as agências reguladoras para que possam aplicar as ferramentas do novo marco, garantindo a viabilidade dos serviços e a efetiva implementação de soluções sustentáveis.

Palavras-chave: Governança Regulatória. Resíduos Sólidos Urbanos. Rotas Tecnológicas. Amazônia Brasileira. Economia Circular.

ABSTRACT

Objective: This study examines the underlying reasons why the objectives of the National Solid Waste Policy (PNRS – Law No. 12,305/2010) have not been fulfilled in the Brazilian Amazon, even after the enactment of the New Sanitation Regulatory Framework (Law No. 14,026/2020). The research contrasts the technological pathways established in the State Plans with the emerging requirements of governance and financial sustainability, with the aim of proposing a feasible management model for the region. Theoretical Framework: The analysis is grounded in the concept of path dependency to explain why inadequate practices, such as open dumpsites, persist despite existing legislation. The study employs the guidelines of sustainable technological pathways and regulatory governance as essential tools for the implementation of both the PNRS and the new legal framework. Methodology: This is a qualitative study, focused on documentary and comparative analysis of the State Integrated Solid Waste Management Plans (PEGIRS). The alignment of these plans with the PNRS and, more importantly, with the new guidelines of the 2020 Regulatory Framework was assessed. The investigation also incorporated data from a questionnaire administered to the regional Regulatory Agencies. Results and Discussion: The findings reveal a profound disconnect between planning and implementation. Most State Plans (77.8%) were drafted prior to the 2020 Regulatory Framework and therefore failed to incorporate its financial sustainability requirements. The central issue lies in regulatory shortcomings: municipal adherence to a fee-based service system is virtually nonexistent, rendering projects economically unfeasible. Consequently, 88.0% of the municipalities that reported data continue to rely on open dumps or controlled landfills, thus failing to meet the core objective of the PNRS. Originality/Value: The main contribution of this study lies in demonstrating that the failure to achieve the PNRS targets in the Amazon is not due to the absence of planning instruments, but rather to a governance vacuum that the New Regulatory Framework seeks to address. The research shows that legislation alone is insufficient and underscores the urgent need to strengthen regulatory agencies so they can effectively apply the tools provided by the new framework, thereby ensuring the financial viability of services and the actual implementation of sustainable solutions.

Keywords: Regulatory Governance. Urban Solid Waste. Technological Pathways. Brazilian Amazon. Circular Economy.

ISSN: 2177-3246

RESUMEN
Objetivo: Este estudio analiza por qué los objetivos de la Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS – Ley n.º 12.305/2010) no se alcanzaron en la Amazonía brasileña, incluso después de la creación del nuevo Marco Regulatorio del Saneamiento (Ley n.º 14.026/2020). La investigación compara las rutas tecnológicas previstas en los Planes Estatales con las nuevas exigencias de gobernanza y sostenibilidad financiera, con el fin de proponer un modelo de gestión viable para la región. Marco Teórico: El análisis se fundamenta en el concepto de dependencia de trayectoria (path dependency) para explicar por qué persisten prácticas inadecuadas, como los vertederos a cielo abierto, a pesar de la legislación. El estudio utiliza las directrices de rutas tecnológicas sostenibles y de gobernanza regulatoria como herramientas esenciales para la implementación tanto de la PNRS como del nuevo marco legal. Método: La metodología es de carácter cualitativo, centrada en el análisis documental y comparativo de los Planes Estatales de Gestión Integrada de Residuos Sólidos (PEGIRS). Se verificó la alineación de dichos planes con la PNRS y, especialmente, con las nuevas directrices del Marco Regulatorio de 2020. La investigación también incorporó datos provenientes de un cuestionario aplicado a las Entidades Reguladoras de la región. Resultados y Discusión: Los resultados muestran una profunda desconexión entre la planificación y la ejecución. La mayoría de los Planes Estatales (77,8%) fueron elaborados antes del Marco Regulatorio de 2020, por lo que no incorporaron sus disposiciones de sostenibilidad financiera. El problema central radica en la falla regulatoria: la adhesión de los municipios a un sistema de cobro por el servicio es prácticamente nula, lo que hace económicamente inviables los proyectos. Como consecuencia, el 88,0% de los municipios que declararon datos aún utilizan vertederos a cielo abierto o rellenos controlados, incumpliendo así el objetivo principal de la PNRS. Originalidad/Valor: La principal contribución de este estudio es evidenciar que el fracaso en alcanzar las metas de la PNRS en la Amazonía no se debe a la falta de planes, sino a un vacío de gobernanza que el nuevo Marco Regulatorio intenta subsanar. La investigación demuestra que la ley, por sí sola, resulta insuficiente y señala la necesidad urgente de fortalecer las agencias reguladoras, de modo que puedan aplicar las herramientas del nuevo marco y garantizar la viabilidad de los servicios, así como la implementación efectiva de soluciones sostenibles.

Palabras clave: Gobernanza Regulatoria. Residuos Sólidos Urbanos. Rutas Tecnológicas. Amazonía Brasileña. Economía Circular.

1 INTRODUÇÃO

A gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) na Amazônia Brasileira representa um dos mais complexos desafios para o desenvolvimento sustentável no país. A região, que abriga 450 municípios e 8,5% da população nacional, é marcada por singularidades geográficas, como a vasta extensão territorial e a densa rede fluvial, que impõem barreiras logísticas significativas. Somam-se a este cenário os baixos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) e uma urbanização crescente, que intensificam a pressão sobre os serviços públicos. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2023 indicam a geração de 6,1 milhões de toneladas anuais de RSU, com uma cobertura de coleta de 81,0%, evidenciando um volume expressivo de resíduos que necessita de destinação ambientalmente adequada, serviço que ainda não alcança a totalidade da população.

Apesar dos avanços institucionais consolidados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei nº 12.305/2010) e pelo novo Marco Regulatório do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020), a região amazônica enfrenta um profundo hiato entre o planejamento e a implementação. A persistência de lixões e aterros controlados, que juntos correspondem a 73,3% das áreas de disposição final, e os incipientes índices de coleta seletiva, presentes em apenas 4,9% dos municípios, revelam a fragilidade da governança do setor. Este quadro não apenas perpetua graves passivos ambientais e sanitários, mas também representa uma barreira para a adoção de rotas tecnológicas mais sustentáveis, como a compostagem, a reciclagem e o aproveitamento energético, que poderiam promover a economia circular e mitigar a emissão de gases de efeito estufa (GEE). A questão central que emerge deste contexto é: Como a governança regulatória e as rotas tecnológicas propostas nos Planos Estaduais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PEGIRS) podem ser efetivamente articuladas para superar os desafios estruturais e promover uma gestão de RSU sustentável e adaptada às realidades da Amazônia Brasileira?

A urgência em superar esses desafios confere relevância a esta pesquisa. Torna-se imperativo analisar, de forma integrada, a aderência dos planejamentos estaduais ao novo arcabouço regulatório federal e sua capacidade de induzir a modernização tecnológica em nível municipal. A análise comparativa dos PEGIRS da Amazônia Legal, sob a ótica da regulação e das tecnologias, permite identificar os gargalos de governança que impedem o avanço do setor, especialmente no que tange à adesão dos municípios às normas de referência e à sustentabilidade econômico-financeira dos serviços. Compreender essa dinâmica é fundamental para subsidiar políticas públicas e fortalecer o papel das agências reguladoras como agentes de transformação, garantindo que as soluções propostas sejam não apenas tecnicamente viáveis, mas também socialmente justas e ambientalmente seguras para o bioma.

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo geral analisar as rotas tecnológicas para o tratamento de RSU contidas nos Planos Estaduais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Amazônia Legal, à luz da governança regulatória estabelecida pelo novo marco do saneamento, a fim de propor diretrizes para um modelo de gestão eficiente e adequado à região. Para alcançar este propósito, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

i) Diagnosticar a atuação das entidades reguladoras infranacionais na Amazônia após a publicação das normas de referência sobre resíduos sólidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA);

ii) Identificar e comparar as rotas tecnológicas de tratamento de resíduos previstas nos PEGIRS dos nove estados da Amazônia Legal e no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares);

iii) Propor um conjunto de diretrizes para a seleção de rotas tecnológicas que considerem a diversidade dos ecossistemas urbanos e as particularidades socioeconômicas e logísticas da Amazônia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A DINÂMICA ESTRUTURAL DOS DESAFIOS NA GESTÃO DE RESÍDUOS

A gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) constitui um problema complexo e multifacetado (wicked problem), situado na interseção de forças macroestruturais como urbanização acelerada, industrialização e dinâmicas demográficas. Projeções que indicam a geração global de 3,4 bilhões de toneladas de RSU até 2050 (Zhang et al., 2024), uma trajetória corroborada por análises de séries históricas (Maaloupoulos, 2022; Valenzuela e Levi, 2019; Hoornweg et al., 2012), sinalizam uma pressão crescente sobre os sistemas socioecológicos. Esta expansão é inextricavelmente ligada à urbanização, fenômeno cuja concentração na Amazônia brasileira (76%, Ibge, 2022) já ultrapassa a projeção global para 2050 (Kurniawan et al., 2022). A associação intrínseca da geração de RSU com padrões de consumo (Mor e Ravindra, 2023) complexifica a formulação de políticas de minimização, exigindo a concepção de sistemas de gestão que transcendam a mera funcionalidade técnica para alcançar a sustentabilidade sistêmica.

No contexto brasileiro, dados oficiais revelam uma falha estrutural crônica. Em 2023, apenas 5,9% das 78,2 milhões de toneladas de RSU coletadas foram desviadas por sistemas de coleta seletiva, que operam de forma fragmentada e sem cobertura universal (SNIS, 2024). O indicador mais crítico, a disposição final, demonstra a magnitude do déficit: 22,4% da massa coletada foi destinada a lixões e aterros controlados. Na Região Norte, este índice atinge 73,3%, evidenciando uma lacuna de implementação que perpetua a acumulação de passivos ambientais e sanitários (SNIS, 2024).

A persistência deste cenário ilustra uma profunda disjunção entre a política de jure e a implementação de facto da PNRS (Brasil, 2010) e do Novo Marco do Saneamento (Lei nº 14.026/2020). A procrastinação recorrente dos prazos para a erradicação dos lixões configura um claro caso de dependência de trajetória (path dependency). Conforme a teoria institucional de North (1990), decisões subótimas do passado criam custos de transição crescentes, gerando um aprisionamento institucional (institutional lock-in) que inibe a adoção de rotas tecnológicas e de governança superiores. Este aprisionamento é reforçado por barreiras técnicas, econômicas e, fundamentalmente, institucionais.

No bioma amazônico, estes desafios são exacerbados por um déficit de viabilidade econômica e financeira que compromete a bancabilidade de projetos de infraestrutura. Apenas 21,3% dos municípios instituíram mecanismos de recuperação de custos, os quais apresentam uma taxa de inadimplência de 49,9% (SNIS, 2024). Esta fragilidade fiscal e institucional é reconhecida na literatura como o principal obstáculo à sustentabilidade do setor em economias em desenvolvimento, frequentemente superando as barreiras puramente tecnológicas (Wilson et al., 2012; Xiao et al., 2020; Freitas et al., 2024; Iyamu et al., 2020).

2.2 ROTAS TECNOLÓGICAS E A TRANSIÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE

O conceito de "rotas tecnológicas sustentáveis" (Jucá et al., 2014) oferece um arcabouço para catalisar uma transição social e técnica no setor de resíduos. Esta transição implica uma mudança de paradigma, de um modelo linear de extração, consumo e descarte para uma economia circular, que visa, por princípio, dissociar o crescimento econômico do consumo de recursos finitos (Ellen Macarthur Foundation, 2013). Uma rota tecnológica, neste contexto, é a sequência integrada de processos e fluxos de materiais e energia, projetada para maximizar a valorização de recursos e internalizar externalidades, em estrita aderência à hierarquia de gestão da PNRS (Brasil, 2010, Art. 9º).

O desenho de tais rotas exige rigor metodológico (Reichert, 2021), partindo da caracterização gravimétrica detalhada dos RSU (Farias, 2018) para informar a seleção de tecnologias. No contexto amazônico, a dispersão demográfica e as restrições logísticas demandam soluções modulares e descentralizadas para evitar o risco de mimetismo isomórfico: a importação acrítica de soluções de grande escala que são disfuncionais no contexto local. Um ajuste eficaz entre tecnologia e contexto (technology-context fit) é, portanto, crucial e deve integrar saberes tradicionais e sistemas de coleta adaptados (Mattos et al., 2022). A inclusão de cooperativas de catadores não é apenas uma medida de justiça social, mas uma estratégia para otimizar a eficiência da triagem e a viabilidade econômica das rotas de valorização, configurando um modelo de governança híbrida que articula as economias formal e informal (Pimentel et al., 2020).

2.3 GOVERNANÇA REGULATÓRIA ADAPTATIVA COMO CONDIÇÃO NECESSÁRIA

A arquitetura institucional da governança é o fator determinante da eficácia das políticas. A assimetria regulatória no Brasil, onde apenas 7,6% dos municípios possuem regulação para RSU (ANA, 2025), cria um vácuo que eleva os custos de transação e a incerteza, afugentando investimentos. O Novo Marco Legal (Lei nº 14.026/2020) busca reconfigurar esta arquitetura, induzindo a formação de consórcios intermunicipais. Este modelo de governança policêntrica, conforme teorizado por Ostrom (2010), propõe que sistemas com múltiplos centros de decisão semiautônomos são mais resilientes e adaptativos para a gestão de recursos comuns do que arranjos puramente centralizados ou fragmentados.

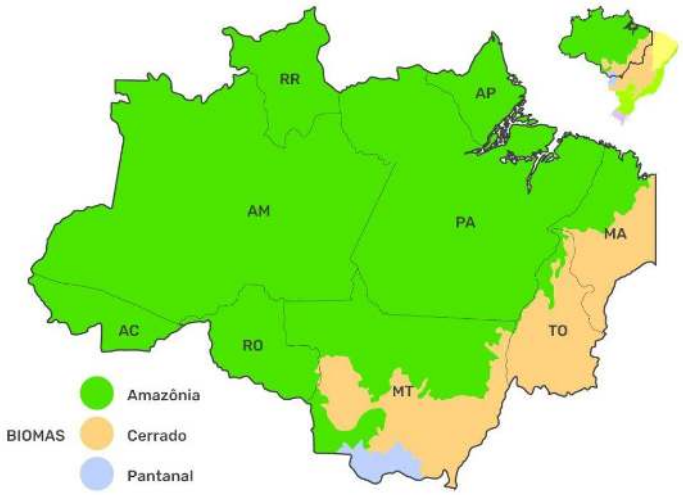
O sucesso de tais arranjos depende de uma governança regulatória adaptativa, capaz de aprender e evoluir em face das incertezas inerentes a sistemas complexos como o amazônico. O papel do regulador transcende a fiscalização, sendo central para mitigar assimetrias de informação e prevenir a captura regulatória por interesses privados, especialmente em modelos de concessão e PPPs. A sinergia entre políticas, tecnologias e finanças deve ser articulada através de um mix de políticas coerente (coherent policy mix), que alinhe incentivos e reduza riscos contratuais (Oliveira, 2021; Brasil, 2024). A regulação por contrato, ao definir métricas de desempenho e alocar riscos de forma eficiente, funciona como o mecanismo que viabiliza a bancabilidade das rotas tecnológicas e catalisa a transição para uma economia circular.

A reconfiguração institucional promovida pelo novo marco legal representa uma janela de oportunidade para romper com a dependência de trajetória (path dependency) que historicamente aprisiona o setor. Contudo, a simples indução de arranjos intermunicipais é insuficiente sem a instauração de uma **regulação por desempenho** (performance-based regulation), que alinhe os incentivos dos operadores privados ou públicos às metas de universalização e sustentabilidade. Essa abordagem, centrada em resultados, transforma o papel do regulador de um mero fiscalizador de contratos para um agente indutor de eficiência e inovação. A importância dessa mudança de paradigma é corroborada pela literatura especializada, como apontam Marques et al., (2013), ao afirmarem que, diante dos "grandes desenvolvimentos" recentes no setor, "os indicadores de desempenho revelam-se um instrumento de avaliação de desempenho importante". Para o contexto amazônico, onde a viabilidade econômico-financeira é o principal gargalo, a adoção de métricas claras de desempenho (como taxas de desvio de aterro, cobertura de coleta seletiva e recuperação de custos) não é apenas uma boa prática, mas a condição necessária para mitigar riscos, atrair investimentos e garantir que as rotas tecnológicas selecionadas sejam, de fato, implementadas.

3 METODOLOGIA

O bioma amazônico foi a área de estudo delimitada (Figura 1.)

Figura 1 - Ilustração da área de estudo



Fonte: Adaptado de Mattos et al., 2022. OPEN SCIENCE RESEARCH I. v. 1, p. 2652-2661, 2022.

A presente pesquisa delineia-se como um estudo de natureza qualitativa, com abordagem exploratório-descritiva, fundamentado em um design de métodos múltiplos. O percurso metodológico foi estruturado para garantir a triangulação entre referenciais teóricos, documentos de planejamento e o arcabouço normativo, assegurando a robustez e a confiabilidade dos achados.

3.1 PROCEDIMENTOS DE COLETA E SELEÇÃO DE DADOS

Os procedimentos foram organizados em duas frentes complementares:

- **Pesquisa Bibliográfica**: Realizou-se uma revisão sistemática da literatura científica e técnica sobre rotas tecnológicas para tratamento de resíduos (valorização orgânica, reciclagem e recuperação energética), governança e regulação de serviços públicos de saneamento.
- **Pesquisa Documental**: Constituiu-se um corpus documental a partir de fontes oficiais de âmbito nacional e infranacional. A seleção priorizou documentos publicados após a promulgação da Lei nº 14.026/2020, para refletir o cenário regulatório vigente. As fontes incluem:
  - i) **Planejamento Estratégico**: Planos Estaduais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PEGIRS) dos nove estados da Amazônia Legal e o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares).
  - ii) **Dados Operacionais**: Bases de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

iii) **Normativas e Diretrizes**: Regulamentos de agências reguladoras infranacionais atuantes na Amazônia e a Nota Técnica Conjunta nº 001/2024/CC/PR/MCID/MMA, sobre a estruturação de projetos de concessão e parcerias público-privadas (PPPs).

3.2 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE DADOS

A análise dos dados foi conduzida por meio de duas técnicas principais, aplicadas de forma integrada:

1. **Análise Comparativa de Conteúdo e Matriz SWOT**: Os Planos Estaduais (PEGIRS) foram submetidos a uma análise comparativa para identificar as rotas tecnológicas propostas, as metas de regionalização e o alinhamento com o Planares.

   Para sistematizar este diagnóstico, foi utilizada uma **Matriz SWOT adaptada**, que permitiu avaliar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças contidas nesses Pegirs no contexto das rotas tecnológicas, da governança regulatória e marco regulatório setorial (Figura 2.)

Figura 2 - Análise de Swot

Forças	Fraquezas
Aspectos dos planos alinhados às melhores práticas e à Politica Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)	Lacunas de planejamento, como auséncia de mecanismos de sustentabilidade financeira ou de modelos de governança claros
Oportunidades	**Ameaças**
Potencial de sinergia com o novo marco regulatório (Lei nº 14.026/2020), como a indução de consórcios e a atração de investimentos	Obstáculos institucionais, logísticos e econômicos que comprometem a implementação das rotas tecnológicas na região amazónica

Fonte: Autores.

3.3 ETAPAS DA PESQUISA

A operacionalização do estudo ocorreu em três etapas sequenciais, alinhadas aos objetivos específicos:

Etapa I – Diagnóstico das Rotas Tecnológicas e Planejamento: Consistiu na análise documental comparativa entre os PEGIRS amazônicos e o Planares. Esta etapa mapeou as tecnologias previstas, as metas de desvio de aterro e as estratégias de regionalização, identificando convergências e dissonâncias com a política nacional.

Etapa II – Análise da Governança e do Ambiente Institucional: Nesta fase, aplicou-se a Matriz SWOT para avaliar criticamente os PEGIRS. Concomitantemente, analisou-se a atuação das

entidades reguladoras à luz do novo marco legal e das contribuições de Lange, diagnosticando o nível de maturidade da governança do setor na região.

Etapa III – Síntese e Proposição de Diretrizes: Os resultados das etapas anteriores foram sintetizados para formular um conjunto de diretrizes para a seleção e implementação de rotas tecnológicas sustentáveis. Esta proposição foi fundamentada nos critérios técnicos, econômicos e socioambientais consolidados por Jucá et al. (2014) e nas recomendações de Pimentel et al. (2020) sobre a integração de catadores e a adequação das soluções à escala municipal e regional.

Além da revisão bibliográfica e da pesquisa documental, a investigação incorporou uma etapa de coleta primária de dados por meio da aplicação de um survey estruturado via Google Forms, direcionado às Entidades Reguladoras Infranacionais (ERIs) atuantes na região Norte da Amazônia Legal. O instrumento foi encaminhado às entidades reguladoras cadastradas ou em processo de cadastro junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), em conformidade com a Resolução ANA nº 134/2022.

O questionário, composto por 18 itens fechados e semifechados, foi organizado em blocos temáticos que abrangeram:

i) **caracterização institucional** (abrangência estadual, municipal ou intermunicipal e setorialidade de atuação);

ii) **escopo regulatório** (limpeza urbana, coleta, transbordo, triagem, tratamento e disposição final de resíduos);

iii) **estrutura administrativa e técnica** (existência de setor específico para resíduos sólidos, quadro de pessoal e áreas de formação);

iv) **mecanismos de financiamento da regulação** (instituição de taxa ou preço público e efetiva transferência dos valores pelos municípios regulados);

v) **produção normativa e aderência às normas de referência da ANA** (edição de normativos, critérios tarifários, indicadores de desempenho e qualificadores);

vi) **fiscalização e acompanhamento de contratos e planos** (concessões, PPPs e Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS).

O instrumento de coleta foi previamente validado quanto à clareza e pertinência, assegurando aderência ao contexto regulatório brasileiro e à terminologia da Lei nº 14.026/2020. As respostas obtidas foram tabuladas e analisadas de forma descritiva, possibilitando identificar níveis de maturidade regulatória, gargalos institucionais e avanços normativos das ERIs amazônicas.

Esse levantamento estruturado fortaleceu a triangulação metodológica, uma vez que os dados primários, produzidos diretamente junto aos reguladores, complementaram a análise documental dos Planos Estaduais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PEGIRS) e as bases secundárias (SNIS,

ANA). Desse modo, o estudo proporcionou uma visão integrada entre o planejamento formal, a regulação normativa e a prática regulatória efetiva em nível subnacional.

Para a formulação das propostas de rotas tecnológicas para o bioma amazônico, foram observados os três princípios utilizados por Jucá et al. (2014) na configuração de rotas para as cinco regiões do país. Os princípios são:

- As rotas definidas devem estar alinhadas à Política Nacional dos Resíduos Sólidos;
- O horizonte a ser considerado na proposta deve incluir curto e médio prazos;
- Devem ser considerados critérios técnicos, econômicos, ambientais, sociais e culturais associados às tecnologias e à região específica.

Adicionalmente, consideraram-se as observações de Pimentel et al. (2020), que defendem que, independentemente do porte populacional do município, as seguintes atividades devem ser contempladas, sem excluir a análise de tecnologias mais complexas:

- Coleta seletiva de resíduos recicláveis (secos);
- Coleta seletiva de resíduos orgânicos (úmidos);
- Coleta de rejeitos;
- Unidades de triagem;
- Unidades de compostagem;
- Aterro sanitário.

Outro princípio consensual entre os autores é a necessidade de consolidar metodologias para a caracterização da composição gravimétrica dos resíduos, considerando as diversidades regionais do bioma e os fatores sazonais (clima, populações flutuantes) e operacionais no verão e inverno amazônico. De acordo com Vieira et al. (2023), a composição gravimétrica dos resíduos, aliada a um estudo de mercado de materiais e energia, permitem definir as regiões das cidades com potencial para valorização dos resíduos e definindo rotas tecnológicas mais sustentáveis. Alinha-se a isso a proposta de Pimentel et al. (2020) sobre a importância da conexão entre as tecnologias e o aproveitamento de cooperativas e/ou associações de catadores. Segundo os autores, esses ajustes são fundamentais, pois proporcionam a geração de renda em uma região de baixo IDH e viabilizam a reciclagem orgânica e o aproveitamento energético nos aterros sanitários consorciados e da biomassa disponível na região.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma análise dos Planos Estaduais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PEGIRS) e das Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos (PERS) na Amazônia Legal mostra que os instrumentos de planejamento da região estão significativamente defasados em relação à legislação federal.

Verificou-se que o arcabouço legal é incompleto, pois 22,2% dos estados ainda não possuem uma PERS formalizada. Adicionalmente, dentre as políticas já existentes, outras 22,22% foram criadas antes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) de 2010, o que as torna desatualizadas.

Essa defasagem também se reflete nos planos de gestão: 77,8% dos PEGIRS analisados foram elaborados antes do novo marco legal do saneamento (Lei Federal nº 14.026/2020). Como consequência, muitas dessas políticas e planos não estabelecem diretrizes e metas alinhadas à PNRS, o que afeta diretamente a escolha de rotas tecnológicas sustentáveis. Exemplos notáveis dessa falta de alinhamento são a ausência da previsão de inclusão social dos catadores de materiais recicláveis no plano do estado do Acre e a pouca importância dada à atividade regulatória como pilar da gestão integrada de resíduos.

Por meio do levantamento no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), apresentou-se a tipologia e o número das unidades de processamento de resíduos sólidos declaradas no bioma amazônico na Região Norte do país (Tabela 1).

Tabela 1 - Unidades de processamento de resíduos sólidos da região norte do país declaradas ao SINISA

Unidade de processamento de resíduos sólidos (tipologias)	Quantidade	% municípios declarantes na região norte do Brasil
Aterro Sanitário	20	5,1
Aterro de inertes	29	7,4
Unidade de compostagem	4	1,0
Unidade de transbordo	11	2,8
Unidade de manejo de resíduos de áreas verdes (galhadas e podas)	9	2,3
Unidade de triagem (galpão ou usina)	50	12,8
Unidade de Compostagem	4	1,0
Áreas de disposição final inadequada	343	88,0
Área de Transbordo e Triagem de resíduos da construção civil e volumosos (ATT)	2	0,5
Unidade de coprocessamento	0	0

Fonte: SINISA, ano de referência 2023.

As unidades destinadas à compostagem comumente integrantes de propostas de rotas tecnológicas para municípios de pequeno porte, segundo pesquisas do projeto ProteGEEr e estudos de Jucá et al. (2013; 2020), Reichert (2019) e IPEA (2019), foram declaradas em apenas 1,0% dos municípios informantes no ano de referência de 2023. Essa tecnologia pode representar nas próximas décadas uma oportunidade para os municípios amazônicos isolados, independentemente do porte.

As áreas de disposição final inadequada (lixões e aterros controlados) estão presentes em 88,0% dos municípios declarantes.

As unidades de triagem foram encontradas em 12,8% dos municípios declarantes, muito embora apenas 5,6% desses municípios tenham declarado realizar coleta seletiva. Já as unidades de transbordo foram declaradas por 2,8% dos municípios.

4.1 PLANOS ESTADUAIS DE GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E AS ROTAS TECNOLÓGICAS DOS RSU'S

Foram encontrados Planos Estaduais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PEGIRS) em 77,8% dos estados que compõem a Amazônia Legal. Contudo, apesar de uma convergência em torno do modelo de consórcios, a concepção das rotas tecnológicas não é homogênea. A implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), atualizada pelo Marco Legal do Saneamento de 2020, estabelece diretrizes e metas para todo o território brasileiro. No entanto, a tradução dessas metas em estratégias operacionais é uma competência subnacional, que deve considerar as particularidades de cada estado. Na Amazônia Legal, região marcada por grandes distâncias, diversidade socioambiental e desafios logísticos singulares, a concepção de rotas tecnológicas viáveis é um fator crítico para o avanço do setor.

A Tabela 3 apresenta uma síntese comparativa dessas rotas, evidenciando a heterogeneidade das soluções propostas. A análise dos dados revela uma forte tendência para modelos baseados na regionalização e na gestão consorciada como resposta aos desafios geográficos. Observa-se, também, uma variação significativa no nível de detalhamento e no foco estratégico, que oscila entre a proposição de infraestruturas físicas detalhadas (Acre e Mato Grosso) e a priorização de diretrizes políticas e de gestão (Amazonas e Maranhão). O levantamento expõe um panorama completo das múltiplas realidades da gestão de resíduos na região, revelando desde lacunas no planejamento formal (Amapá e Roraima) até casos de implementação bem-sucedida (Rondônia), onde o estado se aproxima da erradicação dos lixões.

O Estado do Amapá emerge como o caso mais crítico, pois se destaca pela ausência de um Plano Estadual de Resíduos Sólidos formalizado e, ao mesmo tempo, encontra-se em fase de modelagem de uma Parceria Público-Privada (PPP) para o setor, com apoio do Governo Federal. Essa lacuna no planejamento representa um grande obstáculo para a adequação do estado ao Marco Regulatório Nacional, impedindo a definição de rotas tecnológicas sustentáveis.

Apresenta-se, a seguir, uma síntese das rotas tecnológicas propostas nos PEGIRS (Tabela 2).

Tabela 2 Síntese das rotas tecnológicas apresentadas nos PEGIRS analisados

Estado	Rotas Tecnológicas referidas nos PEGIRS Amazônicos
Acre	Modelo de fluxo físico regionalizado em duas regiões de resíduos com polos de estocagem, centrais intermediárias e municipais para concentrar resíduos e viabilizar a reciclagem.
Amazonas	Foco em diretrizes políticas e fomento a consórcios, sem detalhamento de rota tecnológica ou infraestrutura específica.
Amapá	Não encontrado
Maranhão	Modelo programático com ênfase na gestão via Sistema de Informação (SEGIR) e incentivo à coleta seletiva e compostagem.
Mato Grosso	Implantação de Polos de Tratamento de Resíduos (aterro, triagem, compostagem) para atender aos consórcios regionais definidos.
Pará	Criação de aterros sanitários para atender a consórcios de municípios, com base na estrutura das regiões de integração do estado.
Rondônia	Estímulo à cadeia de reciclagem e tratamento prévio dos resíduos como etapa fundamental para minimizar a disposição final apenas de rejeitos.
Roraima	Incentivo a reciclagem e disposição final adequada de resíduos sólidos
Tocantins	Implantação de aterros sanitários regionalizados e/ou consorciados para atender às regiões propostas no plano.

Fonte: Autores.

A Tabela 3, a seguir, apresenta uma síntese dos resultados desta análise, analisando comparativamente cada plano estadual a partir de seu diagnóstico, da rota tecnológica proposta e de seu alinhamento com o marco regulatório vigente. A consolidação dos dados permitiu observar padrões e particularidades:

(i) um diagnóstico de partida comum, marcado pela predominância de lixões como principal desafio;

(ii) a convergência estratégica para a regionalização e a gestão consorciada como solução para ganhos de escala; e

(iii) uma clara divisão temporal, na qual a data de elaboração do plano se mostra um fator determinante para o seu nível de alinhamento com as novas exigências de governança e sustentabilidade financeira propostas na atualização do marco regulatório do saneamento básico (Lei nº 14.026/2020).

A tabela também evidencia a existência de modelos singulares e de lacunas críticas no planejamento regional, elementos que serão aprofundados na discussão subsequente.

Tabela 3 - Síntese de rotas tecnológicas e adequação ao novo marco regulatório (2020) de acordo com os PEGIRS analisados

Estado (Ano do Plano)	Diagnóstico Principal	Estratégia/Rota Tecnológica	Alinhamento com Marco Regulatório (Pós-2020)
Acre (2012)	99% dos municípios com disposição inadequada de resíduos.	Modelo de fluxo físico regionalizado com polos de estocagem, centrais intermediárias e municipais.	Parcial. Estrutura de consórcios alinhada, mas o plano é anterior ao marco e necessita de atualização nos prazos e na adequação à regulação da ANA.
Amapá (N/A)	Ausência de plano estadual formalizado e persistência de "lixões viciados" na capital.	Rota Reativa: Gestão baseada na operação do aterro sanitário da capital, sem um plano integrado formalizado.	Baixo. O estado e a capital encontram-se em desacordo com as exigências de planejamento do marco nacional.
Amazonas (2017)	93% dos municípios ainda utilizavam lixões.	Foco em diretrizes políticas e fomento a consórcios, sem detalhamento de rota tecnológica ou de infraestrutura específica.	Baixo. O plano é genérico, anterior ao marco, e a realidade do estado mostra baixa aderência prática às diretrizes nacionais.
Maranhão (2012)	Capital atualmente com Aterro Sanitário com vida útil adequada. Permanecendo a disposição inadequada na maioria dos municípios e ausência de dados consolidados.	Modelo programático com ênfase na gestão via Sistema de Informação (SEGIR) e incentivo à coleta seletiva.	Parcial. Plano anterior ao marco, mas com elementos de convergência como a discussão sobre ICMS Verde. Necessita de completa atualização.
Mato Grosso (2020)	133 lixões em operação no momento do plano.	Implantação de Polos Regionais de Tratamento (aterro, triagem, compostagem) para atender a 16 consórcios.	Alto. Elaborado em 2020, já incorpora a necessidade de sustentabilidade financeira (taxas/ tarifas) e a nova estrutura de governança.
Pará (2016)	128 lixões em operação no momento do plano.	Criação de aterros sanitários consorciados por Regiões de Integração, apoiados por estações de transbordo.	Parcial. Estratégia alinhada ao marco (regionalização e ICMS Verde), mas o plano precisa ser atualizado.
Rondônia (2020)	Próximo da universalização da disposição adequada, com poucos municípios ainda utilizando lixões.	Rota implementada de aterros regionais via consórcios, com foco na universalização da disposição adequada.	Alto. O estado é um caso de sucesso na implementação da PNRS, com práticas alinhadas às exigências do novo marco.
Roraima (N/A)	Não consta	Plano classificado como "Elaborado" no Planares, mas sem acesso público para análise de sua rota tecnológica.	Baixo. Legislação que define o planejamento necessita de atualizações no contexto da PNRS e Marco regulatório do Saneamento Básico.
Tocantins (2017)	139 lixões em operação no momento da elaboração do plano.	Implantação de aterros sanitários regionalizados e/ou consorciados para atender às 10 regiões do estado.	Alto. A lei estadual, mesmo sendo de 2019, já define uma estrutura de regulação robusta e compatível com as diretrizes do marco.

Fonte: Autores.

As análises consolidadas na Tabela 2 e na Tabela 3 permitem uma discussão aprofundada sobre como as rotas tecnológicas propostas nos planos estaduais amazônicos se alinham, se adaptam ou se distanciam do modelo estratégico apresentado no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares). O Planares não prescreve uma rota única, mas estabelece um leque de opções tecnológicas hierarquizadas, que incluem a reciclagem, o tratamento biológico (compostagem e digestão anaeróbia) e a recuperação energética (via biogás, coprocessamento ou incineração), tendo como último recurso a disposição de rejeitos em aterros sanitários.

A comparação revela que os planos estaduais, em sua maioria, adotam os elementos mais fundamentais da rota nacional, embora sejam mais conservadores em relação às tecnologias de tratamento avançado. A principal convergência entre os planos estaduais e o Planares reside na estratégia para a disposição final: a substituição de lixões por aterros sanitários regionalizados e/ou consorciados. Esta é a rota tecnológica proposta em quase todos os estados com planejamento formal (Acre, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Tocantins). Essa abordagem reflete a internalização da diretriz nacional que prega o ganho de escala e a cooperação intermunicipal como solução para a inviabilidade econômica de projetos isolados, um desafio particularmente agudo no contexto amazônico.

Contudo, observa-se uma adaptação seletiva das rotas de tratamento e valorização de resíduos. Enquanto o Planares apresenta um cardápio amplo, os planos estaduais tendem a priorizar tecnologias de menor complexidade e investimento inicial. A compostagem é frequentemente citada como a rota preferencial para a fração orgânica, e a reciclagem, via coleta seletiva e inclusão de catadores, é uma diretriz universal. Em contraste, tecnologias como a incineração ou o coprocessamento em larga escala, mencionadas no Planares, estão majoritariamente ausentes nas propostas estaduais, o que indica uma priorização da infraestrutura básica (aterros e galpões de triagem) antes de se avançar para soluções de maior custo e complexidade operacional.

O plano do Maranhão se destaca por propor uma rota tecnológica que transcende o fluxo físico, focando na gestão por meio de um sistema de informação (SEGIR). Essa abordagem, embora não detalhe a infraestrutura física com a mesma profundidade de outros estados, alinha-se ao Planares ao enfatizar a importância do monitoramento e tratamento da informação (TI) como ferramentas para a eficiência da gestão de resíduos. Por outro lado, a ausência de uma rota tecnológica clara no plano do Amazonas e a inexistência de um plano no Amapá demonstram uma lacuna crítica e um profundo distanciamento do arcabouço tecnológico nacional, mantendo esses estados em uma rota linear e inadequada de descarte em lixões.

Observa-se uma variação no foco estratégico dos planos, que oscila entre a proposição de infraestruturas físicas detalhadas, como no Acre e Mato Grosso, e a priorização de diretrizes políticas e de gestão, como no Amazonas e Maranhão. De modo geral, as rotas propostas tendem a priorizar tecnologias de menor complexidade e investimento inicial, como a compostagem para a fração

orgânica e a universalização da disposição de rejeitos em aterros sanitários. Tecnologias de tratamento mais avançadas, como a recuperação energética em larga escala, embora previstas no Planares, ainda não figuram como prioridade na maioria dos planos estaduais, o que sugere um processo de implementação gradual, focado primeiramente na infraestrutura essencial.

Em suma, a comparação entre os planos estaduais e o Planares demonstra que, embora haja uma adesão conceitual à hierarquia e aos objetivos nacionais, a implementação prática das rotas tecnológicas na Amazônia é um processo gradual. Os estados priorizam a erradicação dos lixões por meio de aterros regionais, postergando as tecnologias de tratamento e valorização mais complexas, o que evidencia os desafios de investimento e capacidade técnica na região.

4.2 OS PEGIRS, A ATIVIDADE REGULATÓRIA E OS DESAFIOS DE IMPLANTAÇÃO DAS ROTAS TECNOLÓGICAS SUSTENTÁVEIS NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA

A atividade regulatória não apenas atrai investimentos, como também orienta a sua alocação de maneira eficiente, transparente e alinhada ao interesse público. No contexto amazônico, em que a dispersão territorial, a baixa densidade demográfica e as severas restrições fiscais elevam a incerteza e os custos de transação, a regulação torna-se o principal mecanismo para reduzir riscos, viabilizar projetos e converter diretrizes abstratas em obrigações concretas. É por meio de um arranjo regulatório funcional – aplicado tanto à prestação direta quanto à prestação delegada – que o poder público consegue transformar os comandos da PNRS, do Planares e dos PEGIRS em metas mensuráveis, indicadores de desempenho e mecanismos efetivos de monitoramento e correção.

Essa perspectiva é particularmente relevante na Amazônia Legal, onde os dados evidenciam uma contradição estrutural: planos estaduais que, em grande medida, incorporam o discurso da regionalização, dos consórcios e das rotas tecnológicas sustentáveis, mas convivem com uma adesão municipal quase nula à atividade regulatória e à cobrança pelos serviços (apenas 21,3% dos municípios instituíram mecanismos de recuperação de custos e a adesão às normas de referência da ANA é irrisória). Nesse cenário, mais do que definir “qual tecnologia” ou “qual modelo contratual” adotar, o elemento decisivo é a existência de uma governança regulatória capaz de hierarquizar prioridades, organizar incentivos e assegurar a sustentabilidade econômico-financeira mínima para qualquer rota tecnológica – seja em prestação direta, seja em concessão ou PPP.

Importa, portanto, afastar a ideia de que a concessão é, por si só, “a” solução. O novo marco do saneamento e as normas de referência da ANA não prescrevem a delegação como única via, mas condicionam qualquer forma de prestação – direta ou delegada – a princípios comuns: universalização gradual, integralidade, sustentabilidade econômico-financeira, transparência e controle social. No caso da prestação direta, quando o titular dos serviços dispõe de planejamento consistente, separação clara entre as funções de formulação de política, regulação e operação, mecanismos internos de avaliação

de desempenho e instrumentos de cobrança minimamente estáveis, a própria estrutura pública pode ser induzida a abandonar a lógica restrita de "coletar e aterrar" e a incorporar gradualmente rotas de valorização, como compostagem, triagem com inclusão de catadores e aproveitamento energético do biogás. Em contextos amazônicos de baixa atratividade para operadores privados – municípios isolados, pequenos mercados e riscos logísticos elevados –, essa combinação de prestação direta com regulação por desempenho e consórcios intermunicipais pode ser, inclusive, a estratégia mais factível nos curto e médio prazos.

Por outro lado, quando o titular opta pela prestação delegada, a regulação e a modelagem contratual assumem papel central para materializar as diretrizes dos PEGIRS e do Planares. Um contrato de concessão plena ou administrativa (PPP), bem estruturado e regulado, pode estabelecer, entre outros instrumentos:

- **Metas de desvio de aterro**: exigência de que o operador reduza progressivamente a fração de resíduos destinados a aterros sanitários, incentivando a implantação de unidades de triagem, pátios de compostagem, digestores anaeróbios e outras tecnologias de valorização. No contexto amazônico, tais metas podem ser calibradas para acomodar a dispersão territorial, prevendo soluções descentralizadas para municípios isolados e arranjos consorciados para polos regionais.
- **Indicadores de qualidade e universalização**: definição de parâmetros mensuráveis para cobertura da coleta regular, expansão da coleta seletiva em prazos graduais, regularidade dos serviços em áreas ribeirinhas de difícil acesso e integração de catadores às cadeias formais de triagem, de modo a alinhar o contrato às diretrizes de inclusão socioeconômica presentes na PNRS e no Planares.
- **Remuneração variável associada ao desempenho**: vinculação de parcela da receita do operador ao cumprimento de metas ambientais e operacionais, como aumento das taxas de reciclagem, redução da geração de rejeitos, ampliação da recuperação de biogás e melhoria de indicadores sanitários locais. Esses mecanismos podem ser estruturados de forma a respeitar a modicidade tarifária e a capacidade de pagamento da população amazônica, distribuindo riscos entre poder concedente e operador, e evitando a transferência integral do risco de inadimplência para o ente público.

Importante notar que instrumentos análogos podem e devem ser utilizados em arranjos de prestação direta regulada. Ainda que não haja um contrato de concessão clássico, o titular pode formalizar contratos de gestão, termos de compromisso ou instrumentos similares para sua própria autarquia, secretaria ou serviço municipal, definindo metas internas de desempenho, padrões mínimos de qualidade, indicadores econômico-financeiros (como recuperação de custos) e obrigações de transparência ativa. Assim como nos contratos com operadores privados, a remuneração de equipes, a

alocação de orçamento e a priorização de investimentos podem ser condicionadas ao alcance de resultados, aproximando o funcionamento da estrutura pública dos incentivos típicos de uma regulação por desempenho.

Dessa forma, o papel da regulação, em seu sentido amplo, deixa de ser meramente formal, normativo ou burocrático e passa a ser o de reorganizar incentivos e alinhar comportamentos. Em vez de reforçar o padrão histórico de "coleta e aterramento", que prevalece em 88,0% dos municípios amazônicos com disposição inadequada, a regulação – articulada ao planejamento (PEGIRS e PMGIRS) e aos diferentes modelos de prestação previstos na Lei nº 11.445/2007 – converte o operador, público ou privado, em um gestor de recursos materiais e energéticos. Esse operador passa a ser induzido, financeiramente e institucionalmente, a investir em toda a cadeia de valorização, em sintonia com as diretrizes da economia circular e com as especificidades logísticas do bioma amazônico.

A análise dos Planos Estaduais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PEGIRS) da Amazônia Legal, contextualizada pelo Novo Marco Regulatório do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) e pelo Planares, revelou um complexo cenário de governança. Se por um lado os planos demonstram a ambição de estruturar a regulação, por outro, a efetiva implementação em nível municipal ainda é incipiente, criando um significativo vácuo entre o planejado e o executado.

A maioria dos planos estaduais analisados, especialmente os mais recentes, demonstra uma clara compreensão da necessidade de uma estrutura regulatória formal. Estados como Mato Grosso, Pará e Tocantins designam em seus planos agências específicas para a regulação e a fiscalização dos serviços. Esta iniciativa está em sintonia com as melhores práticas de governança e com as diretrizes do Planares.

Contudo, a simples designação de uma agência não garante sua eficácia. Conforme apontam a literatura especializada através de Santos, (2021), Marrara (2021), Oliveira (2021) o papel das agências reguladoras na implementação do novo marco é cercado de desafios complexos, como:

- **Remuneração dos serviços**: Estabelecer um modelo de remuneração dos serviços de manejo de resíduos sólidos (taxa ou tarifa) que garanta a sustentabilidade econômico-financeira sem onerar desproporcionalmente o usuário é o maior desafio técnico e político.
- **Capacidade Técnica**: As agências precisam de corpo técnico qualificado para realizar estudos, auditorias e análises, algo especialmente escasso na Região Norte.
- **Segurança Jurídica**: A regulação deve oferecer um ambiente de regras claras e estáveis para atrair os investimentos privados necessários para as infraestruturas.

Portanto, a rota proposta nos PEGIRS de criar agências estaduais, embora correta, enfrenta na prática as barreiras de capacidade técnica e capital político para implementar sua principal atribuição: a instituição da cobrança pelo serviço. A análise do painel da ANA revela um vácuo de governança regulatória na realidade dos municípios amazônicos.

É neste ponto que a análise se aprofunda. Ao confrontar os planos estaduais com os dados de implementação municipal, o abismo se revela. O painel de acompanhamento da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) monitora a adesão dos municípios à Norma de Referência (NR) nº 1/2021, que estabelece a metodologia para a cobrança dos serviços de resíduos sólidos. Os dados obtidos demonstram que, até o final desta pesquisa, o número de municípios amazônicos que efetivamente aderiram à atividade regulatória — passo inicial para implementar uma estrutura de cobrança — foi irrisório (Tabela 5). Por exemplo, em estados como Amapá e Amazonas, praticamente nenhum município havia se adequado, e mesmo em estados com planejamento mais estruturado, como Pará e Mato Grosso, a adesão municipal permanecia inferior a 10%.

A baixíssima adesão dos municípios amazônicos à atividade regulatória (Tabela 4) e, consequentemente, às normas de referência da ANA, especialmente às de natureza econômico-financeira, como a NR nº 01/2021, confirma o argumento da ABAR (2021): sem um modelo de remuneração definido e regulado, não há sustentabilidade dos serviços. A atividade regulatória, conforme defendido por Santos (2021), ABAR (2021) e explicitado na Nota Técnica do Governo Federal, constitui o elemento articulador entre os instrumentos de política pública (Planares e PEGIRS), os mecanismos de financiamento e os modelos de prestação dos serviços.

Importa destacar que essa centralidade da regulação não se limita aos arranjos de concessão ou Parcerias Público-Privadas (PPPs). Mesmo nos casos de prestação direta pelo próprio titular dos serviços, a regulação permanece essencial para assegurar a separação de funções, a transparência dos custos, a definição de padrões de qualidade, a instituição de mecanismos de recuperação de custos e o controle social, em consonância com as diretrizes da Lei nº 11.445/2007. Assim, tanto o prestador público direto quanto o prestador delegado (concessionária) dependem de um ambiente regulatório técnico, estável e independente para planejar investimentos e alcançar resultados.

A baixíssima adesão dos municípios amazônicos à atividade regulatória (Tabela 5) e, por consequência, às normas de referência da ANA, em especial às de natureza econômico-financeira, como a NR nº 01/2021, confirma o diagnóstico da ABAR (2021): sem um modelo de remuneração definido e regulado, não há sustentabilidade dos serviços. A regulação, conforme defendem Santos (2021), ABAR (2021) e a Nota Técnica do Governo Federal, é o elo que articula os instrumentos de política pública (Planares e PEGIRS), os mecanismos de financiamento e os diferentes modelos de prestação – direta ou delegada (concessões e PPPs).

Sua centralidade não se restringe, portanto, aos arranjos de concessão. Mesmo na prestação direta, a existência de um arcabouço regulatório técnico, estável e independente é condição para separar funções, dar transparência aos custos, definir padrões de qualidade, instituir mecanismos de recuperação de custos e assegurar o controle social, em consonância com a Lei nº 11.445/2007. Em qualquer formato de prestação, a ausência dessa governança regulatória mantém as metas de

sustentabilidade no plano discursivo e dificulta a transição para rotas tecnológicas mais sustentáveis na Amazônia.

Tabela 5. ERIs cadastradas na ANA e serviços regulados na temática resíduos sólidos na Amazônia legal brasileira.

Estado	ERI Cadastradas (Saneamento básico)	Quantidade de municípios regulados (resíduos sólidos)	Serviços regulados nos municípios	
			Limpeza Urbana	Manejo dos resíduos sólidos
AC	1	1	1	1
AM	1	0	0	0
AP	1	0	0	0
MA	1	0	0	0
MT	4	18	11	18
PA	1	1	0	1
RO	4	26	2	26
RR	0	0	0	0
TO	1	1	1	1

(Fonte: ANA, 2025)

O Estado de Rondônia destaca-se com 50% dos municipios com adesão a atividade regulatória.

A discussão aprofunda-se ao contrastar o planejamento com a capacidade de execução, onde a atividade regulatória emerge como um fator determinante. A eficácia de qualquer rota tecnológica está diretamente associada a uma estrutura de governança capaz de assegurar a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços, conforme diretrizes do Marco Legal do Saneamento. Os dados coletados junto às Entidades Reguladoras Infranacionais (ERIs) da região da Amazônia Brasileira permitem mapear o estágio de desenvolvimento desta governança.

A pesquisa revela que, embora 71,4% das ERIs pesquisadas na região declarem regular os serviços de resíduos sólidos, sua atuação é limitada e assimétrica. O escopo regulatório concentra-se majoritariamente nos serviços essenciais de Limpeza Urbana (100% das ERIs) e Disposição Final (71,4%). Em contrapartida, a triagem (28,6%), etapa fundamental para a viabilização da reciclagem e da economia circular, é o serviço menos regulado. Este fato indica que a regulação existente está orientada a garantir o básico (a coleta e o aterramento), e não a induzir a adoção de rotas tecnológicas sustentáveis que envolvam a valorização de materiais, o que se alinha à baixa prioridade dada a essas tecnologias nos planos.

Adicionalmente, a análise da estrutura das agências da região pesquisada revela pontos de desenvolvimento importantes:

- ✓ Uma parte significativa das ERIs (57,1%) ainda está em processo de estruturação de um setor específico para resíduos sólidos e de um quadro técnico dedicado.
- ✓ A instituição de mecanismos de cobrança (taxa ou tarifa), crucial para o financiamento das rotas tecnológicas, representa um desafio presente, visto que 71,4% das ERIs ainda não regulamentaram essa matéria.

- ✓ O acompanhamento de novos modelos de negócio, como concessões e PPPs, também se mostra um campo para expansão, uma vez que 71,4% das ERIs não realizam este acompanhamento de forma sistemática.

A baixa adesão dos municípios amazônicos à atividade regulatória, conforme dados da ANA, reforça a percepção de um processo em andamento. Estados como Amapá, Amazonas e Maranhão, por exemplo, possuem ERIs cadastradas, mas ainda não iniciaram a regulação efetiva de municípios para este serviço. Em contraste, Rondônia demonstra um estágio mais avançado, com 50% de seus municípios já com adesão à atividade regulatória, o que se reflete em resultados práticos mais próximos das metas nacionais.

Desta forma, a discussão sobre as rotas tecnológicas na Amazônia Legal transcende a simples análise dos planos. O desafio principal parece residir menos na concepção do planejamento e mais na maturação da capacidade institucional e regulatória para implementá-lo, um processo gradual e fundamental para que as rotas propostas se convertam em serviços eficientes e sustentáveis para a população.

4.3 ANÁLISE INTEGRADA DAS ROTAS TECNOLÓGICAS SOB A ÓTICA ECONÔMICA, AMBIENTAL E SOCIAL

A análise dos PEGIRS, em conjunto com os dados de infraestrutura e regulação, quando examinada sob os prismas econômico, ambiental e social, revela não apenas a heterogeneidade das abordagens, mas uma profunda desconexão entre o planejamento teórico e a exequibilidade prática na vasta e complexa região da Amazônia Legal.

Do ponto de vista econômico, a prevalência de rotas baseadas em "aterros sanitários consorciados" nos planejamentos é uma resposta teoricamente lógica à busca por ganhos de escala em um território caracterizado por baixa densidade demográfica e grandes distâncias. Conforme ilustrado na Figura 3, um arranjo institucional idealizado prevê a articulação entre consórcios intermunicipais, agências reguladoras e operadores privados para estabelecer sistemas regionais de gestão de resíduos. Este modelo detalha o fluxo desde a coleta e segregação na fonte, passando pela triagem e reciclagem, até as etapas de valorização orgânica e energética, culminando na disposição final controlada.

Em conformidade com o art. 29 da Lei nº 11.445/2007, a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços de saneamento básico deve ser assegurada prioritariamente por meio da remuneração decorrente da cobrança pelos serviços, admitindo-se, quando necessário, a complementação por subsídios ou subvenções, vedada a duplicidade de cobrança ao usuário. No caso específico dos serviços de manejo de resíduos sólidos, o dispositivo legal explicita que essa remuneração pode assumir a forma de taxas, tarifas ou outros preços públicos, a depender do regime de prestação adotado e da natureza das atividades envolvidas.

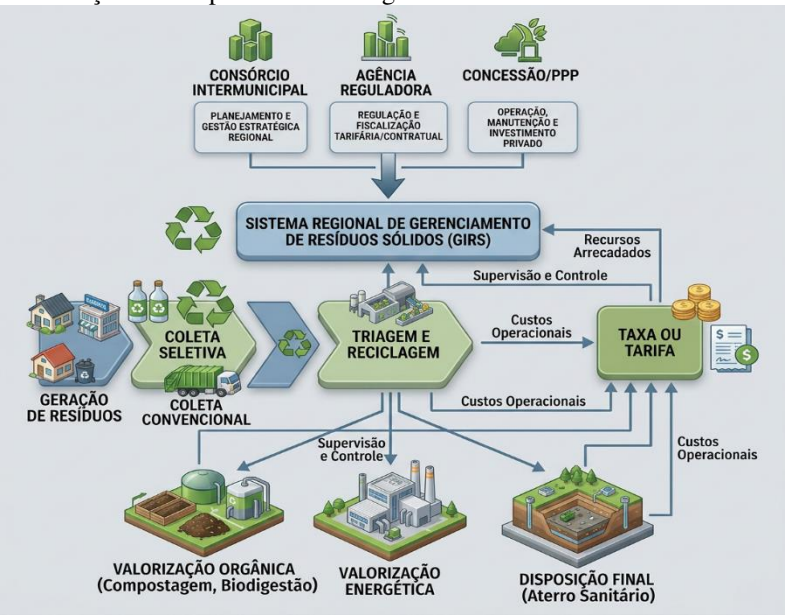
A forma de cobrança pelos serviços de manejo de resíduos sólidos, portanto, pode assumir a natureza de tarifa ou de taxa, com implicações jurídicas e contratuais distintas. Nas concessões comuns, a remuneração do concessionário deve advir, predominantemente, de tarifas cobradas diretamente dos usuários, cabendo à própria concessionária a arrecadação e a gestão dessas receitas, nos termos do contrato e da regulação (PINHEIRO e CUKIERT, 2023).

Por outro lado, quando adotado o regime tributário, com instituição de taxa de resíduos sólidos, a delegação do serviço é plenamente possível, sendo mais comumente associada às parcerias público-privadas na modalidade de concessão administrativa. Nessa configuração, a concessionária não aufere receitas diretamente junto aos usuários, sendo remunerada por contraprestações públicas pagas pelo poder concedente. Tais contraprestações podem ser custeadas, total ou parcialmente, com a receita arrecadada por meio da taxa. Contudo, caso a taxa não seja atualizada de forma tempestiva para acompanhar a evolução dos custos e da expansão dos serviços, o ente público poderá ser obrigado a complementar esses valores com recursos orçamentários próprios. As limitações inerentes ao regime tributário, como a necessidade de lei para instituição e majoração da taxa e a maior rigidez na alteração de valores, tornam menos ágil a adequação da cobrança aos parâmetros de remuneração previstos contratualmente (PINHEIRO e CUKIERT, 2023)

Adicionalmente, em contratos de longo prazo, como concessões comuns ou Parcerias Público-Privadas (PPPs), podem ser incorporados mecanismos de remuneração variável vinculada ao desempenho, condicionando parte dos pagamentos ao atingimento de metas operacionais, econômicas e ambientais. Esses instrumentos devem observar, de forma estrita, os princípios de modicidade, transparência e sustentabilidade econômico-financeira previstos no marco legal, assegurando que os ganhos de eficiência revertam em benefício dos usuários e do próprio serviço público.

Entretanto, este modelo idealizado confronta-se com uma realidade desafiadora. Os dados são categóricos ao demonstrar a fragilidade do pilar financeiro: apenas 21,3% dos municípios amazônicos efetivamente instituíram a cobrança pelos serviços de resíduos, e a adesão à atividade regulatória, essencial para normatizar essa arrecadação, é praticamente nula na maioria dos estados. Consequentemente, a rota tecnológica central, embora racional do ponto de vista do planejamento de escala, revela-se financeiramente inviável na prática. Essa lacuna é uma das causas estruturais para a persistência da disposição inadequada de resíduos em 88,0% dos municípios, um problema agravado por complexos fatores políticos e culturais.

Figura 3 - Modelo de Governança e Fluxo para Sistema Regional de Gestão de Resíduos Sólidos com prestação indireta



Fonte: Autoria Própria, 2026

Sob as perspectivas ambiental e social, a consequência direta desse vácuo de governança é a perpetuação de um modelo de gestão de resíduos com elevado impacto negativo e baixo valor agregado. A insuficiência de investimentos em rotas de tratamento e valorização evidencia-se na baixíssima implementação de unidades de compostagem (presentes em apenas 1,0% dos municípios) e na limitada infraestrutura de triagem (12,8%), cuja eficiência é ainda mais comprometida pela incipiente coleta seletiva na região. Esse cenário resulta na destinação da maior parte dos 6,1 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos gerados anualmente na Amazônia a lixões. Tal prática representa, simultaneamente, o desperdício do potencial de valorização das frações recicláveis e orgânicas e o agravamento da contaminação de solos e corpos d'água, além de intensificar a emissão de gases de efeito estufa, com efeitos particularmente críticos diante da alta sensibilidade ambiental do bioma amazônico.

Nesse contexto, as rotas tecnológicas sustentáveis propostas neste estudo apontam caminhos para mitigação desses impactos, diferenciando estratégias para cenários consorciados e individuais, ambas fundamentadas no princípio da valorização como etapa prioritária em relação à disposição final dos rejeitos.

Prosseguindo na análise integrada, constata-se que a definição de rotas tecnológicas viáveis para a Amazônia Legal não pode basear-se em um modelo uniforme. A heterogeneidade territorial, demográfica e logística impõe a adoção de arranjos diferenciados para municípios isolados, municípios de porte médio com influência regional e sistemas consorciados de maior escala. A escolha das tecnologias deve combinar critérios econômicos (CAPEX, OPEX, escala mínima e custos logísticos), ambientais (redução de emissões de GEE, proteção de recursos hídricos e eliminação de lixões) e sociais (inclusão de catadores, geração de trabalho e renda e proteção da saúde pública).

Nos municípios de pequeno porte e de difícil acesso, típicos do interior amazônico e com forte dependência do transporte fluvial, as rotas tecnológicas devem priorizar soluções descentralizadas, de baixo custo e menor complexidade operacional. Nesses contextos, destacam-se:

- compostagem descentralizada ou comunitária para fração orgânica, com ênfase em pátios simplificados;
- triagem manual em pequenas unidades, articuladas com associações e cooperativas de catadores;
- soluções de disposição final em aterros de pequeno porte , com foco em encerramento gradual de lixões;
- sistemas de coleta seletiva simplificados, com pontos de entrega voluntária em áreas ribeirinhas e comunidades isoladas;

Essas soluções são particularmente importantes para municípios com baixa densidade demográfica, longas distâncias rodoviárias ou predomínio de transporte hidroviário, nos quais empreendimentos de grande escala seriam economicamente mais difíceis de serem implantados.

Nos arranjos consorciados intermunicipais, que representam a principal diretriz dos PEGIRS analisados, abrem-se oportunidades para adoção de tecnologias de maior complexidade, desde que acompanhadas de adequada estrutura de governança regulatória e sustentabilidade financeira, tais como:

- unidades de triagem mecanizadas ou semimecanizadas;
- sistemas de coleta seletiva porta a porta, com inclusão produtiva de catadores;
- centrais de compostagem de média escala ou digestão anaeróbia para fração orgânica;
- implantação de estações de transbordo para otimização logística em sistemas consorciados.
- aterros sanitários devidamente licenciados, com sistemas de drenagem e aproveitamento de biogás;
- aterros sanitários regionais com recuperação energética do biogás;
- centrais regionais de triagem com logística reversa estruturada;
- plantas de compostagem ou digestão anaeróbia consorciadas para resíduos orgânicos;
- unidades de coprocessamento para a indústria cimenteira, quando houver viabilidade de mercado;

Do ponto de vista social, qualquer rota tecnológica para a Amazônia Legal deve incorporar, de forma estruturante, a dimensão inclusiva dos serviços de manejo de resíduos sólidos. Isso implica reconhecer o papel estratégico dos catadores de materiais recicláveis na cadeia de valorização, promovendo sua inclusão socioeconômica por meio da formalização do trabalho, do acesso à infraestrutura adequada, da capacitação técnica e da inserção em contratos e arranjos institucionais estáveis. Paralelamente, programas permanentes de educação ambiental são essenciais para modificar

padrões de consumo, ampliar a adesão à coleta seletiva e fortalecer a corresponsabilidade da população. As rotas tecnológicas também devem estimular arranjos produtivos locais voltados à reciclagem e à compostagem, capazes de agregar valor aos resíduos e gerar emprego e renda, sobretudo nos municípios com menor Índice de Desenvolvimento Humano.

Conforme as Rotas Tecnológicas Sustentáveis de Resíduos Sólidos apresentadas neste capítulo, propõem-se abordagens diferenciadas para municípios isolados e para consórcios intermunicipais, ambas alicerçadas na premissa de que a valorização deve preceder a disposição final de rejeitos. A adoção dessas rotas transcende a gestão tradicional de resíduos sólidos e constitui um caminho estratégico para a internalização dos princípios da economia circular inclusiva.

A simples menção à "inclusão de catadores" nos planos estaduais revela-se retórica quando o modelo vigente não disponibiliza infraestrutura de coleta seletiva e triagem que viabilize sua integração formal. A dimensão da oportunidade perdida é expressiva: a decisão de dispor 10.000 toneladas de resíduos em aterro, que gera aproximadamente um posto de trabalho, renuncia à criação de cerca de 300 empregos que poderiam ser gerados por uma unidade de triagem processando o mesmo volume (Jucá et al., 2015).

A implementação de rotas de valorização mecânica (reciclagem), orgânica (compostagem e biodigestão) e energética converte um passivo ambiental em ativo econômico e social, com expressivo potencial de geração de trabalho e renda em uma região marcada por baixos indicadores de desenvolvimento humano.

Em síntese, evidencia-se que o desafio amazônico não reside na ausência de diagnóstico, já consolidado quanto à predominância de lixões, nem na inexistência de diretrizes estratégicas, como a regionalização dos serviços, mas na dificuldade de estruturar um modelo de governança capaz de articular, de forma efetiva, os pilares econômico, ambiental e social. A não implementação do arranjo institucional e financeiro proposto (Figura 1) impede a transição do modelo vigente para rotas tecnológicas verdadeiramente sustentáveis, perpetuando um ciclo de degradação ambiental e vulnerabilidade social na Amazônia Legal.

5 CONCLUSÃO

Este estudo investigou a articulação entre as rotas tecnológicas e a governança regulatória para a gestão de resíduos sólidos na Amazônia Brasileira. A principal conclusão é que o setor enfrenta um duplo desafio paralisante: por um lado, a maioria dos Planos Estaduais (PEGIRS) está defasada, com 77,8% elaborados antes do novo Marco Regulatório do Saneamento; por outro, há um profundo vácuo de governança regulatória que impede a execução de qualquer estratégia. Argumenta-se que, embora a desatualização dos planos seja um grave sintoma, o gargalo estruturante é a falha regulatória. A ausência de um arcabouço regulatório funcional, com adesão municipal "irrisória" às normas de

cobrança, torna a atualização dos planos um exercício teórico, pois inviabiliza a sustentabilidade econômico-financeira necessária para implementar qualquer rota tecnológica, antiga ou nova. Essa paralisia perpetua a dependência de trajetória (path dependency) que mantém 88,0% dos municípios em modelos de disposição inadequada).

Do ponto de vista prático e gerencial, a pesquisa aponta para uma reorientação estratégica. Para os formuladores de políticas públicas, o foco prioritário deve ser o fortalecimento da capacidade técnica e da autonomia das Entidades Reguladoras Infranacionais (ERIs). Para os reguladores, a transição para um modelo de regulação por desempenho (performance-based regulation) é imperativa, utilizando instrumentos contratuais que vinculem a remuneração dos operadores a metas claras de desvio de aterro e valorização de resíduos. Aos gestores municipais, o estudo evidencia que a adesão a um sistema intermunicipal regulado é a única via para alcançar a segurança jurídica e a bancabilidade necessárias para implementar as soluções tecnológicas e superar o crônico déficit do setor.

Reconhece-se que a análise se baseia em planos oficiais (PEGIRS), que podem não refletir integralmente a capacidade de execução dos estados. Como agenda para pesquisas futuras, são cruciais estudos de caso aprofundados sobre os fatores que levaram a avanços em estados como Rondônia, bem como a modelagem de estruturas tarifárias adaptadas à realidade socioeconômica amazônica. Adicionalmente, investigações sobre a integração socioeconômica de cooperativas de catadores nas cadeias de valorização são essenciais para assegurar que a transição para a economia circular na região seja ambientalmente sustentável e socialmente inclusiva.

REFERÊNCIAS

Acre. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. (2012). Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Acre (PEGIRS/AC). SEMA.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). (2025). Painel de acompanhamento da regulação do setor de saneamento no Brasil. ANA. https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYWY2NDlhZjktNjZlYy00ZjE3LThmZGYtODUyNjA4OGUwYzU2IiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9

Amazonas (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente. (s.d.). Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Amazonas (PEGIRS-AM). SEMA. https://www.sema.am.gov.br/plano-estadual-de-residuos-solidos-pers/

Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR). (2021). O papel das agências reguladoras na implementação do novo marco legal de saneamento básico em relação aos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. ABAR.

Boa Vista (Município). Prefeitura Municipal de Boa Vista. (2018). Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Boa Vista - RR. PMBV.

Brasil. Casa Civil, Ministério das Cidades, & Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2024, 17 de maio). Nota Técnica Conjunta nº 001/2024/CC/PR/MCID/MMA: Diretrizes para a estruturação de projetos de concessões e parcerias público-privadas relacionadas ao serviço de manejo dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no âmbito do Governo Federal. Presidência da República.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. (2020). Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos: Relatório Estadual - Amapá - 2020. MMA. https://relatorios.sinir.gov.br/relatorios/estadual/index.php?ibge=16&ano=2020

Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022. (2022). Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11043.htm

Farias, R. M. S. (2018). Análise de rotas tecnológicas para gestão eficiente dos resíduos sólidos urbanos: caso do Distrito Federal [Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco]. Repositório Institucional da UFPE.

Ferreira, C. F. A., & Jucá, J. F. T. (2017). Metodologia para avaliação dos consórcios de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais. Engenharia Sanitária e Ambiental, 22(3), 441–450. https://doi.org/10.1590/S1413-41522017124391

Ferreira, C. F. A., Lange, L. C., & Jucá, J. F. T. (2018). Análise dos consórcios de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais e Pernambuco. In 48º Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE. ASSEMAE.

Freitas, M. F., Pires, M. M., & Benincá, D. (2024). Fragilidades e potencialidades na gestão dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 16, e20230271. https://doi.org/10.1590/2175-3369.016.e20230271

Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: A global review of solid waste management. World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2024). Estimativas da população residente para os Municípios e para as Unidades da Federação. https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/

Iyamu, H. O., Anda, M., & Ho, G. (2020). A review of municipal solid waste management in the BRIC and high-income countries: A thematic framework for low-income countries. Habitat International, 95, 102097. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.102097

Jucá, J. F. T., Lima, J. D., Mariano, M. O. H., Firmo, A. L. B., Lucena, L. F. L., Andrade Lima, D. G., & Sá, E. V. F. L. (2014). Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão: Produto 12. CCS Gráfica Editora.

Kurniawan, T. A., Maiurova, A., Kustikova, M., Bykovskaia, E., Othman, M. H. D., & Goh, H. H. (2022). Accelerating sustainability transition in St. Petersburg (Russia) through digitalization-based circular economy in waste recycling industry: A strategy to promote carbon neutrality in era of Industry 4.0. Journal of Cleaner Production, 363, 132452. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132452

Lei nº 416, de 6 de janeiro de 2004. (2004). Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Assembleia Legislativa do Estado de Roraima.

Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Presidência da República. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. (2020). Atualiza o marco legal do saneamento básico. Presidência da República. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm

Maalouf, A., & Mavropoulos, A. (2023). Re-assessing global municipal solid waste generation. Waste Management & Research, 41(4), 936–947. https://doi.org/10.1177/0734242X221074116

Maranhão (Estado). Agência Executiva Metropolitana. (s.d.). Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos da Grande São Luís: Resumo Executivo. AGEM. https://www.ma.gov.br/uploads/agem/docs/RESUMO_EXECUTIVO_RESIDUOS_SOLIDOS_RMGSL_REV_2_(1)_(3).pdf

Maranhão (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais. (2012). Plano Estadual de Gestão de Resíduos Sólidos do Maranhão (PEGRS/MA). SEMA. https://observatoriopnrs.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/11/maranhc3a3o-plano-estadual-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf

Mariano, M. O. H., Norberto, A. S., & Melo, F. H. F. A. (2020). Gestão e hierarquização de rotas tecnologicas de resíduos sólidos urbanos: Um estudo de caso do Brasil. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica, 13(3), 851–867. https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.3.70205

Marrara, T. (2021). “Mosaico Regulatório”: As normas de referência da ANA para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico à luz da Lei 14.026/2020. In C. R. de Oliveira & M. L. M. Granziera (Orgs.), Novo marco do saneamento básico no Brasil (p. 66). Editora Foco.

Mato Grosso. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. (2021). Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Mato Grosso (PERS-MT). SEMA.

Mattos, J. C. P., Sousa, L. M. de, & Silva, M. das G. (2022). Implantação do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Boca do Acre-AM: Desafios e oportunidades no sul do estado do Amazonas após a Lei Federal nº 14.026/2020. In Open Science Research I (Vol. 1, pp. 2652–2661). Editora Científica Digital.

Mor, S., & Ravindra, K. (2023). Municipal solid waste landfills in lower- and middle-income countries: Environmental impacts, challenges and sustainable management practices. Process Safety and Environmental Protection, 174, 322–337. https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.04.014

Oliveira, C. R. de. (2021). A regulação infranacional e o novo marco regulatório. In C. R. de Oliveira & M. L. M. Granziera (Orgs.), Novo marco do saneamento básico no Brasil. Editora Foco.

Pará (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade. (s.d.). Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Pará (PEGRS/PA). SEMAS. https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/PERGIS_VOL_1.pdf

Pimentel, C. H. L., Nóbrega, C. C., Jucá, J. F. T., Pimentel, U. H. O., & Martins, W. A. A. (2020). A gestão das rotas tecnológicas de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa/PB. Brazilian Journal of Development, 6(2), 7063–7077. https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-124

INHEIRO, Hendrick; CUKIERT, Tamara. Tarifa pela prestação do serviço público de manejo de resíduos sólidos urbanos. Revista Eurolatinoamericana de Derecho Administrativo, Santa Fe, v. 10, n. 2, e13055, jul./dez. 2023. Universidad Nacional del Litoral.

Reichert, G. A. (2013). Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: O caso de Porto Alegre [Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. Repositório Digital da UFRGS.

Reichert, G. A. (2021). Rotas tecnológicas para RSU [Apresentação de slides]. Curso Virtual: Sustentabilidade no Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos.

Rondônia (Estado). Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. (s.d.). Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Rondônia (PEGIRS-RO). SEDAM. https://www.sedam.ro.gov.br/post/sedam-plano-estadual-de-residuos-solidos-pers

Santos, É. D. S. dos. (2021). O papel da regulação na implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. In C. R. de Oliveira & C. M. R. Vilarinho (Coords.), A Regulação de Infraestruturas no Brasil (pp. 357–383).

Tocantins (Estado). Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2022). Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Tocantins (PERS-TO). SEMARH. https://www.to.gov.br/semarh/plano-estadual-de-residuos-solidos-do-tocantins-persto/648eropgv1yj

Valenzuela-Levi, N. (2019). Factors influencing municipal recycling in the Global South: The case of Chile. Resources, Conservation and Recycling, 150, 104441. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104441

Vieira, C. L., Dantas, F. F., Cerqueira, G. F., & Gomes, L. P. (2023). Estudo comparativo da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos em bairros de diferentes condições socioeconômicas na cidade de Feira de Santana - BA. In Anais do 32º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES.

Wu, F., Wang, T., Liu, J., & Chen, D. (2020). New insights into regional differences of the predictions of municipal solid waste generation rates using artificial neural network. Waste Management, 107, 182–190. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.015

Xiao, S., Dong, H., Geng, Y., & Brander, M. (2020). Policy impacts on Municipal Solid Waste management in Shanghai: A system dynamics model analysis. Journal of Cleaner Production, 261, 121366. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121366