

Nº 177647

Proposta metodológica para o encerramento e recuperação de áreas de disposição irregular de resíduos sólidos.

**Camila Camolesi Guimarães
Alexandre Muselli Barbosa
Letícia dos Santos Macedo**

*Artigo publicado na **Revista IPT, Tecnologia e Inovação**, v.5, n.18, p.6-22, dez., 2021*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

Artigo técnico

Proposta metodológica para o encerramento e recuperação de áreas de disposição irregular de resíduos sólidos

Methodological proposal for the closure and recovery of inadequate waste disposal sites

Camila Camolesi Guimarães^{a*}, Alexandre Muselli Barbosa^a,
Letícia dos Santos Macedo^a

^a Seção de Investigações, Riscos e Gerenciamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo – SP, Brasil

E-mail: camilacg@ipt.br

Palavras-chave:

lixão; aterro controlado; área degradada; impacto ambiental; recuperação ambiental.

Keywords:

dumpsite; controlled landfill; brownfield; environmental impact; environmental recovery.

Resumo

A existência de áreas de disposição inadequada de resíduos representa atualmente um dos principais desafios para a gestão ambiental municipal no Brasil. O presente artigo tem por objetivo apresentar uma proposta metodológica para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados, aplicável às diversas realidades existentes no país. Tal metodologia se baseia em legislações, documentos e orientações técnicas produzidas por órgãos nacionais e internacionais referentes a diferentes etapas do processo de encerramento, bem como na experiência do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) no apoio aos municípios paulistas para o encerramento de áreas de antigos lixões e aterros controlados nos últimos 10 anos, por meio do Programa de Apoio Tecnológico aos Municípios (PATEM) do Governo de Estado de São Paulo. A proposta metodológica desenvolvida para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados inclui cinco etapas: desativação da área, levantamento de dados de uso e ocupação atual e histórica, caracterização ambiental e geotécnica, estudos complementares e projeto de encerramento. Cada etapa foi desenvolvida para atender as diferentes realidades dos municípios, com adaptação da metodologia de acordo com as características intrínsecas das áreas. Espera-se que esta proposta metodológica contribua na definição de orientações técnicas e procedimentos para o encerramento de lixões e aterros controlados no Brasil, para apoio aos municípios no planejamento e viabilização das ações de recuperação ambiental dessas áreas, bem como no avanço do atingimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável nos níveis federal, estadual e municipal.

Abstract

The existence of inadequate waste disposal sites currently represents one of the main challenges for municipal environmental management in Brazil. This article aims to present a methodological proposal for the closure and recovery of dumpsites and controlled landfills, applicable to the different realities existing in the country. This methodology is based on legislation, documents and technical guidelines produced by national and international bodies regarding different stages of the closure process, as well as on the experience of the Institute for Technological Research (IPT) in supporting São Paulo municipalities for the closure of dumpsites in the last 10 years, through the Technological Support Program for Municipalities (PATEM) of the State Government of São Paulo. The methodological proposal developed for the closure and recovery of dumpsites and controlled landfills includes five stages: deactivation of the area, survey of current and historical use and occupation data, environmental and geotechnical characterization, complementary studies and closure project. Each stage was developed to meet the different realities of the municipalities, with adaptation of the methodology according to the intrinsic characteristics of the areas. It is expected that this methodological proposal will contribute to the definition of technical guidelines and procedures for the closure of dumpsites and controlled landfills in Brazil, to support municipalities in the planning and implementation of environmental recovery actions in these areas, as well as in advancing the achievement of the Sustainable Development Objectives at the federal, state and municipal levels.

1 Introdução

A gestão e a disposição adequada de resíduos sólidos urbanos (RSU) são grandes desafios para os municípios brasileiros. De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020), 65,11 milhões de toneladas de RSU foram coletadas no Brasil em 2019, o que representa uma coleta de 178,4 mil toneladas por dia nos municípios brasileiros. Desse montante, 15,9 milhões de toneladas foram dispostas em unidades de disposição final consideradas inadequadas (aterros controlados e lixões), que correspondem a 25 % do total de RSU dispostos em 2019. O SNIS (2020) indica que a maior parte dos lixões em operação no Brasil está localizada na região Nordeste (55,8 % do total), seguida pelas regiões Centro-Oeste e Norte. No caso dos aterros controlados, a predominância encontra-se na região Sudeste (65,3 %), seguida pela região Nordeste.

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2020), os lixões e aterros controlados são proibidos e configurados como crime ambiental, por não apresentarem o conjunto de medidas e sistemas adequados para a proteção ambiental, resultando em impactos diversos, como a contaminação dos solos, águas superficiais e subterrâneas, acúmulo de gases, poluição do ar e proliferação de doenças e vetores. Tais impactos constituem-se como passivos ambientais, definidos pela manifestação física do dano ambiental (Sánchez, 2006), resultante de atividades e empreendimentos que liberem substâncias e concentrações nocivas ao meio biótico e abiótico, bem

como promovam a descaracterização de sua estrutura. Esses passivos representam sérios desafios para a gestão ambiental municipal, pois persistem no ambiente mesmo após o encerramento e desativação das atividades geradoras do dano.

A Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, coloca a recuperação de áreas degradadas e, conseqüentemente, de passivos ambientais, como um de seus princípios norteadores, sendo um objetivo a ser atingido pelos municípios brasileiros. Nesse contexto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), tem como um de seus objetivos a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, colocando como obrigação da União, Estados e municípios o estabelecimento de metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis. O encerramento e a recuperação de lixões também é uma ação necessária para o atingimento, em nível nacional, estadual e municipal, dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), com destaque para os ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e ODS 15 (Vida Terrestre).

Em cumprimento ao estabelecido pela PNRS, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2020) coloca como meta a eliminação das práticas de disposição final inadequada e encerramento de todos os lixões e aterros controlados no Brasil até 2024, que atualmente contabilizam mais de 3.000 áreas em operação. Além disso, existem, na maioria dos municípios brasileiros, antigas áreas de disposição irregular de resíduos, que, apesar de se encontrarem com a operação finalizada, não foram corretamente encerrados, sendo objeto de ações dos órgãos ambientais e Ministério Público junto aos municípios, para regularização de sua situação ambiental.

Em 2019, foi lançado, pelo Governo Federal, o Programa Nacional Lixão Zero (MMA, 2019), que tem por objetivo encerrar os lixões e os aterros controlados no Brasil, ampliar a coleta seletiva e a reciclagem de resíduos secos e orgânicos, recuperar áreas contaminadas, implementar e expandir sistema de logística reversa e aproveitar o potencial energético dos resíduos. Porém, atualmente não existe uma metodologia consolidada a nível nacional para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados, o que resulta em dificuldades técnicas para os municípios na execução das ações necessárias para o correto encerramento dessas áreas, de forma adequada dos pontos de vista ambiental, social e econômico, bem como para a aprovação pelos órgãos ambientais competentes.

Dessa forma, o objetivo do presente artigo é a proposição de uma metodologia de encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados, aplicável às diversas realidades existentes no Brasil. Tal metodologia se baseia em legislações, documentos e orientações técnicas produzidas por órgãos nacionais e internacionais referentes a diferentes etapas do processo de encerramento, bem como na experiência do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) no apoio aos municípios paulistas para o encerramento de áreas de antigos lixões e aterros controlados nos últimos 10 anos, por meio do Programa de Apoio Tecnológico aos Municípios (PATEM) do Governo de Estado de São Paulo. Este trabalho visa, também, o atendimento à Diretriz 1A (Estratégia 2), do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2020), com a definição de orientações técnicas e procedimentos para o encerramento de lixões e aterros controlados no Brasil.

2 Procedimento metodológico

A proposta de metodologia para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados foi elaborada a partir das seguintes etapas: avaliação de manuais e metodologias existentes no Brasil, referentes a diferentes etapas do processo de encerramento de lixões e aterros controlados; avaliação das normas e documentos técnicos produzidos por órgãos ambientais a nível federal e estadual; e análise da metodologia e resultados obtidos nas experiências do IPT em projetos de encerramento de antigos lixões e aterros controlados no Estado de São Paulo.

Para a análise das normas, documentos técnicos, manuais e metodologias existentes no Brasil sobre o encerramento de lixões, foi realizada busca nos websites de órgãos ambientais a nível estadual e federal, como o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) de Minas Gerais. Destacam-se os materiais produzidos pela CETESB, que apresentam os requisitos para o encerramento de áreas de antigos lixões e aterros sanitários nos municípios paulistas, analisados a partir de consulta a processos jurídicos disponíveis nas agências do órgão ambiental em todo o Estado.

Foram também consultados materiais produzidos por associações e organizações nacionais e internacionais que atuam no setor de resíduos sólidos, como a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Urbana (ABRELPE) e a Associação Internacional de Resíduos Sólidos (International Solid Waste Association - ISWA). Dentre os documentos técnicos, manuais e metodologias produzidos por órgãos públicos e entes privados, foram selecionados os seguintes para análise:

- Caderno Técnico de Reabilitação de Áreas Degradadas por Resíduos Sólidos Urbanos (FEAM, 2010);
- Saúde desperdiçada: o caso dos lixões (ISWA/ABRELPE, 2015);
- Roteiro para encerramento de lixões - os lugares mais poluídos do mundo (ISWA/ABRELPE, 2017);
- Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2020);
- Roteiro para elaboração de estudos de investigação de contaminação em áreas de deposição de resíduos sólidos urbanos (CETESB, 2019);
- Procedimento para investigação de passivos ambientais em áreas de destinação final de resíduos sólidos urbanos (CETESB, s.d.); e
- Roteiro de projeto de encerramento e recuperação do antigo lixão (CETESB, s.d.).

Para a elaboração da proposta metodológica de encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados, foi utilizada como base a metodologia utilizada pelo IPT em projetos de encerramento de antigos lixões no Estado de São Paulo, realizados nos últimos dez anos nos seguintes municípios: Itapira, Bauru, Capivari, Mairinque, Santana de Parnaíba, Holambra, Cananéia, Miracatu, São Ber-

nardo do Campo e Diadema. Essa metodologia foi construída com base nos procedimentos exigidos pela CETESB para investigação de passivos ambientais em áreas de destinação de resíduos sólidos, bem como nas normas e procedimentos de gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil (definidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA) e Estado de São Paulo (definidas pela CETESB), com adaptações para as particularidades apresentadas por áreas de antigos lixões.

A metodologia utilizada pelo IPT contempla duas principais etapas: investigação ambiental da área e plano de encerramento. A investigação ambiental é baseada nas etapas de avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada e avaliação de risco, desenvolvidas no processo de avaliação de áreas contaminadas. O plano de encerramento contempla as ações necessárias para o correto encerramento e recuperação da área a um uso pretendido, incluindo um plano de intervenção, que contempla as medidas necessárias para a eliminação ou redução dos riscos apresentados pelo lixão ou aterro controlado.

Nesse ponto, existe uma diferenciação nos procedimentos para recuperação de áreas contaminadas por disposição de resíduos e áreas contaminadas por outras atividades, pois, no primeiro caso, não é possível realizar a remoção ou remediação da fonte de contaminação, sendo necessário que as intervenções sejam realizadas para limitar as vias de exposição de potenciais receptores. Dessa forma, o foco da remediação em áreas de disposição de resíduos sólidos será em medidas de contenção e/ou tratamento das plumas de contaminação.

A metodologia desenvolvida e aplicada pelo IPT foi baseada primariamente na avaliação e recuperação de áreas com operação já encerrada, sendo, então, complementada com as informações presentes nas metodologias selecionadas para análise, apresentadas anteriormente, principalmente no que diz respeito ao tratamento das questões sociais envolvidas no encerramento e recuperação de lixões ainda em operação.

3 Resultados e discussão

3.1. Análise das metodologias existentes para o encerramento de lixões e aterros controlados

As metodologias existentes encontradas sobre o encerramento de lixões e aterros controlados podem ser divididas em dois grupos: aquelas desenvolvidas e publicadas por órgãos ambientais em nível federal e estadual, no caso, o Ministério do Meio Ambiente, a FEAM e a CETESB, e aquelas publicadas por associações relacionadas à gestão de resíduos, sendo identificados materiais produzidos pela ABRELPE, em parceria com a ISWA. Essas metodologias foram analisadas em relação à criação de um procedimento a ser seguido pelos municípios no processo de encerramento de lixões e aterros controlados, considerando critérios técnicos, sociais e ambientais.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2020), que traz como meta a eliminação dos lixões e aterros controlados no Brasil até 2024, estabelece que o encerramento dessas áreas compreende, no mínimo, as seguintes ações: cercamento da área; drenagem pluvial; conformação do maciço; cobertura com solo e cobertura vegetal; sistema de vigilância; e realocação das pessoas e edificações que porventura se localizem dentro da área do lixão e aterro controlado. Não são apresentados procedimentos ou métodos para a realização dessas ações, sendo a criação de orientações técnicas e procedimentos para o encerramento das referidas áreas uma das diretrizes estabelecidas pelo Plano.

O Caderno Técnico de Reabilitação de Áreas Degradadas por Resíduos Sólidos Urbanos, produzido pela FEAM (2010), define os lixões como uma forma de disposição de resíduos por simples descarga sobre o solo, sem critérios técnicos ou medidas de proteção ao meio ambiente e à saúde pública, enquanto nos aterros controlados é realizado o confinamento dos resíduos, sem a realização de impermeabilização de base, porém, por vezes, com algum tipo de intervenção técnica. Estes podem ou não apresentar sistema de drenagem e tratamento de lixiviados e sistema de extração e queima de gases.

A FEAM (2010) apresenta algumas técnicas indicadas para a desativação, adequação e recuperação de áreas de disposição inadequada de resíduos, sendo estas a remoção dos resíduos, recuperação simples, recuperação parcial, adequação temporária como aterro controlado e recuperação como aterro sanitário. A remoção dos resíduos apenas faz sentido em casos de áreas de risco geológico e geotécnico, sendo uma alternativa de alto custo e, na maior parte das vezes, tecnicamente inviável. Para os outros tipos de recuperação, são apresentados os critérios mínimos que devem ser atendidos para a escolha de cada um deles, apresentando restrições de acordo com o contexto em que as áreas estão inseridas, considerando suas características intrínsecas e aspectos socioambientais do entorno.

São apresentadas, também, as medidas mínimas que os projetos conceituais e executivos de recuperação das áreas devem conter, destacando que as medidas de engenharia e controle ambiental devem fazer parte de um Plano de Reabilitação de Área Degradada por Lixão, elaborado por profissional habilitado, com conteúdo mínimo de informações a serem apresentadas. O Caderno traz, ainda, os possíveis usos futuros após a recuperação dos lixões e aterros controlados, que devem ser definidos com base nos estudos realizados e aptidão das áreas. É colocada a possibilidade de utilização para implantação de áreas verdes, com equipamentos comunitários, bem como pequenas construções, devendo ser integrados à paisagem do entorno e às necessidades da comunidade local.

O documento produzido por ISWA/ABRELPE (2015) apresenta as diferenciações entre os lixões, aterros controlados e aterros sanitários, considerando critérios como local de instalação, capacidade, preparação do local e das células, cobertura de solo, gestão de gases e lixiviados, questões de isolamento e acesso e impactos sobre a saúde e meio ambiente. O foco desse material é apresentar os riscos e impactos à saúde causados pelos lixões, considerando os tipos de resíduos ali dispostos e as contaminações geradas. Não são apresentados critérios ou metodologia para o encerramento das áreas de disposição inadequada de resíduos, porém, o documento traz uma discussão interessante sobre os custos ambientais e sociais dos lixões no Brasil, tendo sido calculados na faixa de US\$ 3,25 bilhões a US\$ 6,65 bilhões em 2015.

O Roteiro para encerramento de lixões (ISWA/ABRELPE, 2017) se trata de uma adaptação do documento produzido por ISWA (2016), denominado "A Roadmap for closing waste dumpsites: the world's most polluted places". O documento apresenta três aspectos contextuais principais que devem ser considerados no processo de encerramento de lixões, que são os elementos físicos (sistema e infraestrutura de acondicionamento, coleta, transporte, transferência, reciclagem, recuperação, tratamento e disposição dos resíduos), atores envolvidos (setor público, geradores de resíduos, fabricantes, sociedade civil, ONGs e agências internacionais) e aspectos estratégicos (políticos, de saúde, institucionais, sociais, econômicos, financeiros, ambientais e técnicos).

O roteiro da ISWA/ABRELPE (2017) apresenta os benefícios, desafios e riscos envolvidos no encerramento de lixões, destacando a importância da análise e envolvimento dos principais atores relacionados ao processo, principalmente do setor informal (catadores de materiais recicláveis), sugerindo a construção de Planos de Inclusão do Reciclador Informal. Além disso, a governança é colocada como chave nesse processo, sendo necessária a criação de um ambiente institucional propício para o encerramento e recuperação dos lixões. Esse ambiente envolve aspectos estratégicos, como a elaboração dos planos e políticas de resíduos sólidos; aspectos de regulação, com a aprovação de legislações relacionadas ao tema; aspectos de desenvolvimento de recursos humanos e estruturação de departamentos de gestão de resíduos nas administrações municipais; e aspectos de regionalização, com a implantação de soluções consorciadas entre os municípios para a gestão de resíduos.

O documento de ISWA/ABRELPE (2017) ainda indica três métodos principais para o encerramento de lixões: encerramento com adequação para aterro controlado, encerramento com cobertura dos resíduos existentes e encerramento com remoção dos resíduos. Coloca também as melhorias imediatas que devem ser implementadas nas áreas de lixões, como medidas de proteção à saúde (controlar e registrar os resíduos recebidos, cessar a queima a céu aberto, instalar cercamento e realizar a cobertura diária dos resíduos), de redução de impactos ambientais (medidas de gestão de chorume e gases) e de preparação do novo sistema (implantação de coleta seletiva e melhoria da estrutura de coleta, transporte e destinação). Por fim, é indicado que o sistema de cobertura de resíduos é o item mínimo a ser contemplado no plano de encerramento, sendo apresentados, ainda, critérios para a seleção de novos locais para aterros sanitários.

Com relação aos procedimentos exigidos pela CETESB para a investigação e recuperação de áreas de destinação inadequadas de resíduos, estes incluem as diretrizes para a investigação ambiental e o conteúdo mínimo do projeto de encerramento e recuperação. A investigação ambiental deve contemplar, minimamente, as etapas de avaliação preliminar e investigação confirmatória do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, sendo apresentadas as atividades a serem desenvolvidas, instruções para a definição da rede de monitoramento e análise da qualidade do solo, água subterrânea e superficial e avaliação de gases, bem como as ações a serem desenvolvidas ao final do processo de investigação.

O roteiro para o plano de encerramento apresenta os itens mínimos a serem contemplados do projeto de encerramento e recuperação das áreas, como o levantamento topográfico, reconformação geométrica do maciço, sistemas de drenagem de águas pluviais e gases, isolamento visual e cobertura vegetal, proposta de uso futuro, entre outros. Além disso, inclui também os passos necessários

caso a área seja classificada como contaminada, incluindo a realização de investigação detalhada, avaliação de risco à saúde humana e implantação de medidas de intervenção.

Dentre os documentos analisados, aqueles que apresentam metodologias para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados são aqueles apresentados por FEAM (2010) e CETESB (2019; s.d.), que abordam as ações técnicas a serem desenvolvidas pelos municípios para a investigação ambiental e recuperação dessas áreas. Os demais materiais tratam de outros aspectos relacionados ao processo de encerramento, também importantes, como a construção de um ambiente institucional e de governança e tratamento das questões sociais associadas à existência dos lixões e aterros controlados. Assim, para a construção da metodologia no presente trabalho, priorizaram-se as informações apresentadas pelos órgãos ambientais de São Paulo e Minas Gerais, sendo complementadas com indicações de ISWA/ABRELPE (2017) no tratamento das questões sociais e institucionais.

3.2. Proposta metodológica de encerramento e recuperação de áreas de lixões e aterros controlados

Como colocado por FEAM (2010), apenas o cessamento da disposição de resíduos, fechamento e abandono das áreas de lixões e aterros controlados não é suficiente para promover o correto encerramento dessas áreas, sendo necessária a realização de ações para investigação e mitigação dos impactos socioambientais gerados e recuperação para um uso pretendido. A proposta metodológica desenvolvida para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados inclui cinco etapas: desativação da área, levantamento de dados de uso e ocupação atual e histórica, caracterização ambiental e geotécnica, estudos complementares e projeto de encerramento (**Figura 1**)

Figura 1 - Estrutura da proposta metodológica de encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados



Fonte: elaborado pelos autores

A etapa de desativação da área é o primeiro passo para o encerramento de um lixão ou aterro controlado em operação. Esta inclui a avaliação de novas alternativas para a disposição dos resíduos, bem como o tratamento das questões sociais caso haja presença de catadores ou residentes na área. Com relação à busca de novas alternativas para a disposição de resíduos, pode ser realizada a seleção de uma nova área para implantação de aterro sanitário, que envolve uma série de atividades, como a avaliação das características hidrogeológicas, geográficas e geotécnicas adequadas ao uso pretendido; a análise da legislação ambiental com respeito às distâncias mínimas estabelecidas com relação às áreas de interesse urbano; a caracterização socioeconômica, de uso e ocupação do local e entorno, bem como dos acessos existentes; a avaliação de critérios econômicos, financeiros, políticos e sociais; entre outros.

Caso o município não tenha condições financeiras ou área disponível para a implantação de aterro sanitário, uma opção encorajada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos e Plano Nacional de Resíduos Sólidos é a construção de soluções consorciadas entre municípios de uma mesma região, para uso de estruturas de tratamento e disposição de resíduos já existente em outros municípios, bem como para implantação de aterros sanitários e outros tipos de estruturas de tratamento e recuperação de resíduos, como centrais de triagem de recicláveis e centrais de compostagem. Após a seleção de nova área para a destinação dos resíduos, o passo seguinte é o encerramento da disposição dos resíduos na área do lixão ou aterro controlado, passando-se para as ações de investigação e recuperação.

Caso haja a presença de catadores e residentes na área de disposição de resíduos, deve-se estruturar um sistema de apoio à inclusão desses trabalhadores no mercado, com a integração do setor informal, na constituição e estruturação de cooperativas de reciclagem, bem como a realocação das pessoas para áreas de moradia adequadas. O tratamento das questões sociais envolvidas é um dos principais desafios do encerramento de áreas de disposição inadequada de resíduos, pois constituem um elo bastante sensível na cadeia de gestão de resíduos, requerendo um esforço do poder público do ponto de vista da implementação de políticas públicas e ações de inclusão social, habitação e inserção no mercado formal de trabalho. Recomenda-se, no caso, a elaboração e implantação do Plano de Inclusão do Reciclador, como indicado por ISWA/ABRELPE (2017).

Após a realocação dos trabalhadores e residentes, passa-se para a etapa de investigação ambiental e início do processo de recuperação dos lixões e aterros controlados. No caso de áreas com operação já suspensa, essa é a primeira etapa do processo para o correto encerramento das mesmas. Um dos desafios nesse processo é a compreensão da extensão do impacto ambiental gerado por essas áreas e a estabilidade dos maciços de resíduos, do ponto de vista da engenharia. A construção do conhecimento sobre a área segue uma sequência de atividades, partindo do levantamento de documentos e registros de uso e ocupação atual e histórica, passando por visitas técnicas e métodos não invasivos de investigação, até a coleta expedita e caracterização de amostras. Essas etapas permitem o refinamento do nível de informação sobre a área de interesse, de forma a se estruturar um plano de encerramento capaz de abranger todas as necessidades técnicas e legais envolvidas.

Desta maneira, a obtenção e a construção do banco de informações da área de interesse são progressivas, permitindo que as tomadas de decisões sejam realizadas de forma objetiva, assertiva e subsidiada por um volume suficiente de dados. Muitos dos conceitos aplicados são os mesmos

preconizados pelo gerenciamento de áreas contaminadas, sendo realizadas adaptações de acordo com a necessidade do estudo. Isso porque tanto o processo de investigação de áreas de disposição de resíduos quanto o de investigação de áreas contaminadas por outras fontes visam identificar e caracterizar o passivo existente em uma região, com o objetivo de implementar as medidas de intervenção necessárias para viabilizar o seu uso de forma segura.

A etapa de levantamento de dados contempla a obtenção de dados de diversas fontes, sejam registros municipais, órgãos fiscalizadores, empresas prestadoras de serviços. O objetivo é remontar o histórico de uso e ocupação da área por meio de documentos e materiais que indiquem, por exemplo, o tipo de operação praticada, tipo de material recebido, volumes, locais utilizados para a deposição e o uso e ocupação do entorno. As fontes de informação podem ser processos ambientais, entrevistas com antigos funcionários e vizinhança (se existente), documentos das Prefeituras, entre outros. Podem ser aplicadas também ferramentas de geoprocessamento para a interpretação de levantamentos aerofotogramétricos e imagens de satélite históricas, possibilitando o mapeamento das alterações do uso e ocupação locais e regionais ao longo do tempo.

Uma das atividades imprescindíveis é a visita de inspeção da área, geralmente realizada por uma equipe multidisciplinar, onde serão avaliados os aspectos técnicos, legais e ambientais atuais do local. Durante a inspeção são avaliados diversos aspectos, como localização, isolamento físico e visual, cobertura do solo, situação de drenagens e taludes (se existentes), potenciais surgências de chorume, evidências de deposições irregulares de resíduos (pretéritas ou atuais), morfologia do terreno, evidências da presença de chorume e gases, além da presença de pessoas ou animais. São avaliados, também, fatores do entorno, como a presença de potenciais receptores (corpos d'água, locais de produção agrícola, residências), permitindo o entendimento de como o passivo ambiental proveniente da disposição de resíduos pode afetar o meio socioambiental em que o lixão ou aterro controlado está inserido.

Um documento que pode auxiliar no processo de levantamento de dados é a norma NBR 15515-1 (ABNT, 2007), que apresenta, de forma detalhada, instruções para o levantamento de dados primários e secundários sobre áreas sob investigação de contaminação, trazendo, em seu Anexo B, um modelo de ficha técnica que auxilia a sistematização e organização das informações sobre a área de interesse.

Na etapa de caracterização ambiental e geotécnica, é montado um plano de investigação e amostragem de solo, água subterrânea e água superficial, baseado nas informações obtidas na etapa anterior, que irá nortear a definição dos pontos de amostragem, monitoramento e de ensaios de campo (ABNT, 2011). Para o entendimento inicial da distribuição da deposição de resíduos, bem como de pontos de acúmulo de gases e chorume, podem ser utilizados métodos não invasivos de investigação, como os métodos geofísicos. Os ensaios geofísicos (principalmente por métodos elétricos) permitem o mapeamento de forma indireta da extensão da área de deposição de resíduos (ABNT, 2011a), sendo utilizados para o refinamento do plano de investigação.

Outra forma de delimitar a extensão da massa de resíduos (nos casos em que estes estão cobertos com solo), bem como de investigar os tipos de resíduos dispostos em determinada área, quando essas informações não estiverem disponíveis em fontes secundárias, é o processo de caracterização

da composição gravimétrica dos resíduos na área. Para tal, são abertas trincheiras, procedendo-se a amostragem dos resíduos de acordo com a norma NBR 10.007 (ABNT, 2004). Esse processo permite avaliar a extensão e profundidade de deposição, tipos de materiais dispostos, potencial de geração de metano a partir da avaliação da quantidade de matéria orgânica presente, entre outros.

Para a caracterização do meio físico, devem ser realizadas sondagens para caracterização, amostragem e análises físico-químicas do solo (ABNT, 2007a); instalação de poços de monitoramento de água subterrânea (ABNT, 2007b; ABNT, 2008) com campanhas de amostragem para avaliação de qualidade da água (ABNT, 2010) e instalação de poços de gases, mapeando e monitorando os principais pontos de acumulação de metano. Em locais com presença de corpos hídricos, também são avaliados potenciais descargas de líquidos percolados oriundas da massa de resíduos, por meio de amostragem de águas superficiais (ABNT, 1987).

Para a avaliação da contaminação do solo e água subterrânea, são utilizados os valores de referência de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009 (CONAMA, 2009) e, no caso do Estado de São Paulo, pela Decisão de Diretoria nº 256/2016/E (CETESB, 2016). Para a avaliação de contaminações na água superficial, são utilizados os parâmetros e valores máximos permitidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021) e pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (CONAMA, 2011).

Os métodos aplicados para o monitoramento geotécnico são mais dependentes da tipologia e características morfológicas da massa de resíduos e da região do entorno. Devem ser avaliadas questões como alteamento, inclinação de taludes, drenagens, declives, nível d'água, bolsões de gases, espessuras de camadas de deposição, compactação e solo de cobertura, fatores estes, que influenciam diretamente nos ensaios de campo e análises necessárias. Os principais ensaios de campo realizados são o levantamento topográfico (ABNT, 1994), para o mapeamento das geoformas da área, instalação de piezômetros, para monitoramento da variação do nível d'água e os ensaios de penetração, para a caracterização geotécnica do meio físico. Esses últimos incluem ensaios de simples reconhecimento (ABNT, 2001), de penetração de piezocone in situ (CPTu) e instalação de piezômetros, para monitoramento da variação do nível d'água dentro da massa de resíduos.

A etapa de estudos complementares é utilizada para a complementação de informações, caso os dados levantados não tenham sido suficientes para a completa abordagem do problema. Como os estudos usualmente estão ligados a áreas com poucas informações disponíveis, a delimitação das extensões dos impactos gerados, principalmente associados à contaminação do solo e água subterrânea, representam um desafio técnico significativo. Com base nos dados obtidos na etapa de caracterização ambiental e geotécnica, é elaborado um plano de investigação complementar, de forma a eliminar lacunas, como no caso de plumas de contaminação não delimitadas (ABNT, 2013a).

Outra análise ambiental realizada nesta etapa é a avaliação de risco à saúde humana (ABNT, 2013b), em que os parâmetros analíticos que apresentarem concentrações acima dos valores orientadores de referência (CONAMA, 2009; CETESB, 2016) são avaliados quanto à sua capacidade de apresentar risco a potenciais receptores na área e entorno, sendo determinados os valores máximos aceitáveis para as substâncias químicas de interesse (SQI).

A etapa de estudos complementares também está reservada para a resolução de questões administrativas, visto que o processo de encerramento pode apresentar conflitos, como questões legais de propriedades, ocupações irregulares, processos ambientais e termos de ajuste de conduta (TAC). Tais situações externas podem influenciar o andamento dos trabalhos, afetando diretamente a evolução do processo de encerramento, tanto em relação à realização de atividades que dependem da liberação de terceiros (como sondagens e amostragens em áreas privadas), quanto na proposição e definição dos usos futuros possíveis para o local.

Os resultados da investigação ambiental e geotécnica servirão de base para a construção do plano e projeto de encerramento dos lixões e aterros controlados. A caracterização socioambiental das áreas e entorno e os objetivos de utilização futura são utilizados na definição das ações de recuperação, consistindo na etapa final do processo de encerramento.

O plano de encerramento possui dois objetivos bem definidos. O primeiro é a adequação da área do ponto de vista legal, para garantir que o passivo ambiental identificado não gere risco à saúde humana. Para tal, devem ser realizadas intervenções como a reconformação e recobrimento da massa de resíduos; ajustes de taludes para garantir a estabilidade; instalação de pontos de extração de gases; instalação de sistema de drenagem e coleta de líquidos percolados; tratamento de plumas de contaminação; instalação de marcos de monitoramento geotécnico; isolamento físico e visual; e revegetação da área. O segundo objetivo é a garantia, do ponto de vista de engenharia, de que a área possua as características necessárias para que implementações de estruturas futuras sejam realizadas, no caso destas serem previstas para o uso futuro pretendido, podendo ser necessários ensaios para obtenção de dados para elaboração de projetos executivos.

O plano de encerramento também inclui a definição dos usos futuros para as áreas de disposição inadequada de resíduos. Tais usos guiarão as ações a serem implementadas para a recuperação das áreas, considerando o objetivo de utilização pretendido. Para a avaliação dos usos futuros possíveis, deve ser considerado como base o conceito de recuperação ambiental, definido pela "aplicação de técnicas de manejo visando tornar um ambiente degradado apto para um novo uso produtivo, desde que sustentável" (Sánchez, 2006, p.41). Os objetivos de usos futuros podem ser definidos a partir da caracterização do passivo ambiental e a viabilidade da recuperação dependerá da complexidade do passivo, da vulnerabilidade do meio em que este se insere e do tipo de uso pretendido.

De acordo com Bouazza e Kavazanjian Jr. (2001), os projetos de recuperação de antigos aterros ou lixões podem incluir usos futuros classificados como pesados (hard uses) ou leves (soft uses). Os usos pesados incluem a construção de edificações, vias e desenvolvimento de infraestrutura, que necessitam de fundações, enquanto os usos leves, mais indicados, incluem instalações recreativas (parques, campos de atletismo, campos de golfe) e anfiteatros. A definição do uso futuro da área é uma atividade que envolve não somente as questões técnicas, mas questões públicas administrativas e de interesse social. Áreas onde existem conflitos sociais de ocupação são particularmente mais sensíveis, visto que a remoção de pessoas residentes no local não é suficiente, sendo necessário o início das intervenções para a revitalização do local, evitando assim, que processos de reocupação aconteçam, gerando um retrocesso em todo o processo de recuperação do local.

A criação de espaços públicos de recreação é uma forma de agregar valor e reverter o impacto gerado em benefícios para a sociedade. Um caso de sucesso é a revitalização da área onde foi construído o parque estadual Villa-Lobos, que até a década de 80 era utilizado como área de deposição de resíduos e de ocupações irregulares, sendo a área recuperada e inaugurada em 1994 como parque, sendo hoje, um dos principais espaços públicos de recreação da região oeste da cidade de São Paulo. Como destacado por FEAM (2010), no processo de definição dos usos futuros, é essencial levar em consideração os anseios e necessidades da comunidade do entorno, devendo haver a participação de seus representantes na tomada de decisão.

4 Conclusões

A metodologia de encerramento de lixões e aterros controlados apresentada pretende servir como um instrumento para apoiar e orientar os municípios no atingimento das metas e objetivos estaduais e nacionais estabelecidos, podendo ser aplicada às diversas realidades existentes no Brasil. Considera-se, ainda, a importância do tema, visto que a gestão adequada de resíduos é um grande desafio cujo desempenho é influenciado por dimensões técnicas, ambientais, financeiras, institucionais, socioculturais e políticas.

Dentre os diversos documentos analisados foi possível identificar aqueles que abordam as ações técnicas a serem desenvolvidas pelos municípios para a investigação ambiental e recuperação dessas áreas e também materiais que tratam de outros aspectos, como a construção de um ambiente institucional e de governança e tratamento das questões sociais associadas à existência dos lixões e aterros controlados. Observou-se, ainda, que há a necessidade de um material que sirva como passo a passo e que busque orientar e guiar os municípios na realização e/ou contratação desses estudos.

A proposta metodológica desenvolvida teve por objetivo atender às diferentes realidades dos municípios, podendo ser adaptada de acordo com as características intrínsecas de cada área de estudo. As cinco etapas propostas são progressivas, permitindo que as tomadas de decisões sejam realizadas de forma objetiva, assertiva e subsidiada por um volume suficiente de dados, de forma a viabilizar a recuperação das áreas de lixões e aterros controlados para um novo uso pretendido, de forma segura e integrada ao contexto local.

Destaca-se que o encerramento e a recuperação de lixões e aterros controlados são grandes desafios para os municípios brasileiros, do ponto de vista técnico, financeiro, institucional, social e ambiental. Espera-se que esta proposta metodológica contribua na definição de orientações técnicas e de procedimentos para o encerramento de lixões e aterros controlados no Brasil, para apoio aos municípios no planejamento e viabilização das ações de recuperação ambiental dessas áreas, bem como no avanço do atingimento dos ODS nos níveis federal, estadual e municipal.

5 Agradecimentos

À Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDE), por meio do Programa de Apoio Tecnológico aos Municípios (PATEM), que tem financiado projetos de avaliação e recuperação de antigos lixões e aterros controlados no Estado de São Paulo.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 9898** – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 22 p. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 13133** – Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 35 p. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 6484** – Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 17 p. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 15515-1** – Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 1 – Investigação Preliminar. Rio de Janeiro, 47 p. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 15492** – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento. Rio de Janeiro, 31 p. 2007a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 15495-1** – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 1 – Projeto e construção. Rio de Janeiro, 25 p. 2007b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 15495-2** – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 2 – Desenvolvimento. Rio de Janeiro, 24 p. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 15847** – Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Método de purga. Rio de Janeiro, 15 p. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 15515-2** – Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 2 – Investigação Confirmatória. Rio de Janeiro, 19 p. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 15935** - Investigações ambientais – Aplicações de métodos geofísicos. Rio de Janeiro, 22 p. 2011a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 15515-3** – Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 3 – Investigação Detalhada. Rio de Janeiro, 18 p. 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 16209** – Avaliação de risco a saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas. Rio de Janeiro, 40 p. 2013b.

BOUAZZA, A.; KAVAZANJIAN JR, E. Construction of former landfills. **In:** Environmental Geotechnics: 2nd Australia and New Zealand Conference on Environmental Geotechnics – GeoEnvironment. Proceedings... GeoEnvironment, 2001. P. 467-482.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 03 de agosto de 2010, p. 02.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Decisão de Diretoria nº 256/2016/E, de 22 de novembro de 2016: Dispõe sobre a aprovação dos "Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016" e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, nº 126, 24/11/2016, p. 55 e 56.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Roteiro para elaboração de estudos de investigação de contaminação em áreas de deposição de resíduos sólidos urbanos. São Paulo:** CETESB, 2019. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/ckfinder/files/6_Estudo%20residuos%20solidos%20urbanos.pdf. Acesso em 28 ago. 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Procedimento para investigação de passivos ambientais em áreas de destinação final de resíduos sólidos urbanos.** São Paulo: CETESB, s.d.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Roteiro de projeto de encerramento e recuperação do antigo lixão.** São Paulo: CETESB, s.d.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009: Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, nº249, 30/12/2009, p. 81-84.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, nº 92, 16 de maio de 2011, p. 89.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Caderno técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte: FEAM, 2010.

INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION/ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA – ISWA/ABRELPE. **Saúde desperdiçada**: o caso dos lixões. ISWA/ABRELPE, 2015.

INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION/ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA – ISWA/ABRELPE. **Roteiro para encerramento de lixões**: os lugares mais poluídos do mundo. ISWA/ABRELPE, 2017.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021: Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, 07 de maio de 2021, seção 1, p. 127.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Programa Nacional Lixão Zero**. Brasília: MMA, 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: MMA, 2020.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental**: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos** - 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020.

10.34033/2526-5830-v5n18-1

