DA OPERACIONALIZAÇÃO À GOVERNANÇA AMBIENTAL DOS RESÍDUOS PERIGOSOS: o caso das pilhas e baterias

MARLON RODRIGUES DE SOUZA
MAYSSON RODRIGUES DE SOUZA

Resumo

As pilhas e baterias são resíduos perigosos que exigem gerenciamento específico devido à sua crescente complexidade. Este estudo tem como objetivo analisar o aperfeiçoamento dos instrumentos previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) aplicados à gestão dos resíduos perigosos, evidenciando a transição de uma estrutura essencialmente operacional para uma estrutura multicamadas orientadas pela integração sistêmica, rastreabilidade e governança ambiental, tendo os resíduos provenientes de pilhas e baterias como estudo de caso. Busca-se compreender os desdobramentos em rastreabilidade, integração informacional e monitoramento ambiental após a consolidação do Decreto nº 10.936/2022. A pesquisa, de abordagem qualitativa e exploratório-descritiva, fundamenta-se em revisão bibliográfica e documental, além da análise do referido decreto. Como instrumento analítico, adotou-se a notação *Business Process Model and Notation* (BPMN) para representar e comparar os processos de gestão em dois marcos regulatórios distintos. Os resultados evidenciaram a transição de uma estrutura predominantemente operacional focada em coleta, transporte e destinação para um modelo multicamadas que integra componentes físicos, operacionais, informacionais e de governança ambiental. Observou-se o fortalecimento da rastreabilidade e do suporte à tomada de decisão, com destaque para o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR). Conclui-se que a evolução da PNRS ultrapassou a dimensão operacional inicial, passando a incorporar e consolidar mecanismos de governança ambiental orientados pela integração de dados e monitoramento.

Palavras-chave: BPMN; governança ambiental; pilhas e baterias; resíduos perigosos; SINIR.

From Operationalization to Environmental Governance of Hazardous Waste: The Case of Batteries and Cells

Abstract

Batteries and cells are hazardous waste that require specific management due to their increasing complexity. This study aims to analyze the improvement of the instruments established by the Brazilian National Solid Waste Policy (PNRS) applied to hazardous waste management, highlighting the transition from an essentially operational structure to a multilayer structure oriented toward systemic integration, traceability, and environmental governance, using waste from batteries and cells as a case study .It seeks to understand the developments related to traceability, information integration, and environmental monitoring following the regulatory consolidation of Decree No. 10,936/2022. The research, with a qualitative and exploratory-descriptive approach, is based on bibliographic and documentary reviews, along with the analysis of the aforementioned decree. As an analytical tool, Business Process Model and Notation (BPMN) was adopted to represent and compare management processes across two distinct regulatory frameworks. The results revealed the transition from a predominantly operational structure—focused on collection, transportation, and final disposal—to a multilayer model incorporating physical, operational, informational, and environmental governance components. The strengthening of traceability and decision-making support mechanisms was observed, highlighting the strategic role of the National Information System on Solid Waste Management (SINIR). It is concluded that the evolution of the PNRS has gone beyond its initial operational dimension, consolidating environmental governance mechanisms oriented by data integration and monitoring.

Keywords: *BPMN; batteries and cells; environmental governance; hazardous waste; SINIR*.

---

1 INTRODUÇÃO

O avanço da eletrificação e o desenvolvimento de novas tecnologias de armazenamento de energia ampliaram significativamente a produção e o consumo de equipamentos eletroeletrônicos, aumentando a geração de resíduos perigosos. Nesse cenário, as pilhas e baterias destacam-se pelas particularidades de seu gerenciamento e pela necessidade de mecanismos que assegurem controle, monitoramento e rastreabilidade ao longo de seu ciclo de vida (Brasil; Matos, 2016).

A preocupação com o gerenciamento ambientalmente adequado desses resíduos foi fortalecida por instrumentos internacionais voltados ao controle dos impactos ambientais e sanitários decorrentes do manejo inadequado de resíduos perigosos. Blankenstein e Philippi Junior (2018) destacam que a Convenção da Basileia contribuiu para consolidar mecanismos de controle que influenciaram a formulação de políticas ambientais em diversos países, incluindo o Brasil.

Nesse contexto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, representou um marco para a gestão dos resíduos sólidos ao estabelecer princípios como a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a logística reversa. Posteriormente, os Decretos nº 7.404/2010, nº 9.177/2017 e, especialmente, o Decreto nº 10.936/2022 aperfeiçoaram esses instrumentos, fortalecendo mecanismos relacionados à integração das informações, rastreabilidade e monitoramento ambiental.

A literatura demonstra que a efetividade da gestão dos resíduos perigosos depende não apenas da existência de instrumentos normativos, mas também da integração entre os diferentes agentes envolvidos. Bento, Martins Junior e Namen (2018) ressaltam que a interoperabilidade entre sistemas é fundamental para assegurar a rastreabilidade dos resíduos, enquanto Santiago, Dias e César (2023) apontam limitações relacionadas ao planejamento, ao monitoramento e à disponibilidade das informações necessárias à efetividade da PNRS.

Sob essa perspectiva, a gestão dos resíduos perigosos deixa de ser compreendida exclusivamente como um conjunto de operações físicas, passando a incorporar mecanismos relacionados à integração informacional, ao monitoramento e à coordenação institucional. Embora a PNRS não utilize expressamente o termo governança ambiental, Fonseca e Bursztyn (2009) e Câmara (2013) demonstram que elementos como produção de informações, articulação entre atores e fortalecimento institucional constituem características centrais dos modelos contemporâneos de governança ambiental.

Apesar da ampla produção científica sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a logística reversa, observa-se menor representatividade de estudos voltados à gestão dos resíduos perigosos sob a perspectiva da integração sistêmica e da governança ambiental, especialmente após a consolidação normativa promovida pelo Decreto nº 10.936/2022. Nesse contexto, os resíduos provenientes de pilhas e baterias foram adotados como estudo de caso por sua relevância ambiental e pelas especificidades associadas ao seu gerenciamento.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo analisar o aperfeiçoamento dos instrumentos previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos aplicados à gestão dos resíduos perigosos, evidenciando a transição de uma estrutura essencialmente operacional, associada à instituição da Lei nº 12.305/2010, para uma estrutura multicamadas orientadas pela integração sistêmica, rastreabilidade e governança ambiental, consolidada pelo Decreto nº 10.936/2022. Para isso, empregou-se a modelagem *Business Process Model and Notation* (BPMN), desenvolvida no software Bizagi Modeler, para representar e comparar dois marcos regulatórios da PNRS, evidenciando a evolução dos componentes físicos, operacionais, informacionais e de governança ambiental presentes na gestão dos resíduos perigosos.

1.1 Justificativa

A crescente expansão dos sistemas eletroeletrônicos, associada ao desenvolvimento de novas tecnologias de armazenamento de energia e ao avanço dos processos de eletrificação, tem contribuído para o aumento da produção, consumo e descarte de pilhas e baterias. Esse cenário amplia a relevância dos resíduos perigosos provenientes desses produtos e evidencia a necessidade de mecanismos capazes de assegurar seu gerenciamento ambientalmente adequado ao longo de todo o ciclo de vida.

Paralelamente à crescente demanda por esses produtos, observa-se o esforço contínuo de atualização dos instrumentos previstos pela PNRS. Embora a legislação não faça referência expressa ao conceito de governança ambiental, a consolidação promovida pelo Decreto nº 10.936/2022 fortaleceu mecanismos relacionados à integração informacional, rastreabilidade, monitoramento e coordenação entre os diferentes agentes envolvidos. Tais características aproximam-se dos elementos associados aos modelos contemporâneos de governança e aos princípios ambientais, sociais e de governança (ESG), evidenciando uma estrutura mais abrangente do que aquela originalmente associada à operacionalização da logística reversa.

A literatura demonstra que a efetividade da gestão dos resíduos perigosos depende não apenas da existência de instrumentos normativos, mas também da capacidade de integração das informações e da interoperabilidade entre sistemas, uma vez que estruturas fragmentadas tendem a gerar duplicidade de esforços e limitações relacionadas à rastreabilidade dos resíduos (Bento; Martins Junior; Namen, 2018). Em sentido semelhante, estudos recentes evidenciam que os avanços normativos da PNRS não foram acompanhados, na mesma intensidade, pela implementação efetiva dos mecanismos de planejamento, monitoramento e disponibilidade de informações (Santiago, et al., 2023).

Nesse contexto, torna-se relevante compreender se a evolução observada nos instrumentos normativos e nos mecanismos de gestão dos resíduos perigosos foi acompanhada pela produção científica. Dessa forma, o presente estudo justifica-se pela necessidade de compreender as transformações observadas na PNRS aplicada à gestão dos resíduos perigosos, buscando evidenciar a transição de estruturas predominantemente operacionais para modelos multicamadas orientadas pela integração informacional e pela governança ambiental, tendo o segmento de pilhas e baterias como estudo de caso.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o aperfeiçoamento dos instrumentos previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) aplicados à gestão dos resíduos perigosos, evidenciando a transição de uma estrutura essencialmente operacional, associada à instituição da Lei nº 12.305/2010, para uma estrutura multicamada orientada pela integração sistêmica, rastreabilidade e governança ambiental, consolidada pelo Decreto nº 10.936/2022, tendo os resíduos provenientes de pilhas e baterias como estudo de caso.

1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, a pesquisa busca identificar os principais instrumentos normativos relacionados à gestão dos resíduos perigosos previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, analisando sua evolução desde a instituição da Lei nº 12.305/2010 até a consolidação promovida pelo Decreto nº 10.936/2022.

Busca também analisar o fortalecimento dos mecanismos de integração sistêmica, rastreabilidade, monitoramento ambiental e governança ambiental incorporados à PNRS ao longo de sua evolução normativa, considerando os mecanismos de coordenação, integração institucional e suporte à tomada de decisão associados à gestão dos resíduos perigosos.

Adicionalmente, objetiva desenvolver modelos utilizando a notação *Business Process Model and Notation* (BPMN), capazes de representar os componentes físicos, operacionais, informacionais e de governança ambiental presentes na gestão dos resíduos perigosos, tendo os resíduos provenientes de pilhas e baterias como estudo de caso para construção dos modelos.

Por fim, busca realizar análise comparativa entre os marcos regulatórios associados à instituição da Lei nº 12.305/2010 e à consolidação normativa promovida pelo Decreto nº 10.936/2022, evidenciando a transição de uma estrutura essencialmente operacional para uma estrutura multicamadas caracterizadas pela integração entre os componentes físicos, operacionais, informacionais e de governança ambiental.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Estruturação inicial da logística reversa na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PRNS)

A gestão ambiental dos resíduos perigosos não surgiu exclusivamente com a PNRS. A preocupação com os impactos decorrentes da geração, transporte e disposição inadequada desses materiais já se encontrava presente em instrumentos internacionais e nacionais anteriores à promulgação da Lei nº 12.305/2010.

Entre os marcos internacionais que influenciaram a construção das políticas ambientais brasileiras destacam-se a Convenção da Basileia, de 1989, voltada ao controle dos movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e sua disposição ambientalmente adequada, e a Agenda 21, resultante da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada em 1992, que reforçou a necessidade de adoção de modelos sustentáveis de produção e consumo.

No contexto nacional, a Resolução CONAMA nº 257/1999 estabeleceu diretrizes específicas para o gerenciamento de pilhas e baterias contendo chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos. Durante o processo de revisão dessa norma, o Ministério da Saúde, por meio da Coordenação-Geral de Vigilância Ambiental em Saúde, emitiu o **Parecer Técnico nº 070/2008**, no qual foram analisados os riscos ambientais e à saúde associados à presença de metais tóxicos em pilhas e baterias e discutida a necessidade de aprimoramento dos mecanismos de coleta e destinação ambientalmente adequada desses resíduos. O parecer integrou as discussões técnicas que antecederam a revisão da Resolução CONAMA nº 257/1999.

Posteriormente, a Resolução CONAMA nº 401/2008 estabeleceu novos limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional, além de critérios e padrões para seu gerenciamento ambientalmente adequado, revogando a Resolução CONAMA nº 257/1999.

A consolidação desse processo ocorreu com a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos por meio da Lei nº 12.305/2010 e de sua regulamentação inicial pelo Decreto nº 7.404/2010. A política introduziu instrumentos voltados à gestão integrada dos resíduos sólidos, incorporando princípios como a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a logística reversa e a hierarquia de prioridades na gestão dos resíduos.

Nos primeiros anos de implementação, a logística reversa esteve predominantemente associada à operacionalização da cadeia reversa, concentrando esforços na definição de responsabilidades entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores

e demais agentes envolvidos. Nesse contexto, o foco principal encontrava-se na coleta, transporte e destinação ambientalmente adequada dos resíduos pós-consumo, enquanto mecanismos relacionados à integração informacional, rastreabilidade e governança ambiental ainda se encontravam em processo de consolidação.

Tabela 1 – Evolução dos principais instrumentos relacionados à logística reversa de pilhas e baterias

Instrumento	Ano	Contribuição principal
Convenção da Brasileia	1989	Controle dos movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos
Agenda 21	1992	Promoção da gestão sustentável dos resíduos
CONAMA nº 257	1999	Primeiras diretrizes nacionais para pilhas e baterias
CONAMA nº 401	2008	Atualização dos limites e responsabilidades ambientais
Lei nº 12.305 (PNRS)	2010	Instituição da logística reversa e responsabilidade compartilhada
Decreto nº 7.404	2010	Regulamentação inicial da PNRS
Decreto nº 9.177	2017	Fortalecimento da isonomia entre fabricantes e importadores
Decreto nº 10.240	2020	Estruturação da logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico, com delimitação dos sistemas próprios aplicáveis a pilhas e baterias
Portaria nº 280	2020	Instituição do MTR nacional e do Inventário Nacional de Resíduos Sólidos no âmbito do SINIR
Decreto nº 10.936	2022	Consolidação normativa da Política Nacional de Resíduos Sólidos
Decreto nº 11.413	2023	Instituição de certificados aplicáveis aos sistemas de logística reversa previstos pela PNRS

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

2.2 Resíduos perigosos e pilhas e baterias

2.2.1 Resíduos perigosos

Os resíduos perigosos ocupam posição de destaque nas políticas ambientais em razão dos riscos que podem representar à saúde humana e ao meio ambiente quando gerenciados de forma inadequada. Conforme estabelecido pela ABNT NBR 10004-1:2024 (ABNT, 2024), esses resíduos são classificados como Classe I e caracterizam-se pela presença de propriedades como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, demandando procedimentos específicos de armazenamento, transporte, tratamento e destinação final.

A preocupação com os resíduos perigosos decorre da capacidade que determinadas substâncias possuem de contaminar o solo, os recursos hídricos e os ecossistemas, além dos potenciais impactos associados à exposição humana. Em razão dessas características, sua gestão exige mecanismos diferenciados de controle, monitoramento e rastreabilidade capazes de acompanhar o fluxo dos resíduos ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Nesse contexto, a lei incorporou instrumentos voltados à responsabilidade compartilhada, à logística reversa e à integração das informações relacionadas ao gerenciamento dos resíduos, buscando fortalecer os mecanismos de controle e ampliar a capacidade de monitoramento das atividades desenvolvidas pelos diferentes agentes envolvidos. A adoção desses instrumentos demonstra que a gestão dos resíduos perigosos ultrapassa a dimensão estritamente operacional, exigindo estruturas capazes de integrar informações, promover rastreabilidade e subsidiar processos de tomada de decisão.

A relevância atribuída à destinação final ambientalmente adequada dos resíduos perigosos também pode ser compreendida à luz dos princípios estruturantes da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Conforme discutido por Souza e Souza (2026), a legislação estabeleceu uma hierarquia de prioridades voltada à não geração, redução, reutilização,

reciclagem, tratamento dos resíduos e disposição final ambientalmente adequada, evidenciando que o gerenciamento ambiental não se restringe ao descarte final. Nesse contexto, a destinação ambientalmente adequada representa um dos componentes de uma estratégia mais ampla de gestão ambiental, exigindo mecanismos de controle, monitoramento e rastreabilidade capazes de assegurar que os resíduos perigosos sejam encaminhados para sistemas compatíveis com suas características e potenciais impactos ambientais.

2.2.2 Pilhas e baterias: classificação como resíduos perigosos

Entre os resíduos classificados como perigosos, destacam-se as pilhas e baterias em razão das particularidades de seu gerenciamento e da crescente demanda impulsionada pela expansão dos equipamentos eletroeletrônicos e das tecnologias de armazenamento de energia. Essas características tornam esse fluxo de resíduos um importante objeto de estudo para as políticas públicas voltadas à gestão dos resíduos perigosos.

A preocupação com o gerenciamento desses resíduos antecede a Política Nacional de Resíduos Sólidos, sendo evidenciada pelas Resoluções CONAMA nº 257/1999 e nº 401/2008, que estabeleceram diretrizes para fabricação, comercialização, coleta e destinação ambientalmente adequada de pilhas e baterias.

Costa e Teixeira (2014) identificaram a presença de pilhas e baterias em resíduos domiciliares comuns, demonstrando que a existência de instrumentos legais não assegura, por si só, o retorno desses materiais aos sistemas de gerenciamento previstos na legislação ambiental.

Portanto tornou-se relevante ampliar a necessidade de mecanismos voltados à rastreabilidade, integração das informações e monitoramento dos fluxos de resíduos. Nesse contexto, as pilhas e baterias constituem um recorte representativo para analisar essa evolução, por envolver diferentes agentes responsáveis pelo gerenciamento e fiscalização desses resíduos.

2.2.3 Evolução normativa da gestão dos resíduos perigosos

A promulgação da Lei nº 12.305/2010 representou um marco na política ambiental brasileira ao instituir a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecendo princípios, objetivos e instrumentos destinados à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. Entre as inovações introduzidas pela legislação destacam-se a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, os acordos setoriais, os termos de compromisso e a logística reversa, instrumentos que passaram a orientar as ações dos setores público e privado na gestão dos resíduos pós-consumo.

A regulamentação inicial da PNRS ocorreu por meio do Decreto nº 7.404/2010, que definiu mecanismos para implementação dos instrumentos previstos na legislação e estabeleceu diretrizes para a operacionalização dos sistemas de logística reversa. Nesse primeiro momento, a estrutura normativa concentrou-se principalmente na definição das responsabilidades dos agentes envolvidos e na organização dos fluxos necessários para viabilizar o retorno dos resíduos ao ciclo produtivo.

Embora a PNRS tenha representado um avanço significativo na gestão ambiental brasileira, diversos estudos apontaram dificuldades relacionadas à implementação prática de seus instrumentos, especialmente em razão da complexidade dos fluxos de resíduos, das diferenças estruturais entre regiões do país e da necessidade de coordenação entre múltiplos atores envolvidos na cadeia de gerenciamento dos resíduos sólidos (Silva, 2012; César, 2018; Santiago et al., 2023).

No caso dos resíduos perigosos, a implementação dos instrumentos previstos pela PNRS exige elevado grau de controle, monitoramento e articulação institucional, uma vez que os

riscos associados ao gerenciamento inadequado desses materiais podem gerar impactos ambientais e sanitários significativos. Nesse contexto, a responsabilidade compartilhada passou a exigir mecanismos capazes de integrar informações e acompanhar as atividades desenvolvidas pelos diferentes agentes envolvidos ao longo do ciclo de vida dos produtos.

Com o amadurecimento da política pública, novos instrumentos normativos foram incorporados ao ordenamento jurídico brasileiro. Nesse contexto, o Decreto nº 9.177/2017 buscou fortalecer a isonomia concorrencial entre fabricantes nacionais e importadores, reduzindo assimetrias que poderiam comprometer a efetividade dos sistemas de logística reversa e das responsabilidades ambientais estabelecidas pela PNRS. A medida buscou assegurar que todos os agentes sujeitos às obrigações legais participassem de forma equilibrada dos sistemas de logística reversa, contribuindo para o fortalecimento dos instrumentos previstos pela política pública.

Posteriormente, a Portaria nº 280/2020 instituiu o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) como documento nacional de rastreabilidade e consolidou a utilização do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) como instrumento de integração e disponibilização de informações relacionadas ao gerenciamento dos resíduos sólidos em âmbito nacional. A incorporação desses instrumentos representou importante avanço para o monitoramento dos fluxos de resíduos, ampliando a capacidade de acompanhamento das etapas de transporte, destinação e tratamento.

O processo de consolidação normativa alcançou novo estágio com a publicação do Decreto nº 10.936/2022, que revogou o Decreto nº 7.404/2010 e passou a reunir em um único instrumento regulamentador diversos dispositivos relacionados à implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Além de promover maior sistematização normativa, o decreto fortaleceu mecanismos associados ao monitoramento, à rastreabilidade e à integração dos sistemas de gestão de resíduos, ampliando a relevância das informações ambientais para o acompanhamento e avaliação das políticas públicas.

A consolidação promovida pelo Decreto nº 10.936/2022 também reforçou a integração entre instrumentos anteriormente dispersos, fortalecendo a articulação entre logística reversa, sistemas de informação, monitoramento ambiental e mecanismos de acompanhamento da gestão dos resíduos. Essa reorganização normativa evidencia uma preocupação crescente com a qualidade das informações produzidas pelos sistemas de gerenciamento, bem como com sua utilização como suporte aos processos de fiscalização, planejamento e tomada de decisão.

A trajetória regulatória observada entre 2010 e 2022 evidencia uma evolução gradual dos instrumentos relacionados à gestão dos resíduos perigosos no Brasil. Inicialmente orientada pela estruturação operacional dos fluxos de retorno dos resíduos, a política passou progressivamente a incorporar mecanismos voltados à integração das informações, ao acompanhamento das atividades desenvolvidas pelos agentes envolvidos e ao fortalecimento dos mecanismos de controle previstos pela legislação ambiental.

Essa evolução demonstra que a gestão dos resíduos deixou de estar fundamentada exclusivamente em aspectos operacionais de coleta, transporte e destinação, passando a incorporar elementos relacionados à coordenação institucional, produção de informações, monitoramento e transparência. Dessa forma, observa-se uma aproximação gradual dos instrumentos previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos com estruturas orientadas à governança ambiental, tema que será discutido na seção seguinte.

2.3 Fundamentos da governança ambiental

2.3.1 Conceitos de governança ambiental

A crescente complexidade dos desafios ambientais contemporâneos ampliou a necessidade de mecanismos capazes de promover a coordenação entre diferentes atores envolvidos na formulação, implementação e monitoramento das políticas públicas ambientais. Nesse contexto, a governança ambiental surge como um conceito associado à articulação entre instituições, instrumentos regulatórios, sistemas de informação e processos de tomada de decisão voltados à gestão dos recursos naturais e à proteção ambiental.

A governança ambiental pode ser compreendida como o conjunto de interações entre atores públicos, privados e da sociedade civil, organizados em diferentes níveis institucionais, que atuam na formulação, implementação e monitoramento das políticas ambientais. Essas estruturas são compostas por arranjos formais e informais voltados à coordenação de ações relacionadas à conservação ambiental, ao uso sustentável dos recursos naturais e à mitigação dos impactos ambientais (Lemos; Agrawal, 2006; Seixas et al., 2020).

Diferentemente da gestão ambiental, tradicionalmente associada à execução de atividades administrativas, operacionais e de controle, a governança ambiental possui caráter mais abrangente, envolvendo mecanismos de coordenação entre atores públicos e privados, compartilhamento de responsabilidades, integração de informações e construção de estratégias voltadas ao alcance de objetivos ambientais comuns. Sob essa perspectiva, a efetividade das políticas ambientais não depende exclusivamente da existência de instrumentos normativos, mas também da capacidade institucional dos diferentes agentes responsáveis por sua implementação.

A literatura especializada destaca que a governança ambiental não se restringe à atuação do Estado, mas resulta da interação entre diferentes organizações e setores da sociedade. Nesse contexto, órgãos governamentais, instituições reguladoras, setor produtivo, entidades da sociedade civil, universidades, instituições de pesquisa e sistemas de informação passam a desempenhar papéis complementares na implementação das políticas ambientais e no monitoramento de seus resultados.

2.3.2 Participação dos atores e responsabilidade compartilhada

A governança ambiental também está diretamente relacionada à capacidade institucional de coordenar interesses, responsabilidades e competências distribuídas entre diferentes atores. Em políticas públicas caracterizadas por elevada complexidade, como a gestão dos resíduos sólidos, a efetividade dos instrumentos legais depende não apenas da existência de normas regulatórias, mas também da capacidade de integração entre os agentes responsáveis por sua implementação.

A implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos depende da articulação entre os diversos agentes responsáveis pela geração, gerenciamento, monitoramento e destinação dos resíduos. A própria legislação atribui responsabilidades ao Poder Público, ao setor empresarial e à coletividade, estabelecendo uma estrutura baseada na responsabilidade compartilhada e na cooperação entre os diferentes atores envolvidos. Nesse contexto, a efetividade dos instrumentos previstos pela PNRS está diretamente relacionada à capacidade de integração entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, cooperativas, entidades gestoras e órgãos públicos responsáveis pelo planejamento e fiscalização das atividades relacionadas aos resíduos sólidos (Nogueira, 2014).

A coordenação entre os diferentes atores envolvidos na gestão dos resíduos sólidos também se materializa por meio dos instrumentos previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos para implementação dos sistemas de logística reversa. Entre esses instrumentos destacam-se os acordos setoriais, os regulamentos e os termos de compromisso, mecanismos que possibilitam a formalização de responsabilidades, metas e procedimentos entre o Poder Público e os setores envolvidos. A utilização desses instrumentos evidencia que a implementação da política ambiental não depende exclusivamente da atuação estatal, mas também da cooperação entre agentes públicos e privados, característica frequentemente associada aos modelos contemporâneos de governança ambiental.

A relevância desses mecanismos foi reforçada pelo Decreto nº 10.936/2022, que consolidou a utilização dos acordos setoriais, regulamentos e termos de compromisso como instrumentos de implementação da logística reversa e de operacionalização da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Dessa forma, observa-se que a governança ambiental aplicada à gestão dos resíduos sólidos não se limita à definição de obrigações legais, mas envolve a construção de arranjos institucionais capazes de promover coordenação, cooperação e integração entre os diferentes agentes envolvidos.

No contexto da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a governança ambiental manifesta-se por meio da articulação entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, operadores logísticos, entidades gestoras e órgãos públicos responsáveis pelo planejamento, monitoramento e fiscalização das atividades relacionadas ao gerenciamento dos resíduos. Essa estrutura demanda mecanismos capazes de integrar informações, promover rastreabilidade e fornecer suporte à tomada de decisão, permitindo que os instrumentos previstos pela legislação sejam efetivamente implementados.

2.3.3 Governança ambiental, informação e tomada de decisão

A efetividade da gestão dos resíduos perigosos depende da integração entre os diferentes agentes envolvidos e da disponibilidade de informações capazes de subsidiar o monitoramento, a fiscalização e a tomada de decisão. Nesse contexto, a integração sistêmica constitui elemento fundamental para o fortalecimento da governança ambiental, permitindo maior articulação entre instituições públicas, setor produtivo e sociedade.

Leal e Sampaio (2021) destacam que a governança ambiental depende da articulação entre diferentes atores, da coordenação institucional e do compartilhamento de informações, fatores essenciais para ampliar a eficiência das políticas públicas voltadas à gestão dos resíduos sólidos.

No âmbito da Política Nacional de Resíduos Sólidos, o Decreto nº 10.936/2022 fortaleceu mecanismos voltados à integração informacional ao consolidar instrumentos como o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), ampliando a capacidade de monitoramento, rastreabilidade e acompanhamento dos fluxos de resíduos.

Estudos também evidenciam que sistemas integrados de informação contribuem para aprimorar o gerenciamento ambiental. Cheela et al. (2021) ressaltam a importância da integração de dados para o planejamento e monitoramento da gestão de resíduos, enquanto Paes, Bellezoni e Oliveira (2021) destacam o papel da inovação e da gestão baseada em informações para o aperfeiçoamento das políticas públicas. Em complemento, Mastroti e Souza (2011) ressaltam que indicadores de desempenho constituem importantes instrumentos de apoio ao monitoramento e à tomada de decisão.

Assim, observa-se que a evolução da Política Nacional de Resíduos Sólidos ultrapassa a organização dos fluxos operacionais, incorporando mecanismos de integração sistêmica

capazes de fortalecer a rastreabilidade, o monitoramento e a governança ambiental, aspectos que fundamentam a modelagem e a análise comparativa desenvolvidas neste estudo.

2.4 Integração sistêmica, SINIR e rastreabilidade

A consolidação da Política Nacional de Resíduos Sólidos ampliou a necessidade de mecanismos capazes de promover não apenas a operacionalização dos fluxos reversos, mas também o monitoramento, a integração das informações e o acompanhamento das atividades desenvolvidas pelos diferentes agentes envolvidos na gestão dos resíduos sólidos. À medida que os sistemas de logística reversa se tornaram mais complexos, cresceu a demanda por instrumentos capazes de fornecer informações confiáveis para fiscalização, planejamento e tomada de decisão.

2.4.1 Rastreabilidade dos resíduos

Nesse contexto, a rastreabilidade passou a ocupar posição estratégica na gestão dos resíduos perigosos. Segundo Brasil e Matos (2016), a capacidade de acompanhar o percurso dos resíduos ao longo das etapas de geração, armazenamento, transporte, tratamento e destinação final constitui elemento fundamental para garantir transparência, controle ambiental e conformidade com os instrumentos previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. A rastreabilidade permite identificar responsabilidades, reduzir irregularidades e ampliar a capacidade de monitoramento das atividades relacionadas ao gerenciamento dos resíduos.

A importância da rastreabilidade torna-se ainda mais evidente no gerenciamento dos resíduos perigosos, cuja movimentação exige maior controle em razão dos riscos ambientais e sanitários associados ao manejo inadequado. Nesse contexto, mecanismos capazes de registrar e acompanhar as diferentes etapas do ciclo de vida dos resíduos contribuem para fortalecer a segurança ambiental, ampliar a transparência e subsidiar ações de fiscalização e controle.

2.4.2 Integração informacional e interoperabilidade

A necessidade de ampliar o controle sobre os fluxos de resíduos também estimulou o desenvolvimento de mecanismos voltados à integração das informações ambientais. Bento, Martins Junior e Namen (2018) destacam que a interoperabilidade entre sistemas de gestão e rastreabilidade constitui fator relevante para garantir consistência, disponibilidade e compartilhamento das informações produzidas pelos diversos agentes envolvidos na cadeia de gerenciamento dos resíduos perigosos. Segundo os autores, sistemas isolados tendem a dificultar a consolidação de informações e a reduzir a capacidade de monitoramento dos órgãos responsáveis pela gestão ambiental.

A revisão bibliográfica evidenciou que os avanços normativos e tecnológicos observados nas últimas décadas contribuíram significativamente para o fortalecimento da gestão de resíduos no Brasil. Entretanto, desafios relacionados à integração das informações e à interoperabilidade entre sistemas ainda permanecem presentes. A ausência de padronização nos mecanismos de troca de dados pode gerar duplicação de esforços, inconsistências nos registros e dificuldades para consolidação de informações necessárias ao planejamento, monitoramento e avaliação das políticas públicas ambientais.

Sob essa perspectiva, a integração informacional deixa de representar apenas uma solução tecnológica e passa a constituir elemento estratégico para a governança ambiental,

permitindo maior articulação entre instituições, sistemas de monitoramento e mecanismos de acompanhamento dos fluxos de resíduos.

2.4.3 SINIR como instrumento de governança ambiental

O fortalecimento dos mecanismos de monitoramento ocorreu de forma mais evidente com a regulamentação promovida pela Portaria nº 280/2020, que instituiu o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) como documento nacional de rastreabilidade e consolidou o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) como plataforma nacional de integração de dados relacionados ao gerenciamento dos resíduos sólidos.

Conforme estabelecido pela Portaria nº 280/2020, o SINIR constitui um sistema destinado à coleta, integração, sistematização e disponibilização de informações relacionadas à operacionalização e à implementação dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos. Em complemento, o MTR passou a atuar como instrumento nacional de rastreabilidade, permitindo registrar informações relacionadas à geração, transporte e destinação final dos resíduos em âmbito nacional.

A relevância desses instrumentos pode ser observada no estudo desenvolvido por Sousa (2022), que analisou a gestão dos resíduos de serviços de saúde após a implementação do SINIR e do MTR. Segundo o autor, a adoção desses mecanismos contribuiu para ampliar a capacidade de monitoramento dos resíduos, reduzir possibilidades de descarte irregular e fortalecer a rastreabilidade das atividades desenvolvidas pelos agentes responsáveis pelo gerenciamento dos resíduos. Embora o estudo esteja direcionado aos resíduos de serviços de saúde, suas conclusões demonstram potencial aplicabilidade aos sistemas de gestão de resíduos perigosos em geral.

Nesse contexto, o SINIR ultrapassa a função de simples repositório de informações, assumindo papel estratégico como infraestrutura nacional de governança informacional voltada ao acompanhamento da implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. A integração dos dados produzidos pelos diferentes agentes envolvidos possibilita ampliar a capacidade de monitoramento, subsidiar processos de fiscalização e fortalecer a tomada de decisão em âmbito nacional.

2.4.4 Monitoramento e fortalecimento da governança ambiental

A integração das informações ambientais possui relevância direta para a formulação, implementação e avaliação das políticas públicas. Conforme observado por César (2018), a qualidade da gestão pública está associada à disponibilidade de informações capazes de subsidiar processos de planejamento, monitoramento e tomada de decisão. Sob essa perspectiva, sistemas de informação ambiental deixam de exercer apenas função operacional e passam a atuar como instrumentos de apoio à governança ambiental.

A literatura também evidencia que a efetividade dos sistemas de gerenciamento de resíduos depende da articulação entre diferentes instituições e esferas administrativas. Órgãos ambientais federais, estaduais e municipais, entidades gestoras, operadores logísticos, fabricantes, importadores e demais agentes envolvidos produzem e utilizam informações que influenciam diretamente a implementação da política pública. Dessa forma, a governança ambiental passa a ser compreendida como resultado da interação entre diferentes atores, mecanismos de coordenação e sistemas de informação voltados à gestão dos resíduos sólidos (Ribeiro; Günther, 2005; Santiago; Dias; César, 2023).

A efetividade da gestão dos resíduos perigosos depende não apenas da existência de instrumentos normativos, mas também da integração dos mecanismos de monitoramento e rastreabilidade. Apesar dos avanços promovidos pela digitalização e pelo fortalecimento do SINIR, ainda persistem limitações relacionadas à integração tecnológica, à padronização das práticas operacionais e à disponibilidade de dados consolidados para avaliação do sistema (Souza; Souza, 2026).

A análise dos instrumentos apresentados demonstra que a efetividade da gestão contemporânea dos resíduos perigosos depende não apenas da existência de fluxos físicos para coleta, transporte e destinação dos resíduos, mas também da capacidade de integração entre informações, instituições e mecanismos de monitoramento. Nesse contexto, a governança ambiental emerge como elemento central para a coordenação dos diversos agentes envolvidos, constituindo a base para sistemas mais transparentes, rastreáveis e orientados à tomada de decisão.

Essa evolução da operacionalização para a governança ambiental fornece as bases conceituais para a modelagem proposta nesta pesquisa, sustentando a utilização da BPMN como ferramenta de representação dos componentes físicos, operacionais, informacionais e institucionais presentes na gestão dos resíduos perigosos.

2.5 Modelagem de processos aplicada à gestão dos resíduos perigosos

A crescente complexidade dos sistemas de logística reversa exige ferramentas capazes de representar, de forma estruturada, os fluxos de materiais, informações e responsabilidades envolvidos na gestão dos resíduos. Nesse contexto, a modelagem de processos constitui importante instrumento para compreensão, análise e aperfeiçoamento dos processos organizacionais e institucionais relacionados à gestão ambiental.

Entre as metodologias de modelagem de processos, a Business Process Model and Notation (BPMN) consolidou-se como um dos principais padrões para representação gráfica de fluxos organizacionais, permitindo descrever atividades, eventos, decisões, responsabilidades e interações entre diferentes agentes. Sua utilização facilita a identificação de fluxos, interfaces, gargalos e oportunidades de melhoria.

A aplicação da BPMN tem se expandido para diferentes áreas do conhecimento, incluindo gestão pública, engenharia de processos, tecnologia da informação, logística e gestão ambiental. Em contextos caracterizados pela participação de múltiplos atores institucionais, a modelagem permite representar de forma integrada as relações existentes entre organizações, sistemas de informação e fluxos operacionais, favorecendo uma visão sistêmica dos processos analisados.

No campo da gestão ambiental, a utilização de modelos de processos apresenta especial relevância em situações que envolvem cadeias complexas de responsabilidades, mecanismos de monitoramento e integração entre instituições públicas e privadas. A representação gráfica dos processos permite compreender como diferentes agentes interagem ao longo das etapas de geração, coleta, transporte, tratamento, monitoramento e destinação dos resíduos, contribuindo para a identificação de responsabilidades e para a análise dos instrumentos de gestão ambiental existentes.

No caso específico da logística reversa de pilhas e baterias, a modelagem de processos apresenta potencial para representar não apenas os fluxos físicos relacionados à movimentação dos resíduos, mas também os mecanismos de registro, rastreabilidade, monitoramento e governança ambiental incorporados à Política Nacional de Resíduos Sólidos. Essa característica torna a BPMN particularmente adequada para estudos que buscam compreender a interação entre aspectos operacionais, informacionais e institucionais presentes na cadeia reversa.

A literatura demonstra que os sistemas de logística reversa envolvem múltiplos agentes responsáveis por diferentes etapas do gerenciamento dos resíduos. A representação dessas interações por meio da BPMN permite visualizar, de forma integrada, as responsabilidades dos atores envolvidos e os mecanismos de coordenação existentes ao longo do processo.

Além da representação dos fluxos operacionais, a modelagem BPMN permite incorporar elementos relacionados aos sistemas de informação e aos instrumentos de monitoramento ambiental. Essa característica assume especial relevância no contexto da Política Nacional de Resíduos Sólidos, em que instrumentos como o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) e o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) passaram a desempenhar papel estratégico no acompanhamento e rastreabilidade dos resíduos perigosos.

A relevância dos sistemas de informação para a governança ambiental também tem sido observada na implementação das políticas públicas relacionadas à gestão de resíduos sólidos. Estudos realizados em municípios brasileiros evidenciam que limitações associadas à qualidade dos dados, à capacidade institucional e à integração das informações podem comprometer o planejamento das ações ambientais e reduzir a efetividade dos instrumentos previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. Nesse contexto, a disponibilidade e a qualidade das informações tornam-se fundamentais para o planejamento das ações relacionadas à gestão dos resíduos sólidos e para o aperfeiçoamento das políticas públicas ambientais (Leal; Sampaio, 2021).

Considerando a evolução observada na gestão dos resíduos perigosos no Brasil, a utilização da BPMN nesta pesquisa busca fornecer uma representação integrada dos componentes físicos, operacionais, informacionais e de governança ambiental associados aos resíduos provenientes de pilhas e baterias. A adoção dessa abordagem permite evidenciar a transição observada entre modelos predominantemente operacionais e estruturas mais abrangentes de governança ambiental, caracterizadas pela crescente integração de informações, fortalecimento dos mecanismos de rastreabilidade e ampliação da capacidade de monitoramento dos sistemas de gestão de resíduos.

Para fins analíticos, a presente pesquisa adota uma estrutura multicamadas composta por quatro dimensões complementares, apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Estrutura multicamadas adotada na modelagem BPMN

Dimensão	**Elementos representados**
Física	Geração, descarte, coleta, transporte, tratamento e destinação dos resíduos
Operacional	Responsabilidade compartilhada, acordos setoriais, regulamentos, termos de compromisso e execução da logística reversa
Informacional	Registros, rastreabilidade, compartilhamento de dados, SINIR e MTR
Governança Ambiental	Coordenação institucional, monitoramento, fiscalização, suporte à tomada de decisão e integração entre atores

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

A estrutura multicamadas adotada fundamenta-se na compreensão de que a logística reversa de pilhas e baterias não se limita ao deslocamento físico dos resíduos. Além das atividades operacionais de coleta, transporte e destinação final, o sistema envolve mecanismos de monitoramento, integração de informações, fiscalização e suporte à tomada de decisão realizados por diferentes instituições públicas e privadas. Sob essa perspectiva, a BPMN é empregada nesta pesquisa como instrumento analítico para comparar os modelos associados à Lei nº 12.305/2010 e ao Decreto nº 10.936/2022, permitindo identificar alterações relacionadas à operacionalização dos processos, à integração das informações, à rastreabilidade e ao fortalecimento da governança ambiental.

A BPMN é empregada nesta pesquisa como instrumento analítico para comparar os modelos associados à Lei nº 12.305/2010 e ao Decreto nº 10.936/2022, permitindo identificar alterações relacionadas à operacionalização dos processos, à integração das informações, à rastreabilidade e ao fortalecimento da governança ambiental. Dessa forma, a modelagem fornece a base para a análise comparativa apresentada nas seções seguintes, evidenciando a transição de uma estrutura predominantemente operacional para um modelo multicamadas.

3. METODOLOGIA

3.1 Natureza e abordagem da pesquisa

A presente pesquisa possui natureza aplicada, abordagem qualitativa e caráter exploratório-descritivo. A opção pela abordagem qualitativa fundamenta-se na necessidade de compreender a evolução da Política Nacional de Resíduos Sólidos aplicada à gestão dos resíduos perigosos, considerando aspectos operacionais, informacionais e de governança ambiental. Quanto aos objetivos, a pesquisa caracteriza-se como exploratório-descritiva, uma vez que buscou identificar, compreender e interpretar transformações observadas ao longo da consolidação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Segundo Gil (2008), pesquisas exploratórias possibilitam maior aproximação com o problema investigado e favorecem o refinamento progressivo dos conceitos. Tal característica mostrou-se relevante para o presente estudo, pois permitiu ampliar o escopo inicialmente direcionado aos resíduos perigosos e incorporar elementos relacionados à integração informacional, rastreabilidade e governança ambiental, posteriormente delimitados ao segmento de pilhas e baterias.

A pesquisa fundamentou-se em revisão bibliográfica e documental, buscando compreender as transformações observadas na gestão dos resíduos perigosos e sua relação com os instrumentos previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. Para tanto, foram consultados instrumentos normativos associados à PNRS, incluindo a Lei nº 12.305/2010, o Decreto nº 7.404/2010, o Decreto nº 9.177/2017 e, principalmente, o Decreto nº 10.936/2022, utilizado como principal referência normativa para interpretação da evolução da gestão dos resíduos perigosos. Também foram considerados documentos institucionais e instrumentos relacionados à logística reversa aplicados ao segmento de pilhas e baterias.

A delimitação do estudo concentrou-se nos resíduos perigosos provenientes de pilhas e baterias, em razão de sua relevância ambiental, da existência de regulamentações específicas e da obrigatoriedade de implementação de sistemas de logística reversa previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

3.2 Procedimento de coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica e documental, utilizando como principal fonte de consulta o Portal de Periódicos CAPES. Em razão do caráter exploratório da pesquisa, não foram estabelecidas restrições relacionadas ao período de publicação, idioma ou área temática, considerando a natureza multidisciplinar dos temas associados à gestão dos resíduos perigosos, logística reversa, sistemas de informação e governança ambiental.

Os materiais selecionados compreenderam artigos científicos, dissertações, teses e documentos institucionais relacionados à gestão de resíduos, logística reversa, rastreabilidade, integração sistêmica e governança ambiental. A pesquisa exploratória realizada no Portal de

Periódicos CAPES identificou 263 materiais para o descritor “resíduos perigosos”, dos quais 236 apresentaram aderência preliminar ao objeto da pesquisa. Buscas complementares identificaram 26 materiais relacionados ao SINIR **e** 46 estudos sobre governança ambiental**.**

3.2.1 Pesquisa exploratória preliminar

A pesquisa bibliográfica preliminar foi realizada por meio do Portal de Periódicos CAPES, utilizando inicialmente o termo "resíduos perigosos". A seleção ocorreu a partir da leitura dos títulos, resumos e palavras-chave, priorizando estudos relacionados à Política Nacional de Resíduos Sólidos, logística reversa, resíduos perigosos, rastreabilidade, integração sistêmica, mecanismos de monitoramento ambiental e responsabilidade compartilhada.

A análise desse conjunto de publicações evidenciou predominância de estudos voltados aos aspectos operacionais da gestão dos resíduos e à implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, enquanto temas relacionados à integração informacional, ao Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) e à governança ambiental apresentaram menor representatividade. Diante dessa constatação, foram realizadas buscas complementares utilizando os termos "SINIR", "Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos" e "governança ambiental", permitindo ampliar o referencial teórico e delimitar o segmento de pilhas e baterias como objeto de análise.

Os estudos selecionados foram definidos conforme sua aderência aos objetivos da pesquisa. Complementarmente, realizou-se análise documental dos principais instrumentos normativos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, com destaque para a Lei nº 12.305/2010, os Decretos nº 7.404/2010, nº 9.177/2017 e, principalmente, o Decreto nº 10.936/2022, adotado como principal marco normativo para a compreensão da evolução da gestão dos resíduos perigosos.

2.2 Modelagem BPMN e análise comparativa

Como instrumento analítico, foi empregada a notação Business Process Model and Notation (BPMN), utilizando-se o software Bizagi Modeler para elaboração dos fluxogramas. A modelagem foi empregada não apenas para representação gráfica dos processos, mas como ferramenta analítica para evidenciar as transformações observadas na gestão dos resíduos perigosos em diferentes momentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Para fins analíticos, foram elaborados dois modelos representativos correspondentes a marcos regulatórios distintos da Política Nacional de Resíduos Sólidos. O primeiro modelo foi construído com base na estrutura decorrente da instituição da Lei nº 12.305/2010, caracterizada pelo predomínio dos aspectos operacionais relacionados à implementação da logística reversa e à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. O segundo modelo foi elaborado a partir da consolidação promovida pelo Decreto nº 10.936/2022, evidenciando uma estrutura organizada em múltiplas dimensões, incorporando mecanismos relacionados à integração informacional, rastreabilidade e governança ambiental.

A modelagem foi estruturada em quatro dimensões complementares: física, operacional, informacional e de governança ambiental. A comparação entre os modelos permitiu evidenciar a transição de uma estrutura essencialmente operacional para uma estrutura multicamadas, caracterizada pela integração entre os fluxos físicos, operacionais, informacionais e de governança ambiental, tendo o segmento de pilhas e baterias como estudo de caso.

4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 Estrutura operacional da gestão dos resíduos perigosos provenientes de pilhas e baterias

A análise do fluxograma associado ao período compreendido entre a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos e a consolidação normativa promovida pelo Decreto nº 10.936/2022 demonstrou que a gestão dos resíduos provenientes de pilhas e baterias apresentava estrutura predominantemente composta por componentes físicos e operacionais. A modelagem BPMN permitiu identificar que os principais esforços institucionais se concentravam na organização dos fluxos de retorno pós-consumo, na definição das responsabilidades dos agentes envolvidos e na consolidação dos mecanismos necessários para coleta, transporte e destinação ambientalmente adequada dos resíduos perigosos.

Nesse contexto, observou-se que o sistema analisado era composto por etapas sucessivas relacionadas à produção ou importação, distribuição, consumo, descarte, coleta, transporte e destinação dos resíduos. A operacionalização da estrutura estava fortemente associada ao princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, envolvendo fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e operadores responsáveis pelas etapas posteriores ao consumo.

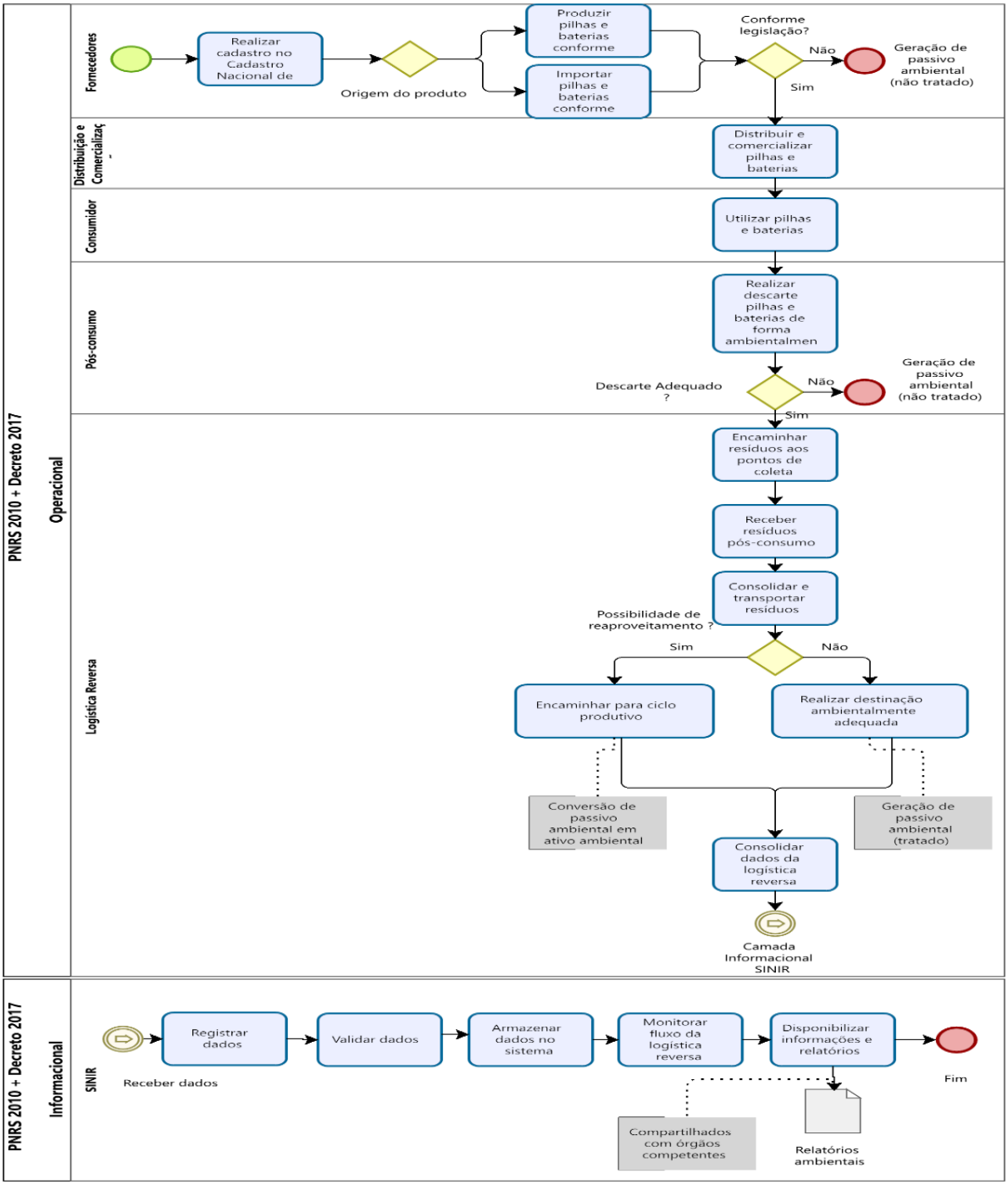
A modelagem também evidenciou que a efetividade do sistema dependia diretamente do adequado funcionamento das etapas operacionais e da participação dos diferentes agentes envolvidos na gestão dos resíduos perigosos. Entretanto, os mecanismos relacionados à integração das informações e ao monitoramento apresentavam papel complementar dentro da estrutura analisada.

A Figura 1 evidencia a predominância dos componentes físicos e operacionais da estrutura inicialmente estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, bem como a atuação complementar da camada informacional associada ao Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) e apresentava predomínio dos componentes físicos e operacionais relacionados à gestão dos resíduos provenientes de pilhas e baterias. Observa-se que o monitoramento das informações ocorria predominantemente após a execução dos fluxos operacionais, característica compatível com os estágios iniciais de implementação da política e que os fluxos estavam concentrados nas etapas de produção, consumo, coleta, transporte e destinação final, enquanto os mecanismos relacionados à integração informacional e monitoramento desempenhavam papel complementar dentro da estrutura analisada.

Dessa forma, os resultados obtidos por meio da modelagem BPMN demonstram que a estrutura inicialmente associada à Política Nacional de Resíduos Sólidos encontrava-se fortemente concentrada na operacionalização dos fluxos físicos e na definição das responsabilidades dos agentes envolvidos. Embora já fossem observados instrumentos voltados ao monitoramento e à integração das informações, tais mecanismos ainda desempenhavam função complementar, evidenciando uma estrutura essencialmente operacional, característica que posteriormente seria modificada com o fortalecimento dos instrumentos incorporados pelo Decreto nº 10.936/2022.

Embora fossem observados instrumentos voltados ao acompanhamento das informações, estes ainda se encontravam subordinados à operacionalização dos fluxos físicos e ao cumprimento das responsabilidades atribuídas aos diferentes agentes envolvidos. Dessa forma, o modelo representado caracteriza uma estrutura essencialmente operacional, que serviria de base para as transformações posteriormente consolidadas pelo Decreto nº 10.936/2022.

Figura 1 – Modelo BPMN associado à estrutura normativa inicial da logística reversa de pilhas e baterias (PNRS 2010 e Decreto nº 9.177/2017)



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

4.2 Governança ambiental e reorganização estrutural após o Decreto nº 10.936/2022

A análise do modelo BPMN associado ao cenário posterior à publicação do Decreto nº 10.936/2022 evidenciou uma reorganização estrutural da logística reversa de pilhas e baterias em relação ao modelo anteriormente observado. Enquanto a estrutura inicial da Política Nacional de Resíduos Sólidos apresentava predominância dos componentes físicos e

operacionais, o modelo mais recente passou a incorporar de forma explícita mecanismos relacionados à integração informacional, coordenação institucional e governança ambiental.

A modelagem demonstrou que a logística reversa deixou de ser representada apenas como um conjunto de atividades voltadas à movimentação física dos resíduos perigosos, passando a integrar processos relacionados à consolidação, validação, monitoramento e compartilhamento das informações geradas ao longo da cadeia reversa. Nesse contexto, o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) assumiu posição estratégica dentro da estrutura analisada, atuando como elemento de integração entre os diferentes agentes envolvidos e os instrumentos previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Diferentemente do modelo inicial, em que o SINIR desempenhava função predominantemente voltada ao armazenamento e disponibilização de informações, o modelo estruturado após o Decreto nº 10.936/2022 passou a incorporar etapas relacionadas à validação da integridade dos dados, consolidação das informações declaratórias, integração entre sistemas e monitoramento contínuo dos fluxos associados à logística reversa. Essa ampliação funcional fortaleceu os mecanismos de rastreabilidade e contribuiu para maior disponibilidade de informações destinadas ao acompanhamento da política pública.

A análise também evidenciou o fortalecimento dos mecanismos de integração institucional. A incorporação de processos relacionados à fiscalização, tomada de decisão e produção de relatórios demonstra maior articulação entre os instrumentos de monitoramento ambiental e as atividades desempenhadas pelos órgãos competentes. Nesse cenário, as informações geradas pela logística reversa deixam de possuir finalidade exclusivamente operacional e passam a subsidiar atividades relacionadas ao controle ambiental, planejamento e implementação das políticas públicas.

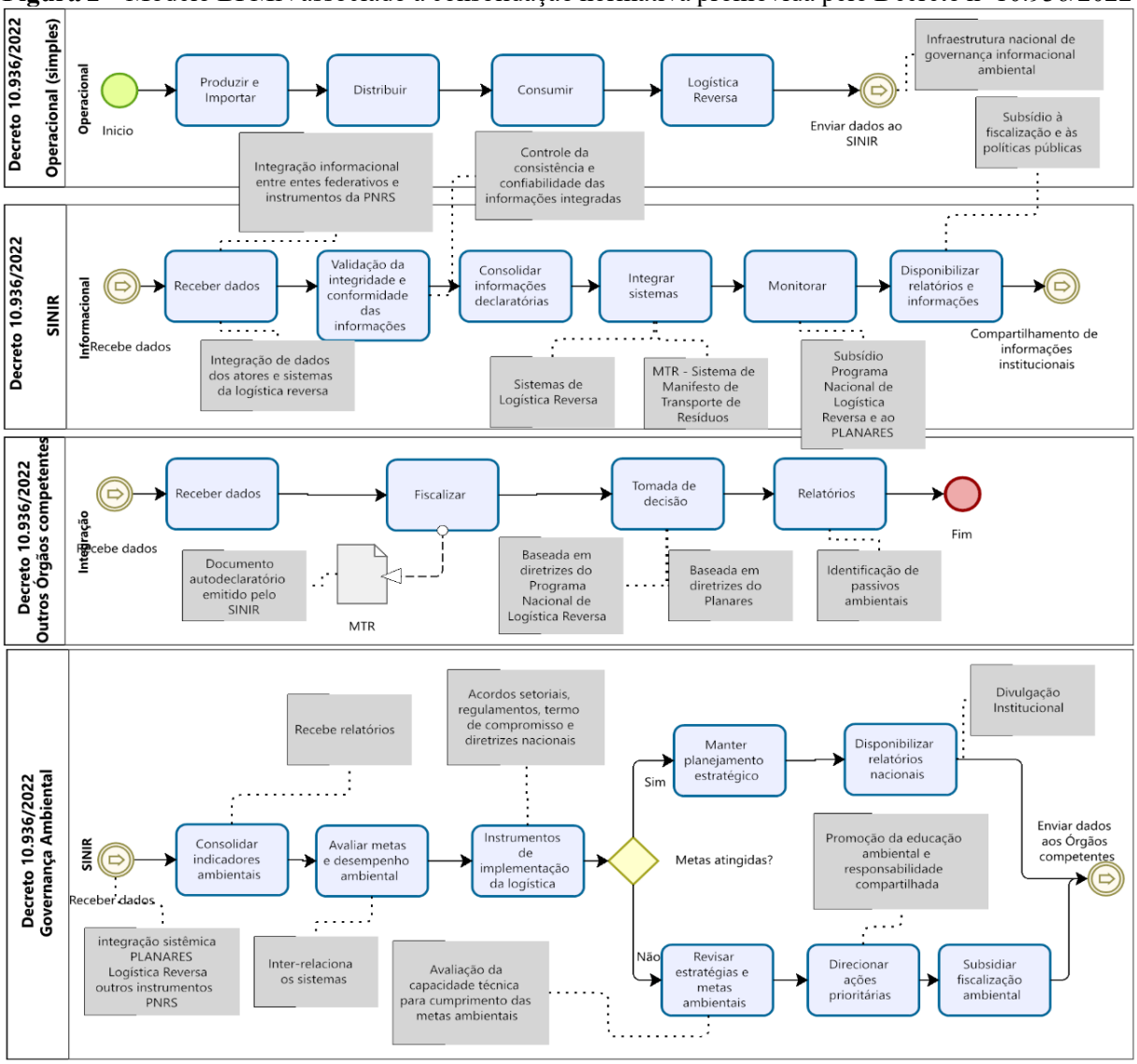
A principal transformação observada no modelo analisado, entretanto, está associada à incorporação de uma camada específica de governança ambiental. Diferentemente da estrutura inicial, a modelagem desenvolvida após a consolidação normativa promovida pelo Decreto nº 10.936/2022 passou a contemplar atividades relacionadas à consolidação de indicadores ambientais, avaliação de desempenho, acompanhamento de metas, planejamento estratégico e direcionamento de ações prioritárias.

A presença desses elementos demonstra que a logística reversa de pilhas e baterias passou a incorporar instrumentos voltados não apenas à execução dos fluxos operacionais, mas também à avaliação dos resultados obtidos e ao aperfeiçoamento contínuo das estratégias relacionadas à gestão dos resíduos perigosos. Nesse contexto, a governança ambiental assume papel relevante ao promover maior integração entre monitoramento, planejamento, fiscalização e tomada de decisão.

Os resultados observados corroboram a compreensão de que a efetividade da gestão dos resíduos perigosos depende não apenas da existência de instrumentos normativos, mas também da capacidade de integração das informações produzidas pelos diversos agentes envolvidos. Bento, Martins Junior e Namen (2018) destacam que a ausência de mecanismos padronizados para troca de informações pode comprometer a rastreabilidade e gerar redundâncias operacionais, evidenciando a importância de sistemas capazes de promover interoperabilidade e compartilhamento de dados entre diferentes organizações.

A digitalização dos instrumentos de controle também representa aspecto relevante da reorganização observada. Conforme destacado por Cicca e Garrido (2021), a utilização de instrumentos eletrônicos de rastreabilidade contribui para ampliar a transparência, fortalecer os mecanismos de controle documental e favorecer o acompanhamento das operações relacionadas ao gerenciamento dos resíduos perigosos. Sob essa perspectiva, a integração entre SINIR, MTR e demais instrumentos previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos fortalece a capacidade de monitoramento ambiental e amplia o suporte às atividades de fiscalização.

Figura 2 – Modelo BPMN associado à consolidação normativa promovida pelo Decreto nº 10.936/2022



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

A Figura 2 evidencia que a estrutura resultante da consolidação promovida pelo Decreto nº 10.936/2022 passou a incorporar mecanismos relacionados à integração informacional, monitoramento ambiental e governança ambiental. Diferentemente do modelo anterior, em que os fluxos informacionais possuíam caráter complementar, observa-se que os componentes associados ao Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), à validação das informações e à produção de subsídios para fiscalização e tomada de decisão passaram a desempenhar papel estratégico na estrutura analisada.

A modelagem também evidencia maior articulação entre os componentes físicos, operacionais, informacionais e de governança ambiental. Essa reorganização demonstra que a gestão dos resíduos perigosos provenientes de pilhas e baterias passou a incorporar mecanismos voltados não apenas à execução dos fluxos operacionais, mas também ao acompanhamento dos resultados e ao aperfeiçoamento contínuo das estratégias de gestão ambiental.

Dessa forma, a comparação entre os modelos elaborados permitiu evidenciar a transição de uma estrutura essencialmente operacional para uma estrutura multicamadas, caracterizada pela integração entre os fluxos físicos, operacionais, informacionais e de governança ambiental. Nessa configuração, a governança ambiental passa a atuar como elemento articulador entre os

diferentes componentes do sistema, ampliando a capacidade de monitoramento, rastreabilidade, fiscalização e suporte à tomada de decisão.

4.3 Análise comparativa dos modelos estruturais

A comparação entre os modelos BPMN desenvolvidos permitiu identificar transformações estruturais relevantes na gestão dos resíduos perigosos provenientes de pilhas e baterias ao longo do processo de consolidação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. A análise evidenciou que as mudanças observadas ultrapassaram a simples ampliação dos fluxos operacionais de coleta, transporte e destinação final, abrangendo também mecanismos relacionados à integração informacional, rastreabilidade, monitoramento ambiental e governança ambiental.

No modelo associado à estrutura inicial da Política Nacional de Resíduos Sólidos observou-se predominância dos componentes físicos e operacionais. A organização da cadeia reversa encontrava-se direcionada à operacionalização da logística reversa e ao cumprimento das responsabilidades compartilhadas entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e demais participantes envolvidos no ciclo de vida dos produtos. Embora já existissem mecanismos de registro e monitoramento das informações, sua atuação possuía caráter complementar às atividades operacionais.

Em contrapartida, o modelo estruturado após a consolidação promovida pelo Decreto nº 10.936/2022 apresentou configuração mais abrangente, incorporando componentes relacionados à integração de sistemas, monitoramento contínuo, fiscalização baseada em informações ambientais, rastreabilidade dos resíduos perigosos e suporte à tomada de decisão. A modelagem evidenciou que os sistemas de informação passaram a ocupar posição estratégica dentro da estrutura da logística reversa, contribuindo para ampliar a coordenação entre os diferentes agentes envolvidos.

A comparação também demonstrou mudanças significativas na função exercida pelo Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR). Enquanto no modelo inicial sua atuação estava concentrada no recebimento, armazenamento e disponibilização de informações, o cenário posterior à consolidação normativa evidenciou maior integração entre os dados produzidos pelos sistemas de logística reversa, instrumentos de monitoramento ambiental e mecanismos de apoio à fiscalização e ao planejamento das políticas públicas.

A principal transformação identificada pela modelagem BPMN refere-se à incorporação explícita dos componentes de governança ambiental. O modelo mais recente passou a contemplar atividades relacionadas à consolidação de indicadores ambientais, avaliação de metas, planejamento estratégico, direcionamento de ações prioritárias, suporte à fiscalização e apoio à tomada de decisão. Essa reorganização demonstra que a gestão dos resíduos perigosos provenientes de pilhas e baterias passou a incorporar mecanismos voltados não apenas à execução dos fluxos operacionais, mas também ao acompanhamento dos resultados e ao aperfeiçoamento contínuo das estratégias de gestão ambiental.

Tabela 3 – Comparação entre os modelos BPMN analisados

Elemento analisado	**Estrutura inicial da PNRS**	**Estrutura após o Decreto nº 10.936/2022**
Estrutura predominante	Operacional	Multicamadas
Fluxo físico dos resíduos	Presente	Presente
Responsabilidade compartilhada	Presente	Presente
SINIR	Apoio informacional	Infraestrutura estratégica
Integração de sistemas	Limitada	Ampliada
Rastreabilidade	Parcial	Fortalecida
Monitoramento ambiental	Operacional	Estratégico
Fiscalização baseada em dados	Limitada	Ampliada
Governança ambiental	Indireta	Estruturada
Planejamento ambiental	Pouco evidenciado	Explícito
Tomada de decisão (indicadores)	Limitada	Incorporada ao modelo

Fonte: Autores

Os resultados obtidos demonstram que a evolução da gestão dos resíduos perigosos provenientes de pilhas e baterias ocorreu de forma progressiva, acompanhando o fortalecimento dos instrumentos previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. A modelagem BPMN permitiu visualizar essa transformação de forma integrada, evidenciando a transição de uma estrutura predominantemente operacional para uma estrutura multicamadas orientadas pela governança ambiental.

Nesse contexto, a governança ambiental passa a atuar como elemento articulador entre os fluxos físicos, operacionais e informacionais, ampliando a capacidade de monitoramento, rastreabilidade, fiscalização e suporte à tomada de decisão. Tal resultado reforça a importância dos sistemas de informação ambiental e dos mecanismos de integração institucional para o fortalecimento da gestão dos resíduos perigosos no Brasil.

4.4 Limitações e desafios da logística reversa de pilhas e baterias

Apesar dos avanços observados ao longo da consolidação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a gestão dos resíduos perigosos provenientes de pilhas e baterias ainda apresenta desafios relacionados à operacionalização da cadeia reversa, à integração institucional e à efetividade dos mecanismos de monitoramento ambiental.

A análise dos modelos BPMN demonstrou que o fortalecimento dos instrumentos de rastreabilidade, integração informacional e governança ambiental contribuiu para ampliar a capacidade de acompanhamento dos fluxos de resíduos. Entretanto, a efetividade desses instrumentos permanece condicionada à qualidade das informações produzidas pelos diferentes agentes envolvidos, à integração entre sistemas e à capacidade institucional necessária para utilização dos dados gerados.

Entre os principais desafios identificados destaca-se a necessidade de ampliar a participação dos consumidores nos sistemas de logística reversa. Embora a legislação atribua responsabilidades aos diversos agentes da cadeia reversa, a efetividade do sistema depende diretamente do descarte ambientalmente adequado realizado pelos usuários finais. A ausência de encaminhamento correto dos resíduos aos pontos de coleta pode comprometer o funcionamento da cadeia reversa e reduzir a eficiência dos mecanismos de recuperação e destinação final.

Outro desafio relevante refere-se à integração das informações produzidas pelos diferentes participantes dos sistemas de logística reversa. Conforme observado por Bento, Martins Junior e Namen (2018), a existência de soluções tecnológicas desenvolvidas de forma

isolada pode dificultar a interoperabilidade entre sistemas, gerar redundância de informações e comprometer a rastreabilidade dos resíduos perigosos. Nesse contexto, o fortalecimento dos mecanismos de integração entre plataformas e sistemas de informação permanece como requisito relevante para o aperfeiçoamento da governança ambiental.

Também devem ser consideradas as desigualdades estruturais existentes entre os diferentes agentes envolvidos na logística reversa. Aspectos relacionados à disponibilidade de infraestrutura, capacidade técnica, acesso às tecnologias de informação e recursos destinados ao monitoramento ambiental podem influenciar a efetividade dos instrumentos previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, especialmente em contextos caracterizados por limitações institucionais ou operacionais.

Além dos desafios relacionados à operacionalização e ao monitoramento, a própria governança ambiental demanda aperfeiçoamento contínuo. A ampliação da disponibilidade de informações não garante, por si só, a melhoria dos processos decisórios. A efetividade da governança depende da capacidade de transformar dados em informações úteis para planejamento, fiscalização, avaliação de desempenho e formulação de políticas públicas voltadas à gestão dos resíduos perigosos.

Por fim, destaca-se que o Plano Nacional de Resíduos Sólidos estabelece horizonte de planejamento de longo prazo, acompanhado por revisões periódicas e processos contínuos de aperfeiçoamento. Dessa forma, a evolução observada nos instrumentos de rastreabilidade, integração informacional e governança ambiental deve ser compreendida como parte de um processo dinâmico, sujeito a atualizações normativas, avanços tecnológicos e mudanças institucionais que poderão influenciar o futuro da logística reversa de pilhas e baterias no Brasil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da evolução da PNRS aplicada à gestão de pilhas e baterias evidenciou uma clara transição de um modelo inicial estritamente operacional para uma estrutura contemporânea multicamadas orientadas à governança ambiental. Os resultados demonstram que, enquanto a implementação inicial da lei priorizava a responsabilidade compartilhada para viabilizar a coleta e o transporte físico dos resíduos, a consolidação normativa posterior ampliou drasticamente a necessidade de integração informacional.

A comparação entre os modelos BPMN permitiu identificar que a principal transformação observada ultrapassa o aperfeiçoamento dos fluxos operacionais da cadeia reversa. Os resultados indicam a consolidação de uma estrutura multicamadas compostas por componentes físicos, operacionais, informacionais e de governança ambiental, evidenciando o fortalecimento da capacidade de monitoramento, fiscalização e suporte à tomada de decisão.

Nesse cenário, o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) assume papel estratégico ao integrar informações relacionadas à logística reversa, fortalecendo os mecanismos de rastreabilidade, monitoramento e suporte à tomada de decisão. A governança ambiental, por sua vez, passa a exercer função articuladora entre os diferentes agentes envolvidos, favorecendo a utilização dessas informações para planejamento, avaliação de desempenho, fiscalização e direcionamento das ações ambientais.

Os resultados também demonstram que a consolidação da Política Nacional de Resíduos Sólidos fortaleceu a organização dos instrumentos voltados à gestão dos resíduos perigosos no Brasil, integrando mecanismos anteriormente dispersos em uma estrutura nacional baseada na responsabilidade compartilhada, na logística reversa e na gestão ambientalmente adequada dos resíduos (Carvalho; Serra, 2021; Blankenstein; Philippi Junior, 2018).

Entretanto, a literatura demonstra que a efetividade desses instrumentos depende menos da criação de novas exigências regulatórias e mais da capacidade institucional de implementar,

integrar e monitorar os mecanismos existentes. Limitações relacionadas à disponibilidade de dados, interoperabilidade dos sistemas de informação e monitoramento continuam sendo apontadas como desafios para a consolidação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Alves, 2020; Santiago et al., 2023; Pereira; Gonçalves, 2025; Xisto; Menezes Junior; Deluque, 2022).

Sob essa perspectiva, a governança ambiental deve ser compreendida como o fortalecimento da capacidade institucional de produzir, integrar e utilizar informações confiáveis para subsidiar processos de monitoramento, transparência, fiscalização e tomada de decisão (Fonseca; Bursztyn, 2009; Câmara, 2013). Nesse contexto, instrumentos como o SINIR e os mecanismos de rastreabilidade assumem papel estratégico na gestão dos resíduos perigosos provenientes de pilhas e baterias.

Sob a perspectiva metodológica, a utilização da modelagem BPMN demonstrou potencial para representar, de forma integrada, os componentes físicos, operacionais, informacionais e de governança ambiental envolvidos na gestão dos resíduos perigosos. A abordagem adotada permitiu visualizar as transformações estruturais observadas ao longo da consolidação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, contribuindo para a compreensão das relações entre operacionalização, integração informacional, rastreabilidade e governança ambiental.

Por fim, futuras pesquisas poderão aprofundar a análise da efetividade dos instrumentos de rastreabilidade, do papel desempenhado pelo SINIR na gestão dos resíduos perigosos e da aplicação dos princípios da governança ambiental em outros sistemas de logística reversa previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, contribuindo para o aperfeiçoamento contínuo das políticas públicas voltadas à gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos no Brasil.

REFERÊNCIAS

ALVES, Rodrigo Couto. Análise da implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos na Região Metropolitana de Manaus. **Environmental Scientiae**, v. 2, n. 2, p. 1-11, 2020. DOI: 10.6008/CBPC2674-6492.2020.002.0001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004-1**:2024: Resíduos sólidos — Classificação — Parte 1: Requisitos de classificação**.** Rio de Janeiro: ABNT, 2024. A edição está em vigor desde 27/11/2024.

BENTO, P. R. B; MARTINS JUNIOR, E. M.; NAMEN, A. A. Solução não proprietária para interoperabilidade entre sistemas de gestão e de rastreabilidade de resíduos perigosos. **Revista Ciências Gerenciais,** v. 22, n. 36, p. 103-109, 2018.

BLANKENSTEIN, G. M. P.; PHILIPPI JUNIOR, A. O descarte de medicamentos e a Política Nacional de Resíduos Sólidos: uma motivação para a revisão das normas sanitárias. **Revista de Direito Sanitário**, v. 19, n. 1, p. 50–74, 2018. DOI: 10.11606/issn.2316-9044.v19i1p50-74.

BRASIL, F. C.; MATOS, E. T. A. R. Uma abordagem sobre as políticas nacional e estaduais de resíduos no Brasil: a rastreabilidade de resíduos sólidos perigosos. **AREL FAAr – Amazon's Research and Environmental Law**, Ariquemes, v. 4, n. 3, p. 100-121, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância Ambiental em Saúde. **Parecer Técnico nº 070/2008**: parecer sobre a proposta de

revisão da Resolução CONAMA nº 257, de 30 de junho de 1999. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2008.

CÂMARA, J. B. D. Governança ambiental no Brasil: ecos do passado. **Revista de Sociologia e Política**, Curitiba, v. 21, n. 46, p. 125-146, 2013.

CARVALHO, Magnny Maisy de Barros; SERRA, Juan Carlos Valdés. Análise da gestão de resíduos de bens móveis: estudo de caso da Universidade Federal do Tocantins. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 103-118, 2021. DOI: 10.19177/rgsa.v10e12021103-118.

CÉSAR, P. S. M. Reflexões sobre a qualidade do gasto público na gestão de resíduos sólidos urbanos. **Revista da Controladoria-Geral da União**, Brasília, v. 10, n. 18, p. 1005-1028, 2018

CHEELA, V. S.; RANJAN, V. P.; GOEL, S.; JOHN, M.; DUBEY, B. Pathways to sustainable waste management in Indian Smart Cities. **Journal of Urban Management**, v. 10, n. 4, p. 419-429, 2021. DOI: 10.1016/j.jum.2021.05.002.

CICCA, I. F. C.; GARRIDO, F. S. R. G. Instrumento para atendimento às normas de transporte rodoviário de resíduos perigosos: apoio aos gestores de sustentabilidade de unidades de saúde. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, e53210817677, 2021.

COSTA, M. C.; TEIXEIRA, E. N. A importância da caracterização para identificação do resíduo perigoso no resíduo sólido domiciliar. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 2, n. 11, p. 28-45, 2014.

FONSECA, I. F.; BURSZTYN, M. A banalização da sustentabilidade: reflexões sobre governança ambiental em escala local. **Sociedade e Estado**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 17-46, 2009.

GIL, Antonio Carlos**. Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LEAL, T. L. M. C.; SAMPAIO, R. J. Gestão dos resíduos sólidos: o caso do consórcio de desenvolvimento sustentável do Alto Sertão na Bahia. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 13, e20180123, 2021. DOI: 10.1590/2175-3369.013.e20180123

LEMOS, Maria Carmen; AGRAWAL, Arun**.** Environmental governance. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 31, p. 297-325, 2006. DOI: 10.1146/annurev.energy.31.042605.135621.

MASTROTI, R. R.; SOUZA, D. G. Sistemas de indicadores e boas práticas de sustentabilidade empresarial. In: Amato Neto (Org.). **Sustentabilidade & produção**: teoria e prática para uma gestão sustentável. São Paulo: Atlas, 2011.

NOGUEIRA, C. F. A. Política Nacional de Resíduos Sólidos, coleta seletiva e seus atores: o caso do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Direito**, Passo Fundo, v. 10, n. 1, p. 106-115, 2014.

PAES, Michel Xocaira; BELLEZONI, Rodrigo Augusto; OLIVEIRA, José Antônio Puppim de. **Manual prático para inovação em gestão dos resíduos sólidos urbanos**. 1. ed. São Paulo: FGV EAESP, 2021. ISBN 978-65-00-24450-2.

PEREIRA, M. S.; GONÇALVES, M. C. Desenvolvimento de protótipo de software para gestão de resíduos perigosos em laboratórios de ensino e pesquisa nos campi da UnB. **Revista de Gestão e Secretariado (GeSec),** v. 16, n. 11, 2025.

RIBEIRO, H.; GÜNTHER, W. M. R. Experiências municipais sobre resíduos perigosos: avaliação, percepção e comunicação de riscos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 2, p. 6-13, 2005.

SANTIAGO, Cristine Diniz; MAROTTI, Ana Cristina Bagatini; PUGLIESI, Erica; GONÇALVES, Juliano Costa. Política Nacional de Resíduos Sólidos: perspectivas após um decênio de sua promulgação. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 62, p. 152-177, 2023. DOI: 10.5380/dma.v62i0.81833.

SEIXAS, Cristiana Simão; PRADO, Deborah Santos; JOLY, Carlos Alfredo; MAY, Peter Herman; NEVES, Estela M. Souza Costa; TEIXEIRA, Leonardo Ribeiro. Governança ambiental no Brasil: rumo aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)? **Cadernos Gestão Pública e Cidadania**, v. 25, n. 81, p. 1-21, 2020. DOI: 10.12660/cgpc.v25n81.81404

SILVA, F. S. Geografia e Meio Ambiente: uma análise da legislação dos resíduos sólidos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (REGET***)*, v. 5, n. 5, p. 670-681, 2012.

XISTO, Ronnielson; QUEIROZ DE MENEZES JUNIOR, Mauri; DELUQUE, Jean Victor Vieira. Plano de gerenciamento de resíduos sólidos em uma empresa do setor elétrico. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, v. 17, n. 49, p. 61–73, 2022. DOI: 10.47385/cadunifoa.v17.n49.3910.

SOUZA, Marlon Rodrigues de; SOUZA, Maysson Rodrigues de. Logística reversa de pilhas e baterias: uma revisão da Política Nacional de Resíduos Sólidos 2010-2030. **Revista e-Fatec**, v. 16, n. 1, mar. 2026.

SOUSA, P. H. A gestão de resíduos de serviços de saúde após implantação do SINIR e MTR. **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 6, p. 64-66, jun. 2022. DOI: 10.36560/15620221544.