

A POLÍTICA NACIONAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM AÇÃO:

A ATUAÇÃO DO
MINISTÉRIO PÚBLICO

ORGANIZADOR:
ALEXANDRE GAIO


ABRAMPA
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS MEMBROS DO
MINISTÉRIO PÚBLICO DE MEIO AMBIENTE

A POLÍTICA NACIONAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM AÇÃO:

**A ATUAÇÃO DO
MINISTÉRIO PÚBLICO**

**ORGANIZADOR:
ALEXANDRE GAIO**

expediente

Organização

Alexandre Gaio

Coordenação institucional

ABRAMPA

Colaboração

Vivian Ferreira

Liz Buck Silva

Raquel Frazão

Parceria

Instituto Clima e Sociedade

Revisão

Julya Tavares Reis

Arte da Capa

Daniel Neves

Projeto Gráfico e Diagramação

Gabriela Guenther



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

A Política nacional de mudanças climáticas em ação [livro eletrônico] : a atuação do
ministério público / organização Alexandre Gaio. -- 1. ed. -- Belo Horizonte :

Abrampa, 2021.

PDF

ISBN 978-65-991329-1-9

1. Direito ambiental 2. Litigância 3. Ministério Público 4. Mudanças climáticas
5. Mudanças climáticas - Aspectos socioambientais 6. Políticas públicas I. Gaio, Alexandre.

21-65472

CDD-363.73874

Índices para catálogo sistemático:

1. Mudanças climáticas : Políticas públicas :
Problemas sociais 363.73874

Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964

EXTINÇÃO DOS LIXÕES NO MATO GROSSO DO SUL: ATUAÇÃO DO MINISTÉRIO PÚBLICO NA MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS – UM ESTUDO DE CASO

EXTINCTION OF OPEN DUMPSITES IN MATO GROSSO DO SUL: PERFORMANCE OF THE PUBLIC MINISTRY IN THE MITIGATION OF CLIMATE CHANGE - A CASE STUDY

Luciano Furtado Loubet¹
Lívia Barbosa Giurizzatto²
João Onofre Pereira Pinto³
Fernando Silva Bernardes⁴

¹ Promotor de Justiça do MPMS. Diretor do Núcleo Ambiental. Doutorando e Mestre em Direito Ambiental e da Sustentabilidade pela Universidade de Alicante - Espanha. Vice-Presidente da ABRAMPA. Secretário Executivo da Rede Latino-Americana de Ministério Público Ambiental. Autor de vários livros em co-autoria ou coordenação e do livro: "Licenciamento Ambiental - A obrigatoriedade de utilização das Melhores Técnicas Disponíveis".

² Analista Ambiental. Engenheira Ambiental e Sanitária. Pós-graduanda em Geoprocessamento pela PUC Minas.

³ Professor Titular da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Fundados e Coordenador do BATLAB - Laboratório de Aplicações de Inteligência Artificial, Eletrônica de Potência e Acionamento de Máquinas e Energias Renováveis. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia e Doutor em Engenharia Elétrica pela The University of Tennessee at Knoxville, USA. Coordenou mais de 40 projetos de P&D e publicou mais de 200 artigos em periódicos e congressos nacionais e internacionais.

⁴ Coordenador da Consultoria de Projetos Especiais e Meio Ambiente do Tribunal de Contas do Estado de Mato Grosso do Sul. Mestre em Tecnologias Ambientais e Doutor em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, ambos pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Autor do livro Indicadores de Resíduos Sólidos nos municípios de Mato Grosso do Sul, publicado pela Escola Superior de Controle Externo - ESCOEX, 2016

Resumo

Este artigo analisa a contribuição do Projeto Resíduos Sólidos – Disposição Legal para a mitigação das mudanças climáticas. A ação intersetorial foi desenvolvida pelo Ministério Público de Mato Grosso do Sul em parceria com o Tribunal de Contas e o Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. O objetivo do projeto foi reduzir a disposição de resíduos sólidos em lixões ilegais nos 79 municípios do estado. Apresenta-se legislação sobre resíduos sólidos e mudanças climáticas. Descrevem-se métodos de simulações sobre emissões de gases de efeito estufa, especialmente metano, procedentes de aterros sanitários e lixões. Calcula-se a emissão de dióxido de carbono (CO₂) decorrente do transbordo dos resíduos sólidos entre municípios. Por fim, em estudo de caso, aplica-se esta metodologia ao estado de Mato Grosso do Sul. De 2016 a 2020, houve uma redução de 63 (80%) para 16 (20%) municípios com lixões ilegais, e 45 municípios passaram a enviar resíduos sólidos para aterros comuns. Estes resultados mostram a contribuição da modificação como mitigação em mudanças climáticas.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos; Aterros Sanitários; Efeito Estufa; Meio Ambiente e Saúde Pública; Colaboração Intersetorial.

Abstract

This article analyzes the contribution of the “Solid Waste Project - Legal Disposal” to mitigate climate change. The intersectoral action was developed by the Public Prosecutor’s Office of Mato Grosso do Sul in partnership with the Court of Auditors and the Environment Institute of Mato Grosso do Sul. The objective of the project was to reduce the disposal of solid waste in illegal open dumpsites in the 79 municipalities of Mato Grosso do Sul. Legislation on solid waste and climate change is presented. Simulation methods on greenhouse gas emissions, especially methane, from landfills and open dumpsites are described. The emission of carbon dioxide (CO₂) due to the transshipment of solid waste between municipalities is calculated. Finally, in a case study, this methodology is applied to the Mato Grosso do Sul state. From 2016 to 2020, there was a reduction from 63 (80%) to 16 (20%) municipalities with illegal open dumpsites, and 45 municipalities started to send their solid waste to landfills. These results show the contribution of this modification as a mitigation in climate change.

Keywords: Solid Waste; Sanitary Landfill; Greenhouse Effect; Climate Change; Environment and Public Health; Intersectoral Collaboration.

1. Introdução

A atual realidade das mudanças climáticas, atestada pela comunidade científica, apresenta um desafio sem comparativo histórico para a humanidade, o que exige a junção de esforços de todos na tentativa de reduzir suas consequências.

Segundo *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*^{5 6}, se as medidas não forem tomadas de forma rápida, esse aquecimento global pode causar catástrofes climáticas, desestabilização nos períodos de chuvas e secas, aumento no nível do mar, prejuízo na agricultura, riscos ao ecossistema e à biodiversidade, colocando em risco a segurança alimentar e produzindo o avanço da pobreza. Para mudar esse cenário, o IPCC sugere, por exemplo, a alteração das fontes de energia, desenvolvimento da tecnologia quanto à remoção de dióxido de carbono, mudanças no sistema produtivo, redução do desmatamento e aumento do reflorestamento e, ainda, a diminuição do desperdício de resíduos orgânicos.

A redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) é uma das estratégias de mitigação que devem ser adotadas de forma a permitir que, sem comprometer a qualidade de vida, o inevitável aumento da temperatura do planeta seja o menor possível.

A emissão do metano, decorrente da decomposição dos resíduos sólidos urbanos, é uma das grandes responsáveis pelo aquecimento global, uma vez que esse gás contribui 25 vezes mais do que o carbônico. Por isso, a estratégia de readequar a destinação final desses materiais, substituindo os atuais e ilegais lixões pelos aterros sanitários, deve ser analisada, também, sob a perspectiva de sua contribuição para a mitigação das mudanças climáticas, sem

⁵ INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2001: The Scientific Basis-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Third Assessment Report. Cambridge Univ. Press. 2001. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf> Acesso em: 13 de março de 2021.

⁶ INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1,5 °C*. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf>. Acesso em: 13 de março de 2021.

contar inúmeras outras vantagens, tais como redução de riscos à saúde, redução da poluição do solo, subsolo e águas subterrâneas, dentre outros.

O Ministério Público tem por missão constitucional (art. 129, III) a proteção ambiental e, historicamente, vem atuando na busca do fim dos lixões. Em todo o território nacional, abundam exemplos do desempenho de integrantes dessa instituição no sentido de, por meio da aplicação da legislação, implementar iniciativas para a melhoria da gestão de resíduos sólidos. Em especial, através da introdução de aterros sanitários.

Neste trabalho, busca-se apresentar brevemente a regulamentação dos resíduos sólidos, com foco especial na destinação e disposição final adequada, e a de mudanças climáticas, nos âmbitos nacional e internacional, mas também narrar a experiência Sul-Mato-Grossense do projeto Resíduos Sólidos – Disposição Legal. Em comunhão de esforços entre o Ministério Público Estadual, o Tribunal de Contas e o Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL), foi possível, em cinco anos, reduzir de 80% para 20% o número de municípios com lixões ilegais.

Partindo-se dessa experiência, será realizada uma revisão das metodologias de emissão de GEE por lixões em comparação com aterros sanitários, bem como da emissão em razão do transbordo dos resíduos para outras localidades. Em vários municípios – seguindo-se as diretrizes da Lei de Resíduos Sólidos (Lei Federal n. 12.305/10), que prega as soluções consorciadas ou compartilhadas (art. 11, parágrafo único) –, a solução foi a adoção de aterros maiores que atendessem a várias cidades.

Com isso, procura-se demonstrar como a atuação do Ministério Público Estadual na finalização dos lixões do Estado tem contribuído para que o Brasil atinja suas metas de redução de emissão de gases de efeito estufa.

2. Regulamentação sobre resíduos sólidos no Brasil e no Mato Grosso do Sul – destinação e disposição final adequada

O principal instrumento normativo brasileiro que trata de resíduos sólidos é a Lei Federal nº 12.305/10, que instituiu a *Política Nacional de Resíduos Sólidos* e traz inúmeros conceitos importantes. Para os objetivos deste artigo, os principais são (art. 3º):

a) resíduos sólidos – material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

b) rejeitos – resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

c) destinação final adequada – destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

d) disposição final adequada – distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Resumindo, os “resíduos sólidos” são os materiais descartados decorrentes das atividades humanas e devem possuir uma “destinação” adequada, que será a reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação ou aproveitamento energético. Os “rejeitos”, por sua vez, são os resíduos sólidos que não são passíveis de tratamento ou recuperação, por isso deverão ter uma “disposição adequada” em aterros sanitários.

Nota-se que, conforme aponta Lemos (2014),⁷ essa conceituação é dinâmica, uma vez que, com novas tecnologias disponíveis, algo que atualmente é considerado rejeito, por não ser reciclável ou ter tratamento, pode passar futuramente a ser considerado resíduo. Além disso, há que se observar que a Lei nº 12.305/2010 estabeleceu uma ordem de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

⁷ LEMOS, Patrícia Faga Iglesias. Resíduos sólidos e responsabilidade civil pós-consumo. Revista dos Tribunais, [S. I.], p. 101, 1 jan. 2014.

Nos termos da lição de Serra, essa ordem “não possui caráter meramente programático ou de exequibilidade voluntária. Não se trata, pois, de uma legislação placebo, mas de uma exigência legal que demanda efetiva implementação”⁸.

Desses conceitos, já se pode verificar que a remessa de resíduos sólidos – aqueles que podem ser reciclados, compostados, tratados ou aproveitados – a aterros sanitários é completamente incoerente com a Política Nacional. Portanto, é obrigação do Poder Público a implementação da coleta seletiva, assim entendida como a “coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição”.

Se a destinação de materiais passíveis de aproveitamento é ilegal, por contrariar a obrigação de destinação final ambientalmente adequada, muito mais o é remeter resíduos ou rejeitos aos milhares de lixões existentes ainda no Brasil. Segundo levantamento da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), existem no Brasil mais de 3 mil lixões ilegais⁹. Esse cenário contraria frontalmente a Lei de Resíduos, que proíbe expressamente a disposição de resíduos a céu aberto. Confira-se:

Art. 47. São proibidas as seguintes formas de destinação ou disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos:

(...)

II - Lançamento **in natura** a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração;

(...)¹⁰

Por oportuno, registra-se que, além de tudo, a presença desses lixões é considerada crime ambiental de poluição qualificada, com pena de reclusão de um a cinco anos, nos termos do artigo 54 da Lei de Crimes Ambientais (Lei Federal

⁸ SERRA, Tatiana Barreto. Política de resíduos sólidos: gestão econômica, responsável e ambientalmente adequada. 1. ed. São Paulo: Editora Verbatim, 2015. p. 148.

⁹ BRASIL. Tribunal de Contas da União. *Brasil tem quase 3 mil lixões em 1.600 cidades, diz relatório*. TCU Sustentável / Adgedam, 2018. Disponível em: <[https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A81881F6621B535016630E3A8E85773#:~:text=O%20Brasil%20tem%20quase%203,e%20Res%C3%ADduos%20Especiais%20\(Abrelpe\).&text=Segundo%20os%20dados%20da%20Abrelpe,s%C3%B3%2059%25%20usam%20aterros%20adequados](https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A81881F6621B535016630E3A8E85773#:~:text=O%20Brasil%20tem%20quase%203,e%20Res%C3%ADduos%20Especiais%20(Abrelpe).&text=Segundo%20os%20dados%20da%20Abrelpe,s%C3%B3%2059%25%20usam%20aterros%20adequados)>. Acesso em: 13 de março de 2021.

¹⁰ BRASIL. Lei 12305/10 | Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 13 de março de 2021.

n. 6.605/98). Esta estabelece ser crime causar poluição de qualquer natureza em níveis que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora, qualificando-se a conduta quando ocorrer por lançamento de resíduos sólidos em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos.

Nesse sentido, o Tribunal de Justiça de Minas Gerais condenou ex-prefeito municipal que instalou depósito de lixo urbano em local inapropriado, entendendo que, “havendo prejuízo para o ciclo vital humano e animal, aperfeiçoado está o tipo penal prescrito no artigo 54 da Lei n. 9.605/98¹¹, sendo a condenação de rigor”.

No território de Mato Grosso do Sul, a presença de lixões é vedada pelo menos desde 1992. Além disso, na Lei Estadual nº 1.293/92 (*Código Sanitário*)¹², o artigo 77 proíbe a deposição a céu aberto e o artigo 80 determina que o “solo poderá ser utilizado para destino final do lixo ou resíduo sólido, desde que sua disposição seja feita por meio de aterros sanitários, ou outras técnicas, desde que aprovadas pelos órgãos de Saúde e de Meio Ambiente”. Nesses termos, sob qualquer ótica, verifica-se a ilegalidade total da conduta ainda comum no Brasil e também em parte do Mato Grosso do Sul: da disposição dos resíduos ou rejeitos a céu aberto em lixões.

3. Breves Considerações sobre a legislação de mudança climática - as INDCs do Brasil e a questão das emissões decorrentes do tratamento de resíduos sólidos

A grande preocupação com o problema global das mudanças climáticas levou a comunidade internacional a discutir e buscar soluções, além de adotar medidas, para enfrentar o problema. Assim, surgiu como instrumento global a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQMC, 1992), que adotou os seguintes princípios:

¹¹ BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. [S. l.], 26 jan. 2021. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm> Acesso em: 10 de março de 2021.

¹² MATO GROSSO DO SUL. LEI nº 1293, de 21 de setembro de 1992. Dispõe sobre o Código Sanitário do Estado de Mato Grosso do Sul, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.campogrande.ms.gov.br/semadur/downloads/lei-mun-129392-codigo-sanitario-ms/>>. Acesso em: 13 de março de 2021.

- (a) a proteção do sistema climático deve ser realizada em benefício das presentes e futuras gerações, com base na equidade intra e intergeracional;
- (b) a responsabilidade histórica pelas emissões e a capacidade de enfrentar os efeitos adversos do aquecimento global impõem responsabilidades comuns, porém diferenciadas;
- (c) medidas de precaução devem ser adotadas para que se possa prever, evitar ou minimizar as causas da mudança do clima e mitigar seus efeitos negativos, independentemente de plena certeza científica;
- (d) é garantido a todas as partes o direito ao desenvolvimento sustentável e o dever de promovê-lo, adequando-se as políticas e medidas internas às condições específicas de cada país;
- (d) há necessidade de cooperação internacional, de modo a promover um sistema econômico internacional que conduza ao crescimento e ao desenvolvimento econômico sustentáveis de todas as partes, em especial dos países em desenvolvimento.

A CQMC adotou, em seu artigo 4º, obrigações divididas em duas formas: a) a todas as partes (a.1) elaborar inventários nacionais de emissões de gases de efeito estufa e (a.2) implementar programas nacionais com medidas a mitigar a mudança do clima e adaptar a ela; b) aos países desenvolvidos (b.1) reduzir as emissões de GEE até 2000 a níveis de 1990 e (b.2) transferir recursos tecnológicos e financeiros aos países em desenvolvimento.¹³

A CQMC tem a possibilidade de gerar os chamados “instrumentos conexos” e, efetivamente, gerou dois principais: o *Protocolo de Kyoto* (1997) e o *Acordo de Paris* (2015).¹⁴ Para fins deste artigo, o instrumento que tem mais central é o Acordo de Paris, que se diferencia do de Kyoto principalmente porque impõe obrigações a todos os países. Estas são descritas através das INDCs – Contribuições Nacionais Determinadas Pretendidas ou, em inglês *Intended Nationally Determined Contributions*.

Além de outras iniciativas ligadas às mudanças climáticas, como sumidouros e medidas de adaptação, as INDCs são os compromissos, dentro do

¹³ PASSOS, Luciana Coutinho. O regime jurídico das mudanças climáticas. In PASSOS, Luciana Coutinho; LOUBET, Luciano Furtado; FERRETTI, André Rocha; LAMEIRA, Vinícius. Atuação do Ministério Público frente às mudanças Climáticas. s. l., 2018, p. 19. Disponível em: <<https://www.abrampa.org.br/abrampa/uploads/files/conteudo/248.pdf>>. Acesso em: 12 de março de 2021.

¹⁴ Ibidem.

Acordo de Paris, que os países apresentam como intenções para redução das emissões dos GEE dentro da sua realidade. No caso do Brasil, as metas globais apresentadas são, levando-se em conta os níveis existentes no ano de 2005, a redução de 37% (até 2025) e 43% (até 2030).¹⁵

Em âmbito nacional, o instrumento normativo de maior abrangência sobre o tema é a Lei Federal nº 12.187/2009 (*Política Nacional sobre Mudanças do Clima - PNMC*)¹⁶, que traz conceitos importantes como mitigação – mudanças e substituições tecnológicas que reduzam o uso de recursos e as emissões por unidade de produção, bem como a implementação de medidas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa e aumentem os sumidouros –, adaptação – iniciativas e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima –, dentre outros.

Por outro lado, a PNMC propõe, entre outros objetivos, a redução das emissões humanas de gases de efeito estufa em relação às suas diferentes fontes,¹⁷ mas também toma, dentre outras diretrizes, os compromissos assumidos pelo Brasil na Convenção-Quadro,¹⁸ inclusive com ações de mitigação.¹⁹ Além disto, estabelece como instrumento as “medidas existentes, ou a serem criadas, que estimulem o desenvolvimento de processos (...) que contribuam para a redução de emissões”²⁰.

Nesse contexto, há que se verificar, na questão do tratamento de resíduos sólidos, se a redução da emissão de GEE pode ser contabilizada para fins de cumprimento da legislação nacional e dos acordos internacionais. No cenário jurídico nacional, pelos dispositivos acima citados, não restam dúvidas de que tais reduções de emissões seguem a linha desenhada pela Lei Federal nº 12.187/09. Já dentro dos compromissos internacionais, as INDCs brasileiras relativas ao *Acordo de Paris* previram ações focadas em aumento da bioenergia,

¹⁵ BRASIL. REPÚBLICA FEDERATIVA. *Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/mre/pt-br/arquivos/documentos/clima/brasil-indc-portugues.pdf>> Acesso em: 12 de março de 2021.

¹⁶ BRASIL. Lei nº 12.187/2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm>. Acesso em: 12 de março de 2021.

¹⁷ *Ibidem*, art. 4º, I.

¹⁸ *Ibidem*, art. 5º, I.

¹⁹ *Ibidem*, art. 5º, II.

²⁰ *Ibidem*, art. 6º, XII.

no setor florestal, e em mudança de uso da terra, nos setores agrícola, industrial, de energia e de transportes.

Contudo, no entendimento dos autores, nada impede que outras medidas adicionais de redução de emissão de gases possam também ser contabilizadas, até porque afirma-se que “todas as políticas, medidas e ações para implementar as INDCs do Brasil são conduzidas no âmbito da Política Nacional sobre Mudanças do Clima”, e tal dispositivo legal determina que se considera mitigação qualquer “implementação de medidas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa e aumentem os sumidouros”²¹. Dessa forma, seria contrário ao princípio da razoabilidade que somente as reduções decorrentes das INDCs fossem expressamente mencionadas.

Assim, é possível entender que as iniciativas referidas nas INDCs do Brasil são um rol exemplificativo, ou seja, outras podem e devem ser adicionadas. Essa prática já vem sendo adotada, inclusive, na questão dos resíduos sólidos, com fundamento no Decreto Federal nº 9.578/2018, que prevê expressamente o tratamento de resíduos como um dos fatores a serem levados nas projeções de emissão de GEE.²²

Dessa forma, não restam dúvidas de que quaisquer reduções de emissão de GEE decorrentes do tratamento de resíduos sólidos – além de contribuírem materialmente para a mitigação do problema a níveis globais – servirão, formalmente, dentro dos quadros jurídicos nacional e internacional. Isto é, como demonstração de que o Brasil está seguindo as disposições legais oriundas da regulamentação jurídica de mudanças climáticas.

4. Atuação do Ministério Público de Mato Grosso do Sul na extinção dos lixões

Anteriormente, procuramos fixar as premissas gerais de como a legislação regulamenta a destinação e disposição final dos resíduos e rejeitos, bem como o fato de ser flagrantemente ilegal a situações dos lixões. Ao mesmo tempo,

²¹ Ibidem, art. 2º, VIII.

²² BRASIL. Decreto Federal nº 9.578/2018. Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo federal que dispõem sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, e a Política Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Art. 18, IV. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Decreto/D9578.htm>. Acesso em: 13 de março de 2021.

demonstramos como se comportam as balizas jurídicas internacionais e nacionais no âmbito de mudanças climáticas. Diante disso, passaremos, resumidamente, a apresentar a atuação histórica do Ministério Público de Mato Grosso do Sul na luta para extinção dos lixões, assim como seus resultados alcançados.

O presente item é um resumo do artigo “Projeto Resíduos Sólidos: disposição legal – a atuação articulada do Ministério Público Estadual, Tribunal de Contas e o Instituto do Meio Ambiente na busca pela extinção dos lixões em Mato Grosso do Sul”, que foi publicado em 2017 na revista do Conselho Nacional do Ministério Público e abordou excelentes experiências na temática da sustentabilidade.²³

A atuação do MPMS na temática da extinção dos lixões é histórica e data de mais de 30 anos. Como exemplo, é possível citar a Ação Civil Pública distribuída no ano de 1990 (1990.00076820), quando buscou-se extinguir o lixão “lagoa da cratera”, em Campo Grande (MS), e determinou-se a recuperação da área ao município. Outras inúmeras ações foram ajuizadas na década de 1990, em vários municípios, visando à implementação de aterros sanitários, bem como foram feitos muitos Termos de Ajustamento de Conduta. Em levantamento do ano de 2015, 90% dos municípios do estado contavam com alguma ação judicial ou procedimento extrajudicial (Inquéritos Cíveis, Procedimentos Administrativos, etc.) para tratar do tema.

Contudo, mesmo com todas essas iniciativas, o mencionado levantamento apontou que 80% dos municípios contavam com lixões ilegais, razão pela qual, em união de esforços entre o MPMS, o Tribunal de Contas e o órgão ambiental estadual (IMASUL), criou-se o Programa Resíduos Sólidos: Disposição Legal. Ao reunir essas instituições e os municípios, o projeto elaborou diagnósticos e analisou os custos com os serviços ligados ao tema, levantando a situação jurídica de cada localidade. A partir daí, empreendeu a realização de acordos coletivos (por região) e individuais (por municipalidade), para a implementação da *Política Nacional de Resíduos Sólidos*.

Com base no pressuposto de que o custo dos aterros sanitários individuais é muito elevado – o tratamento de 10 toneladas é praticamente o mesmo em

²³ LOUBET, Luciano Furtado; BERNARDES, Fernando Silva; BARROS, Eliane C.D. Ribeiro de. Projeto resíduos sólidos: disposição legal – a atuação articulada do Ministério Público Estadual, Tribunal de Contas e o Instituto do Meio Ambiente na busca pela extinção dos lixões em Mato Grosso do Sul. Revista *Ministério Público e sustentabilidade – o direito das presentes e futuras gerações*. Comissão Temporária do Meio Ambiente (org.), s. l., 2017, p. 166-193. Disponível em: <https://www.cnpm.mp.br/portal/images/Publicacoes/documentos/2017/Publicacao_CTMA_final.pdf>. Acesso em: 13 de março de 2021.

relação ao de 100 – e de que os maiores gastos de um aterro sanitário, diluídos em um horizonte de 20 anos, não são os de sua construção, mas sim de sua operação²⁴, optou-se por soluções consorciadas ou compartilhadas, na esteira do que é previsto na Lei Federal n. 12.305/2010.²⁵ Nesse mesmo sentido, Paulo Nascimento Neto aponta que “são incontestáveis os ganhos de escala potencializados pelo compartilhamento de instalações, onde se comprova que os custos per capita dos investimentos para a instalação de Aterros Sanitários são inversamente proporcionais à quantidade de habitantes atendidos”²⁶.

A situação do Estado em relação à disposição dos resíduos sólidos nos 79 municípios de Mato Grosso do Sul, antes da atuação do Ministério Público, era a seguinte:

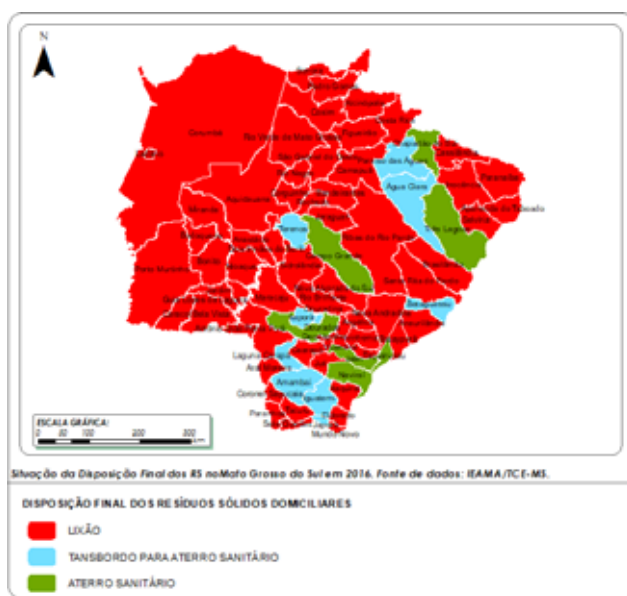


Figura 1. Situação da disposição dos resíduos sólidos antes da ação do Ministério Público. Fonte: Autores (2021).

²⁴ MATO GROSSO DO SUL. Tribunal de Contas. Indicadores de resíduos sólidos nos municípios de MS. Campo Grande: TCE-MS / ESCOEX, 2016. 168p. Disponível em: <http://www.escoex.ms.gov.br/escoex/Arquivos/Publicacoes/residuos_solidos_2016_st5.pdf>. Acesso em: 11 de março de 2021.

²⁵ BRASIL. Lei nº 12.305/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Art. 11, parágrafo único. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 13 de março de 2021.

²⁶ NETO, Paulo Nascimento. Resíduos sólidos urbanos: perspectivas de gestão intermunicipal em regiões metropolitanas. São Paulo, SP: Atlas S.A., 2013, 224 p.

Em cinco anos, a situação no estado mudou e tornou-se a seguinte:

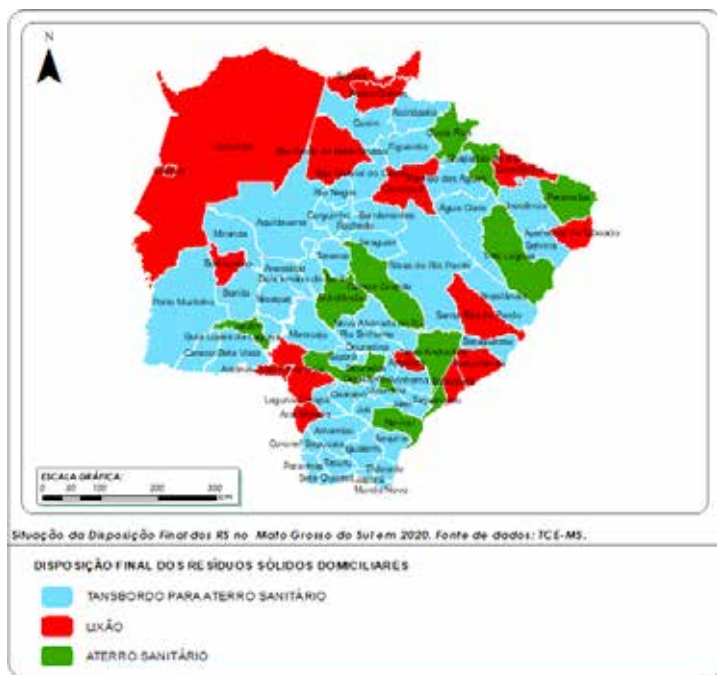


Figura 2. Situação da disposição dos Resíduos Sólidos após ação do Ministério Público. Fonte: Autores (2021).

Verifica-se, assim, que a atuação do programa contribuiu sensivelmente para a melhoria da situação da disposição final adequada nos 79 municípios de Mato Grosso do Sul, uma vez que, em cinco anos, houve uma redução de 63 (80%) para 16 (20%) municípios com lixões ilegais.

5. Revisão das metodologias de emissão de gases de efeito estufa por lixões e aterros sanitários

A emissão de gases do efeito estufa (GEE) por tratamento de resíduos, sejam líquidos ou sólidos, está dividida em três subsetores: disposição, tratamento de efluentes (domésticos e industriais) e incineração. No Brasil de 2016, esse setor era responsável por 5% das emissões. No mesmo ano, o aumento da liberação de CO₂ foi de 1,5% em relação ao crescimento populacional do país e à diminuição das emissões do metano recuperado em aterros sanitários. Como resultado, houve uma redução de 8,9% do total de

emissões deste último gás, o que representa 50% das liberações na disposição de resíduos sólidos.²⁷

O método utilizado foi desenvolvido tendo como objeto de estudo os lixões e aterros sanitários localizados no Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. Segundo dados do IBGE, o MS possui 357.145,534 km², população estimada de 2.809.394 habitantes, distribuídos em 79 municípios. Após ação do Ministério Público, 45 destes, ou seja, 56,96%, passaram a fazer a disposição adequada dos resíduos sólidos.

Foi realizado um levantamento bibliográfico referente aos métodos e modelos matemáticos de potencial de geração de biogás em lixões e aterros sanitários já existentes. Com isso, identificou-se que os mais aceitos na literatura são os propostos pelo Banco Mundial, IPCC e USEPA.²⁸ Esses modelos utilizam como parâmetros de entradas:

- Massa de resíduos que ingressa ao aterro anualmente;
- Tempo de atividade do aterro e/ou após o fechamento;
- Taxa de geração de metano (k);
- Potencial de geração de metano (L_0).

$k = [0,03 \quad 0,20]$ (ano⁻¹) – é determinada de acordo com a umidade e tipo do resíduo, disponibilidade de nutrientes para o processo anaeróbico, pH e temperatura. O valor do limite inferior 0,03 é aplicado na decomposição mais lenta (23 anos), que ocorre em materiais secos como madeira e papel. O valor do limite superior 0,2, por sua vez, é aplicado na decomposição mais rápida (3 anos), que ocorre em materiais ricos em matéria orgânica como restos de alimentos.²⁹

²⁷ BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Secretaria de Políticas para a Formação e Ações Estratégicas. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil /* Coordenação-Geral do Clima. -- 5. ed. – Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019. Disponível em: <https://issuu.com/mctic/docs/livro_estimativas_anuais_de_emissoes_de_gases_de_e>. Acesso em: 13 de março de 2021.

²⁸ MONTEIRO, Nayra Nalessa de Campos; COSTA, Aniely Rodrigues; MATTOZO, Danielle Karine Aguiar; SILVA, Dempsey Threyce Alves de Arruda e. I-005 – Estudo do aproveitamento energético do biogás gerado no lixão de Cuiabá-MT. In *13º Seminário Nacional de Resíduos Sólidos*, [S. l.], 2018. Anais [...], p. 1-7. Disponível em: <<http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento41/TrabalhosCompletosPDF/I-005.pdf>>. Acesso em: 14 de março de 2021.

²⁹ SILVA, Fabiana Morais da. *Biogás de Lixo no Aterro Sanitário de Gramacho /* Fabiana Morais da Silva. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015.

$L_0 = [5 \text{ a } 310] \text{ (m}^3\text{/t)}$ – a constante que determina a quantidade de metros cúbicos de metano por tonelada de resíduo varia com o tipo de resíduo, sendo maior tanto quanto maior for a taxa de matéria orgânica presente.³⁰

5.1 Modelo utilizado pelo Banco Mundial

O modelo utilizado pelo Banco Mundial³¹, *Scholl Canyon*, é um modelo cinético de primeira ordem. Parte-se da premissa de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro por unidade de tempo. O modelo também faz a previsão da produção de gases em um período de tempo como uma função dos parâmetros k e L_0 , além dos registros históricos de despejo de resíduos e das projeções de despejos futuros no aterro.³²

$$Q_{CH_4} = k * L_0 * M_i * e^{-k*t} \text{ Eq. 1}$$

Sendo:

Q_{CH_4} = metano produzido no ano i a partir da seção i do resíduo ($\text{m}^3\text{/ano}$);

k = constante da geração de metano (ano^{-1});

L_0 = potencial da geração de metano ($\text{m}^3\text{/t}$);

M_i = massa de resíduo despejada no ano i (t/ano);

t = tempo (anos).

As principais vantagens desse método são as de ser aceito nas Américas do Norte e do Sul, bem como de ser utilizado para análises feitas por instituições financeiras interessadas em apoiar projetos em aterros na América do Norte, Latina e Caribe. Também é fácil a obtenção de dados para o seu cálculo.³³ Suas desvantagens estão na menor conservação em relação aos tipos de resíduos

³⁰ Ibidem.

³¹ CONESTOGA-ROVERS & ASSOCIATES. 2004. *Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean*. Energy Sector Management Assistance Programme paper series. World Bank: Washington, DC. 236 p. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/18081/332640handbook.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 de março de 2021.

³² Ibidem.

³³ PEDOTT, Juliana González Justí; AGUIAR, A. O biogás em aterros sanitários: comparando a geração estimada com a quantidade verificada em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. *Holos*, v. 4, p. 195-211, 2014. <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1715>>. Acesso em: 12 de março de 2021.

depositados, na não representação adequada dos sistemas ativos e na desconsideração das incertezas paramétricas.³⁴

5.2 Modelos utilizados pelo IPCC

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)³⁵, grupo internacional de especialistas do clima, descreve dois métodos para estimar as emissões de metano procedentes de aterros: o método simplificado e o de decomposição de primeira ordem. O método simplificado parte da premissa de que todo metano potencial é liberado durante o primeiro ano de sua disposição final.

$$CH_4\left(\frac{t}{ano}\right) = (RSU_T * RSU_f * L_o - R(t)) * (1 - OX)Eq. 2$$

O método de decomposição de primeira ordem, por sua vez, considera o tempo transcorrido de emissões e se aproxima melhor do processo de degradação dos resíduos no tempo.

$$CH_{4Gerado}\left(\frac{t}{ano}\right) = \sum [A * k * RSU_T(x) * RSU_f(x) * L_o(x) * e^{-k(t-x)}]Eq. 3$$

$$CH_{4Emitido}\left(\frac{t}{ano}\right) = [CH_{4Gerado} - R(t)] * (1 - OX)Eq. 4$$

Sendo:

t = ano de realização do inventário;

x = ano de contribuição (desde início de atividade até t);

$A = \frac{1-e^{-k}}{k}$ fator de normalização para corrigir a soma;

k = constante de geração, ano⁻¹;

$RSU_T(x)$ = total de RSU gerados no ano x, t/ano;

³⁴ Ibidem.

³⁵ INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Waste. Vol. 5. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa K., Ngara, T., and Tanabe, K. (eds). Published: IGES, Japan. 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_0_Cover.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2021.

$RSU_f(x)$ = fração de RSU depositada no aterro no ano x;

$RSU_T(x) \times RSU_f(x)$ = massa de resíduos despejada no ano x, t/ano;

L_o = potencial de geração de metano (t CH_4 /t RSU).

$$L_o = FCM(x) * COD \frac{(x) * COD_F * F * 16}{12} Eq. 5$$

$R(t)$ = quantidade de metano recuperada no ano t;

OX = fator de oxidação (fração);

K = 0,05 (se não estiver caracterizado);

$FCM(x)$ = fator de correção do metano no ano x;

$COD(x)$ = fração de carbono orgânico degradável no ano x (t C/t RSU);

COD_F = fração do carbono orgânico degradável assimilado;

F = fração de metano no gás do aterro, na ausência de dados F = 0,5;

$\frac{16}{12}$ = conversão de carbono para metano.

Este modelo é mais difícil de ser utilizado, pois necessita de dados mais detalhados. Porém, é bem aceito por organismos internacionais no cálculo dos inventários de GEE. Apesar de ser conservador em relação aos tipos de resíduos depositados, atende todos os tipos de disposição (altura do talude). Entre as suas principais desvantagens, estão a não aplicação a sistemas encerrados, a desconsideração de fatores climáticos e as incertezas, que variam de 20% a 50%, nos parâmetros utilizados.³⁶

5.3 Modelo utilizado pelo USEPA

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) propõe dois modelos matemáticos para o cálculo dos volumes de gases produzidos, sendo um para sistemas de disposições de resíduos sólidos sem controle (lixões) e outro para destinação com sistema de disposição controlada (aterros sanitários).³⁷

³⁶ PEDOTT; AGUIAR. op. cit.

³⁷ BORBA, S. M. *Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudos de caso Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2006.

O método para os sistemas de disposição sem controle é, basicamente, uma equação cinética de primeira ordem, a qual pode ser utilizada para calcular as emissões de metano. Ele foi publicado pela USEPA³⁸ no *Emission factor documentation for AP-42 section 2.4. Municipal Solid Waste Landfills* e se baseia no *Land-Gem: Landfill Gas Emission Model*, também publicado pela agência.

$$Q_{CH_4} = L_o * R * (e^{-k*c} - e^{-k*t}) \text{ Eq. 6}$$

Sendo:

Q_{CH_4} = metano gerado no ano t, (m³/ano);

L_o = potencial de geração de metano por tonelada de resíduo depositado, (m³CH₄ / t resíduo);

R = média anual de entrada de lixo no lixão ou vazadouro, (t/ano);

k = taxa de geração de metano, (ano⁻¹);

c = anos desde o fechamento, c = 0 para os ativos, (ano);

t = anos desde o início da atividade, (ano).

Para situações nas quais os dados e medições de lançamento atmosférico dos gases são inexistentes, utiliza-se os coeficientes k e L_o , definidos pela USEPA, que são apresentados na Tabela 1. Basicamente, são dois conjuntos de parâmetros para regiões com pluviometrias diferentes: um para regiões áreas (precipitação anual < 635mm) e outro para regiões convencionais (precipitação anual > 635mm).

Tabela 1. Valores de k e L_o propostos pela USEPA

Pluviometria Anual	Áridas	Convencionais
k	0,04	0,02
	100m ³ /t	100m ³ /t

Fonte: USEPA, 2005.

³⁸ UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide. [S. l.], p. 01-48, maio, 2005. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttnecat1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>>. Acesso em: 10 de março de 2021.

Caso a entrada média anual de resíduos não seja conhecida, é possível estimar tal valor a partir Equação 7 e Equação 8.

$$R = \frac{\text{Capacidade do vazadouro}}{n^{\circ} \text{ anos em funcionamento}} \text{ Eq. 7}$$

$$\text{Capacidade} = \text{Área do vazadouro} * \text{Altura da pilha} * \text{Densidade do resíduo} \text{ Eq. 8}$$

Nos casos em que não se sabe a densidade dos resíduos, é possível utilizar a densidade estimada, conforme mostrado na Tabela 2:

Tabela 2. Estimação da densidade do lixo depositado

Tipo de Compactação	Densidade (kg/m³)
Lixo Compactado	635-831 (média 742)
Lixo Degradado Compactado	1.0091.127(média 1.068)
Sem Dados	688

Fonte: Borba, 2006.

Assumindo que, por serem os principais, o metano e o dióxido de carbono são os únicos gases emitidos devido à degradação de resíduos sólidos, se for conhecido o percentual de cada um na emissão, utilizando-se a Equação 9, será possível estimar o volume de dióxido de carbono liberado.

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} \times \left(\left(\frac{1}{\left(\frac{(v)CH_4}{100} \right)} \right) - 1 \right) \text{ Eq. 9}$$

O modelo matemático proposto no cálculo dos sistemas de disposição com controle é apresentado na Equação 10 e leva em consideração dois aspectos importantes. Em primeiro lugar, a eficiência do sistema de captação, ou seja, o modelo incorpora o fato de os sistemas não captarem 100% do biogás, afinal parte deste é emitido diretamente na atmosfera. Nos casos em que as eficiências dos sistemas de captação não sejam conhecidas, a USEPA³⁹

³⁹ UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors. [S. l.], p. 2.4-6, Agosto, 1998. Disponível em: <https://gaftp.epa.gov/ap42/ch02/s04/final/c02s04_aug1998.pdf>. Acessado em 13 de março de 2021.

sugere utilizar 75%. Em segundo lugar, deve ser levada em consideração, também, a eficiência do dispositivo de controle ou aproveitamento do gás do aterro. Esta depende do tipo de sistema de controle e/ou dispositivo utilizado. Nas Tabela 3 são apresentados valores típicos dessas eficiências, para diferentes dispositivos de controle.

$$CM_{CH_4} = \left(Q_{CH_4} \times \left(1 - \frac{\eta_{col}}{100} \right) \right) + \left(Q_{CH_4} \times \frac{\eta_{col}}{100} \times \left(1 - \frac{\eta_{cont}}{100} \right) \right) Eq. 10$$

Sendo:

CM_{CH_4} = emissões controladas de metano, (m³/ano);

Q_{CH_4} = emissões não controladas de metano obtidas com a Equação 6, (m³/ano);

η_{col} = eficiência do sistema de captação, (valor sugerido = 75%);

η_{cont} = eficiência do dispositivo de controle, ver Tabela 3.

$$CM_{CO_2} = Q_{CO_2} + \left(\frac{Q_{CH_4} * n_{col}}{100} * 2,75 \right) Eq. 11$$

Sendo:

CM_{CO_2} = emissões controladas de CO₂, (m³/ano);

Q_{CO_2} = emissões não controladas de CO₂ obtidas com a Equação 9, (m³/ano);

η_{col} = eficiência do sistema de captação, 75% (valor sugerido);

2,75 = razão do peso molecular de CO₂ e CH₄.

Tabela 3. Eficiência do sistema de controle (η_{cont})

Dispositivo de controle	Contaminante	η_{cont} (%)	Qualidade do Fator
Queimador	VOC	99,2	B
Motores de Combustão Interna	VOC	97,2	E
Caldeira	VOC	98,0	D
Turbina de Gás	VOC	94,4	E

Fonte: Borba, 2006.

Tabela 4. Códigos de qualidade dos fatores de emissão

Tipo de Fator	Qualidade do Fator
A	EXCELENTE
B	MÉDIO - ALTO
C	MÉDIO - ALTO
D	MÉDIO - BAIXO
E	BAIXO

Fonte: Borba, 2006.

Este modelo requer, como dados de entrada, o histórico de deposição, incluindo quantidade de resíduos depositados e data de abertura do aterro. Prevê o decrescimento exponencial da produção de biogás devido ao consumo da parcela da matéria orgânica presente nos resíduos dessa produção.⁴⁰

5.4 Emissões do transbordo

Tendo em vista que muitos dos municípios do Mato Grosso do Sul que extinguíram seus lixões passaram a fazer o transbordo dos resíduos para outros municípios, em aterros regionais (públicos em consórcio ou privados), impu-nha-se estimar o acréscimo das emissões devido às viagens com finalidade de transbordo, ou seja, emissão feitas pelos caminhões utilizados. Para estimar o volume de CO₂ emitido nesse contexto, foi utilizado o modelo proposto pelo IPCC e aplicado no *Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatórios de Referência*, elaborado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia em 2006⁴¹. Segundo o inventário, o transporte pesado do modo rodoviário utiliza principalmente óleo diesel, portanto as estimativas das emissões de gases restringiram-se às oriundas da combustão desse produto químico.

Para aplicação do cálculo, são necessárias as distâncias percorridas da estação de transbordo até o aterro, o consumo de diesel dos veículos e o fator de emissão.

⁴⁰ SILVA, op. cit.

⁴¹ BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Emissões de Gases de Efeito Estufa por Fontes Móveis, no Setor Energético. Ministério da Ciência e Tecnologia. 2006. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/52.pdf>> Acesso em: 13 de março de 2021.

$$E_t = ConDiesel_t \times FE Eq. 12$$

Sendo:

E_t = A emissão para o ano t ;

$ConDiesel_t$ = Consumo de diesel no transporte rodoviário no ano t ;

FE = Fator de emissão para gás*

*estabelecidos a partir dos limites determinados pelo PROCONVE e do IPCC (1997).

6. Estudo de caso

Durante uma ação do Ministério Público Estadual de Mato Grosso do Sul, vários lixões foram desativados, para que fossem implantados aterros sanitários regionais. Dos 79 municípios do estado, 62 realizavam disposição dos resíduos domiciliares em lixões, 7 em aterros próprios e 10 faziam o transbordo para aterros privados (Figura 1). Após a ação do MP, 45 lixões municipais foram desativados e passaram a destinar os rejeitos para 7 aterros regionais, distribuídos em 6 municípios (Figura 2). Os outros 3 aterros existentes no estado recebem resíduos do próprio município.

Com as implantações dos aterros regionais, os municípios passaram a fazer o transporte dos resíduos sólidos até os aterros sanitários com melhor viabilidade (Figura 3), portanto ocorre uma emissão de CO₂ proveniente da queima de combustível dos caminhões utilizados nos transbordos.

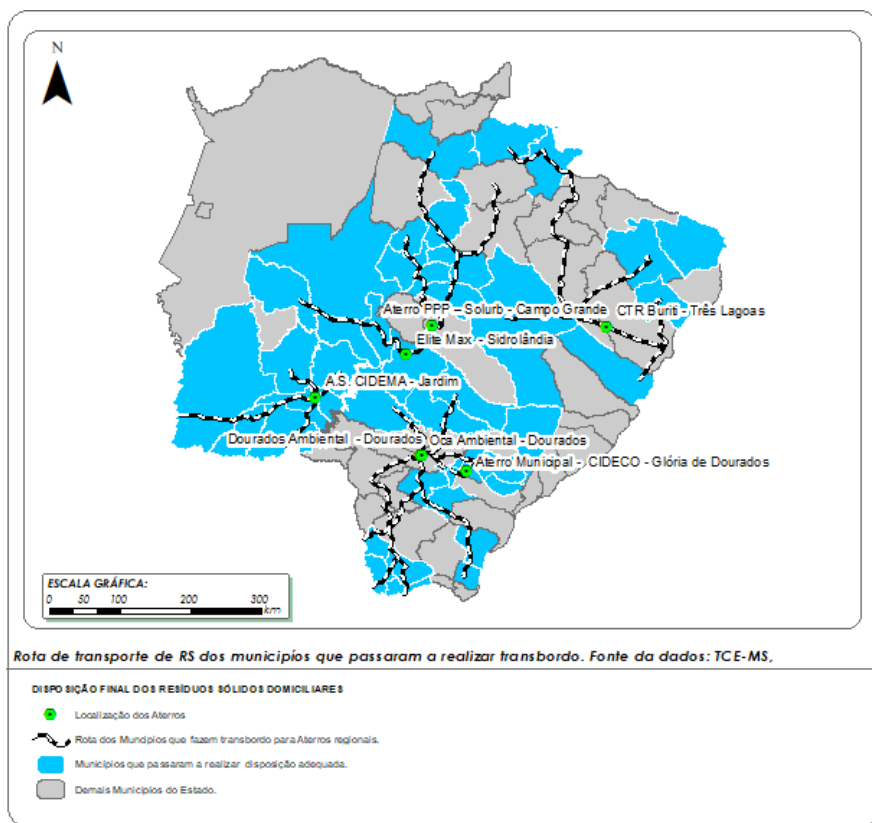


Figura 3. Rota do transporte de resíduos sólidos dos municípios que tiveram lixões desativados após a ação do Ministério Público e passaram a fazer transbordo para aterros regionais. Fonte: Autores (2021).

Após análise desses modelos mais utilizados, buscaram-se dados secundários para a estimativa da geração de resíduos sólidos dos municípios do Mato Grosso do Sul. Tal levantamento foi realizado pelo Ministério Público e apresentado em *Relatório Geral do Estado de Mato Grosso do Sul, Valoração do Dano Ambiental pela não Implementação da Logística Reversa de Embalagens*. Com base nesses dados (Tabela 5), de acordo com a composição dos resíduos gerados em cada município, foi possível calcular a emissão de gases atmosféricos durante o processo de decomposição.

Tabela 5. Quantificação e caracterização dos resíduos sólidos gerados pelos municípios do estado do Mato Grosso do Sul

Tipo de rejeito	Quantificação %
Plástico	16,73
Vidro	2,36
Alumínio	0,62
Aço	0,95
Papel/Papelão	10,90
Orgânico	51,84
Rejeitos	16,60
Total	100,00

Fonte: Relatório Geral do Estado de Mato Grosso do Sul, 2017

Devido aos dados disponíveis para este estudo, optou-se pelo método USE-PA. O primeiro passo foi o levantamento de informações necessárias para realização dos cálculos. Apenas os municípios que passaram a destinar resíduos de forma correta após a ação do MP-MS, e tiveram dados aferidos pelo TCE-MS, foram incluídos na análise. Como não se sabe ao certo o ano de implantação dos lixões municipais, para fins de comparação, foi feita uma simulação de quanto de CO₂ e CH₄ seria emitido se os resíduos tivessem sido depositados tanto em lixão quanto em aterro recém-abertos. Levou-se em consideração, ainda, a data de início da disposição adequada dos resíduos de cada.

Os índices pluviométricos e a taxa de geração de metano são fundamentais para a utilização do método. Portanto, a fim de determinar tais valores, foi feito levantamento das chuvas anuais do municípios sul mato-grossenses. Segundo dados de monitoramento da Agência Nacional de Águas (ANA) disponibilizados no portal HidroWeb,⁴² o acúmulo de chuvas anuais nos municípios do Mato Grosso do Sul em estudo é superior a 635m. Portanto, conforme apresentado na Tabela 1, os valores adotados foram de 0,02 para k e de 100m³/t para L₀. Os que se referem à quantidade de resíduos sólidos gerados por cada município foram estimados e aferidos pelo TCE-MS.

⁴² O portal Hidroweb é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) que oferece acesso ao banco de dados no qual há todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em: 13 de março de 2021.

Com os dados levantados, foi possível estimar o volume de emissão de CO₂ Erro: Origem da referência não encontrada e CH₄ proveniente da decomposição de resíduos sólidos em lixões ou aterros sanitários dos municípios em estudo.

Na sequência, foi realizada a estimativa de emissão de CO₂ com o trasbordo dos resíduos para os aterros sanitários regionais. O fator de emissão utilizado foi o fornecido no *Inventário de Emissões de Fontes Móveis Brasileiro*⁴³, de 2799,0 g CO₂ por litro de diesel. Assim como as distâncias percorridas, o consumo médio dos caminhões, que corresponde a 3,5 km por litro, também foi fornecido pelo TCE-MS.

Comparando-se os valores de emissão de CO₂ dos lixões com os dos aterros sanitários, é possível perceber que a maior emissão ocorre nos aterros. Já a emissão de CH₄ é muito maior nos lixões.

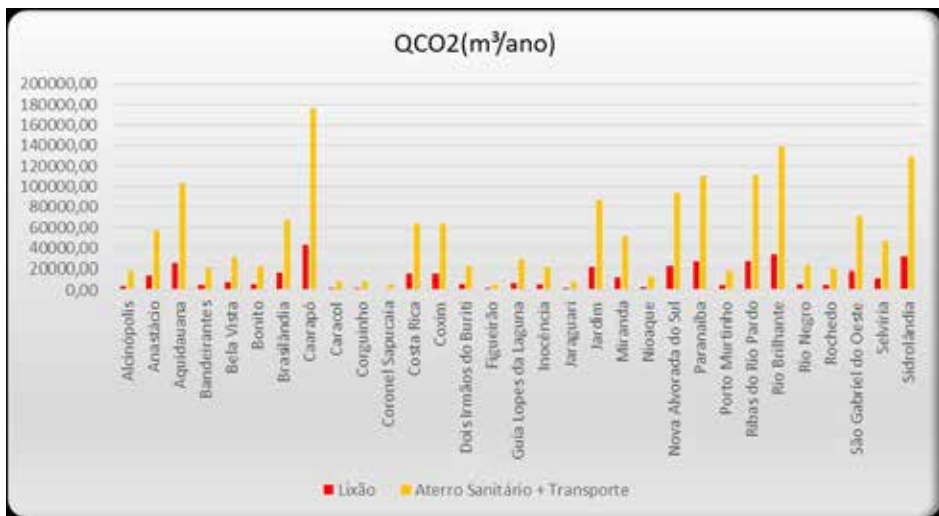


Figura 4. Estimativa de lançamento de CO₂ no processo de decomposição de resíduos sólidos em lixões e aterros sanitários do Estado do Mato Grosso do Sul. Fonte: Autores (2021).

⁴³ BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Emissões de Gases de Efeito Estufa por Fontes Móveis, no Setor Energético. Ministério da Ciência e Tecnologia. 2006. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/52.pdf>> Acesso em: 13 de março de 2021.

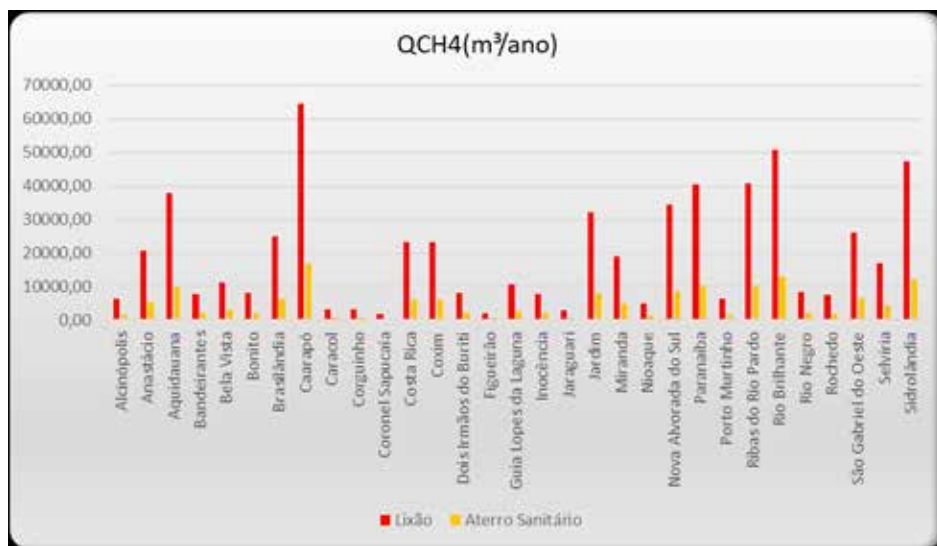


Figura 5. Estimativa de lançamento de CO₂ no processo de decomposição de resíduos sólidos em lixões e aterros sanitários do Estado do Mato Grosso do Sul. Fonte: Autores (2021).

As emissões de CH₄ diminuiram em quase 4 vezes, já o CO₂ aumenta 1,4 vezes. Isso se dá não só pelo transporte dos resíduos, mas principalmente pela queima do CH₄ realizada nos aterros sanitários. É possível observar que o lançamento proveniente do transporte é muito baixo em relação ao lançado via decomposição dos resíduos tanto em lixões quanto em aterros.

Por fim, acumulando-se os ganhos entre a redução de metano e o acréscimo de gás carbônico, temos a seguinte figura, que representa o sucesso do projeto, também, na área das mudanças climáticas:

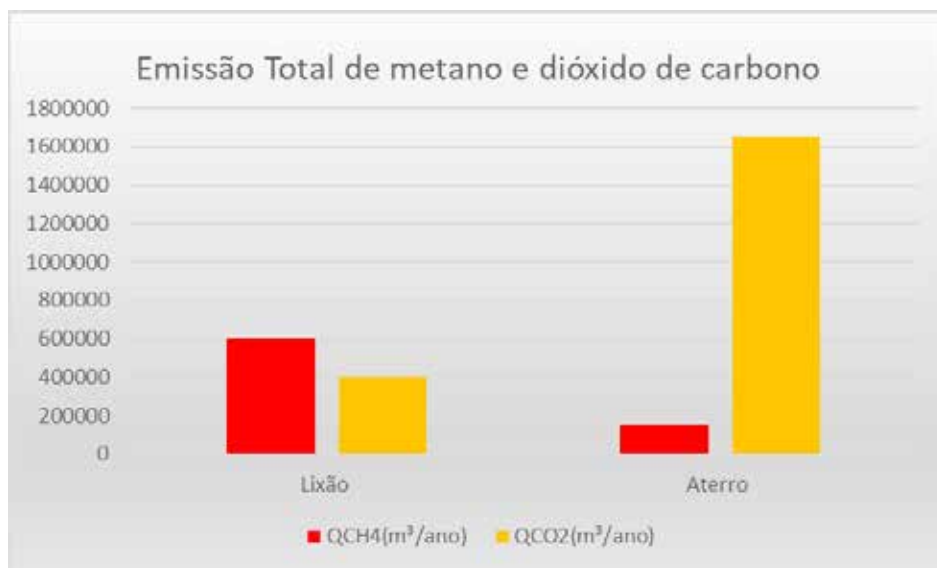


Figura 6. Resultado das simulações de emissões totais de metano e dióxido de carbono nos municípios em estudo. Fonte: Autores, 2021.

Na tentativa de fornecer uma medida simples dos efeitos radioativos relativos às emissões de GEE, o IPCC criou o Potencial de Aquecimento Global (GWP), que permite comparar a capacidade que determinado GEE tem de reter calor na atmosfera em relação a uma quantidade igual de dióxido de CO₂, o qual é chamado “CO₂ equivalente” (CO₂eq).⁴⁴ O CO₂eq é obtido através da multiplicação das toneladas do gás pelo GWP associado. Para o CH₄, o GWP é 25.⁴⁵

Assim, a emissão proveniente de lixões seria de 15.520.386,68 m³ CO₂eq; já por aterros sanitários, 5.543.008,06 m³ CO₂eq. Ou seja, deixaram de ser emitidos aproximadamente 9.977.378,54 m³ CO₂eq.

⁴⁴ FOSTER, P. et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: SOLOMON, S. et al. (Ed.). *Climate Change 2007: the physical science basis*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.

⁴⁵ INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2001: The Scientific Basis-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Third Assessment Report*. Cambridge Univ. Press. 2001.

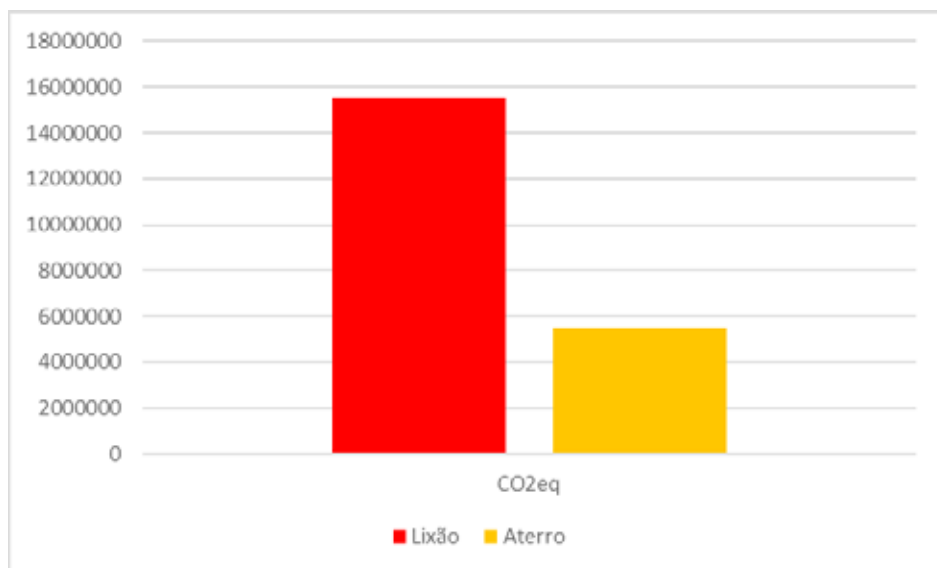


Figura 7. Emissão de dióxido de carbono equivalente. Fonte: Autores.

7. Conclusão

Com a implementação da legislação pelo Ministério Público, em conjunto com o TCE e o IMASUL, conseguiu-se a extinção de 45 lixões ilegais, passando-se de 20% para 80% a quantidade de municípios com disposição de resíduos em aterro. Através das estratégias aplicadas no Programa Resíduos Sólidos: Disposição Legal, portanto, foi possível uma contribuição significativa na redução das emissões de GEE.

Tomando-se as metodologias descritas no estudo de caso apresentado, pode-se afirmar que ocorreu a redução de 74% de emissão de CH₄ e um aumento de 41% do lançamento de CO₂. Porém, mesmo ocorrendo esse último, o processo de transmutação de lixões para aterros sanitários ainda é vantajoso no que tange à poluição atmosférica, uma vez que o metano é 25 vezes mais poluente que o gás carbônico.

Assim, pode-se concluir que, para efeitos de mitigação climática, o ganho decorrente do projeto “Resíduos Sólidos: Disposição Legal”, parceria do Ministério Público, TCE e IMASUL, foi de 71%, o equivalente a uma frota de 1104 caminhões andando 100 km por dia, durante um ano. Ou, ainda, caso comercializado em mercado voluntário de carbono, a soma de R\$ 3.912.770,00 por ano⁴⁶.

⁴⁶ EMBER - Daily EU ETS carbon market price (Euros). Disponível em: <<https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>>. Acesso em: 13 de março de 2021.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORBA, S. M. *Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudos de caso Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.coc.ufrj.br/pt/dissertacoes-de-mestrado/106-msc-pt-2006/2065-silvia-mary-pereira-borba>> Acesso em: 15 de março de 2021.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. [S. l.], 8 ago. 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Lei/l12305.htm> Acesso em: 13 de março de 2021.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. [S. l.], 29 dez. 2009. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm> Acesso em: 13 de março de 2021.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. [S. l.], 26 jan. 2021. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm> Acesso em: 10 de março de 2021.

BRASIL. Lei nº 9.578, de 22 de novembro de 2018. Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo federal que dispõem sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, e a Política Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Ministério Público e Sustentabilidade, [S. l.], 27 jan. 2021. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Decreto/D9578.htm>. Acesso em: 13 de março de 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia. *Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Emissões de Gases de Efeito Estufa por Fontes Móveis, no Setor Energético*. Ministério da Ciência e Tecnologia. 2006. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/52.pdf>> Acesso em: 13 de março de 2021.

BRASIL. REPÚBLICA FEDERATIVA. *Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/mre/pt-br/arquivos/documentos/clima/brasil-indc-portugues.pdf>> Acesso em: 12 de março de 2021.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. *Brasil tem quase 3 mil lixões em 1.600 cidades, diz relatório*. TCU Sustentável / Adgedam, 2018. Disponível em: <<https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A81881F6621B535016630E3A8E85773#:~:text=O%20Brasil%20tem%20quase%203,e%20Res%C3%ADduos%20Espe>>

ciais%20(Abre)lpe).&text=Segundo%20os%20dados%20da%20Abrelpe,s%3%B3%2059%25%20usam%20aterros%20adequados>. Acesso em: 13 de março de 2021.

CONESTOGA-ROVERS & ASSOCIATES. 2004. *Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean*. Energy Sector Management Assistance Programme paper series. World Bank: Washington, DC. 236 p. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/18081/332640handbook.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 de março de 2021.

EMBER. Daily EU ETS carbon market price (Euros). Disponível em: <<https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>>. Acesso em: 13 de março de 2021.

FOSTER, P. et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: SOLOMON, S. et al. (Ed.). *Climate Change 2007: the physical science basis*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2001: The Scientific Basis-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Third Assessment Report*. Cambridge Univ. Press. 2001. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf> Acesso em: Acesso em: 13 de março de 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1,5 °C*. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf>. Acesso em: 13 de março de 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Waste*. Vol. 5. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa K., Ngara, T., and Tanabe, K. (eds). Published: IGES, Japan. 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_0_Cover.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2021.

LEMOS, Patrícia Faga Iglesias. Resíduos sólidos e responsabilidade civil pós-consumo. *Revista dos Tribunais*, [S. l.], p. 101, 1 jan. 2014.

LOUBET, Luciano Furtado; BERNARDES, Fernando Silva; BARROS, Eliane C.D. Ribeiro de. Projeto resíduos sólidos: disposição legal – a atuação articulada do Ministério Público Estadual, Tribunal de Contas e o Instituto do Meio Ambiente na busca pela extinção dos lixões em Mato Grosso do Sul. *Revista Ministério Público e sustentabilidade – o direito das presentes e futuras gerações*. Comissão Temporária do Meio Ambiente (org.), s. l., 2017, p. 166-193. Disponível em: <https://www.cntp.mp.br/portal/images/Publicacoes/documentos/2017/Publicacao_CTMA_final.pdf> Acesso em: 13 de março de 2021.

MONTEIRO, Nayra Nalesa de Campos; COSTA, Aniely Rodrigues; MATTOZO, Danielle Karine Aguiar; SILVA, Dempsey Threyce Alves de Arruda e. I-005 – Estudo do aproveitamento energético do biogás gerado no lixão de Cuiabá-MT. *13º Seminário Nacional de Resíduos Sólidos*. s. l. 2018. Anais [...], p. 1-7. Disponível em: <<http://abes>.

locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento41/TrabalhosCompletosP-DF/I-005.pdf>. Acesso em: 14 de março de 2021.

MATO GROSSO DO SUL. LEI nº 1293, de 21 de setembro de 1992. Dispõe sobre o Código Sanitário do Estado de Mato Grosso do Sul, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.campogrande.ms.gov.br/semadur/downloads/lei-mun-129392-codigo-sanitario-ms/>>. Acesso em: 13 de março de 2021.

MATO GROSSO DO SUL. Ministério Público do Estado; Procuradoria-Geral de Justiça; Deméter Engenharia Ltda Epp. Valoração do dano ambiental pela não implementação da logística reversa de embalagens. *Relatório Geral do Estado de Mato Grosso do Sul*, [S. L.], 2017. Disponível em: <https://www.mpms.mp.br/downloads/relatorio_anual_2017.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2021.

MATO GROSSO DO SUL. Tribunal de Contas. *Indicadores de resíduos sólidos nos municípios de MS*. Campo Grande: TCE-MS / ESCOEX, 2016. 168p. Disponível em: <http://www.escoex.ms.gov.br/escoex/Arquivos/Publicacoes/residuos_solidos_2016_st5.pdf>. Acesso em: 11 de março de 2021.

NETO, Paulo Nascimento. *Resíduos sólidos urbanos: perspectivas de gestão intermunicipal em regiões metropolitanas*. São Paulo, SP: Atlas S.A., 2013. 224 p

PASSOS, Luciana Coutinho; LOUBET, Luciano Furtado; FERRETTI, André Rocha; LA-MEIRA, Vinícius. *Atuação do Ministério Público frente às mudanças Climáticas*. s. l., 2018, p. 19. Disponível em: <<https://www.abrampa.org.br/abrampa/uploads/files/conteudo/248.pdf>>. Acesso em: 12 de março de 2021.

PEDOTT, Juliana Gonzalez Justi; AGUIAR, A. O. Biogás em aterros sanitários: comparando a geração estimada com a quantidade verificada em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. *Holos*, v. 4, p. 195-211, 2014. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1715>>. Acesso em: 12 de março de 2021.

SERRA, Tatiana Barreto. *Política de resíduos sólidos: gestão econômica, responsável e ambientalmente adequada*. 1. ed. São Paulo: Editora Verbatim, 2015. p. 148.

SILVA, Fabiana Morais da. Biogás de Lixo no Aterro Sanitário de Gramacho / Fabiana Morais da Silva. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013773.pdf>>. Acesso em: 14 de março de 2021.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide. [S. l.], p. 01-48, maio, 2005. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttnatc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>>. Acesso em: 10 de março de 2021.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors. [S. l.], p. 2.4-6, Agosto, 1998. Disponível em: <https://gaftp.epa.gov/ap42/ch02/s04/final/c02s04_aug1998.pdf>. Acessado em 13 de março de 2021.