

FIM DOS LIXÕES NAS PEQUENAS CIDADES BRASILEIRAS: PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS, UM ESTUDO DE CASO

Ricardo ALBERTIN¹

Glaucia Rubyane de Sousa SILVA²

Emily Braz PRADO³

RESUMO

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos em lixões é uma prática comum nas pequenas cidades brasileiras, sendo considerado um crime ambiental. Neste contexto, em razão da legislação vigente, foram estabelecidos prazos para desativação das áreas de lixões e recuperação ambiental. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo estudar a área de um lixão desativado no município de Iguaçu-PR, e propor técnicas de recuperação ambiental. Os procedimentos metodológicos compreenderam-se as seguintes etapas: diagnóstico da situação atual com base em visitas *in loco*; elaboração de questionário e entrevistas; avaliação por aerotofogrametria identificando a situação do lixão; consulta a bibliografia sobre recuperação de áreas degradadas; e, por fim, a proposição de medidas de recuperação que podem ser aplicadas aos pequenos municípios. Os resultados demonstraram que para a recuperação de uma área degradada de lixão é necessário a adoção de técnicas de engenharia, compreendendo: retaludamento, cobertura dos resíduos, sistema de drenagem do líquido percolado, drenagem dos gases, drenagem de águas pluviais, reflorestamento, monitoração ambiental e geotécnico. Conclui-se que o plano de recuperação de áreas degradadas dos lixões aplicadas a pequenos municípios é um estudo inicial que visa ser adaptado conforme singularidades locais.

Palavras-chave: Disposição final de resíduos sólidos. Projeto de recuperação de áreas degradadas. Fitorremediação. Contaminação ambiental.

¹ Professor na Universidade Estadual de Maringá (UEM) e da Faculdade de Engenharias e Arquitetura de Maringá (FEITEP).

² Graduada em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharias e Arquitetura de Maringá (FEITEP)

³ Graduanda em Geografia na Universidade Estadual de Maringá (UEM).

END OF LANDFILLS IN SMALL BRAZILIAN CITIES: PROPOSALS FOR RECOVERY OF DEGRADED AREAS, A CASE STUDY

ABSTRACT

The final disposal of urban solid waste in landfills is a common practice in small Brazilian cities, considered an environmental crime. In this context, due to current legislation, deadlines have been established for the closure of landfill areas and environmental recovery. This study aimed to investigate a deactivated landfill area in the municipality of Iguaraçu, Paraná, and propose techniques for environmental recovery. The methodological procedures involved the following steps: diagnosis of the current situation based on on-site visits; preparation of questionnaires and interviews; evaluation through aerial photogrammetry to identify the landfill's condition; consultation of literature on degraded area recovery; and, finally, the proposition of recovery measures applicable to small municipalities. The results demonstrated that the recovery of a degraded landfill area requires the adoption of engineering techniques, including regrading, waste covering, leachate drainage system, gas drainage, stormwater drainage, reforestation, environmental monitoring, and geotechnical monitoring. It is concluded that the plan for recovering degraded landfill areas in small municipalities is an initial study that should be adapted according to local specificities.

Keywords: Final disposal of solid waste. Project for the recovery of degraded areas.

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos gerados em todo o território nacional somam aproximadamente 75 toneladas anualmente, sendo 39% descartados de forma irregular (ABRELPE, 2021). O resíduo quando descartado de forma desordenada, é um dos principais causadores de impacto ambiental, visto que seu descarte a maioria das vezes é feito diretamente no solo, sem nenhum tratamento (ABREU, 2011).

Os principais impactos ambientais gerados pelos lixões, são observados nos meios físico, biológico e socioeconômico, tais como: contaminação do solo e das águas subterrâneas por meio do lixiviado; contaminação do ar, pela queima de resíduos e gases gerados na decomposição; e, na saúde humana, principalmente pela presença de catadores, entre outros (SOUZA, 2018; CAVALCANTE E FRANCO, 2007; KIRCHNER; SAIDELLES; STUMM; 2009).

Devido aos impactos e danos socioambientais gerados pelos lixões a Lei Federal n. 12.305/2010 proibiu este método de disposição final nos municípios brasileiros. Mas a realidade do país é bem diferente. Dados da Abrelpe (2021), indicam que dos 5.570 municípios brasileiros, aproximadamente 2.868 destinam seus resíduos de forma totalmente irregular, em contrapartida, 74,4% dos municípios brasileiros apresentaram alguma iniciativa, mesmo que pontuais, de coleta seletiva.

O Brasil é constituído por 5.037 municípios com população de até 50 mil habitantes, considerados pelo IBGE como pequenas cidades (VIEIRA, 2020). As cidades consideradas pequenas apresentam maior participação à Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo de três pontos principais: engajamento municipal, educação ambiental e sustentabilidade financeira. Sendo o primeiro proporcional ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, segundo relacionado com reciclagem e o terceiro com municípios que possuem arrecadação específica para a prestação dos serviços de limpeza urbana (MELLO, 2018).

A Lei Federal n. 14.026/2020 apresenta que o prazo para que os lixões sejam eliminados no País para municípios com população inferior a 50.000 habitantes é até o mês de agosto de 2024, levando em consideração que inicialmente a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) estabeleceu como limite a data de 31 de agosto de 2014, prazo não cumprido.

Devido a proliferação dos lixões ao longo da história brasileira, as áreas de disposição final irregular acabaram resultando em um passivo ambiental de grandes proporções, necessitando da

elaboração de um Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), bem como sua execução e monitoração ao longo do tempo. Segundo Souza (2018), uma das melhores maneiras de recuperação são pelos métodos da biorremediação, técnica que utiliza microrganismos para transformar os contaminantes de solo e água, em substâncias menos tóxicas, e pela fitorremediação, onde consiste na implantação de espécies vegetais para a purificação do solo a qual foi contaminado.

Com isso, o presente estudo teve por objetivo identificar os impactos socioambientais de um lixão desativado, localizado no município de Iguaraçu estado do Paraná, Sul do Brasil, bem como propor técnicas para recuperação da área degradada, em especial pela biorremediação e fitorremediação. A área onde se localiza o lixão ainda não foi recuperada, resultando em impactos negativos no local e em seu entorno.

O presente estudo se justifica na medida que a cidade apresenta, segundo SGB (2023), 53 poços tubulares profundos utilizados para abastecimento da população e dessedentação de animais. Prontamente, a proposta de recuperação da área do lixão, foi pensada para que se evite a contaminação dos solos e das águas subterrâneas pela geração de chorume, ocasionando a contaminação do lençol freático e, potencialmente da população consumidora desta água.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se estudo bibliográfico em livros, revistas, teses e artigos científicos, a fim de obter informações da literatura sobre disposição final de resíduos, recuperação ambiental de áreas degradadas e técnicas de engenharia para recuperação; na sequência, realizou-se visitas técnicas in loco, seguida por entrevistas com utilização de questionário. Os itens a seguir detalham melhor a caracterização da área de estudo, bem como os procedimentos metodológicos utilizados.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Iguaraçu (Figura 1) localiza-se na região Norte do Estado do Paraná, em uma latitude 23°11'49" e a uma longitude 51°49'40" oeste, estando a 504 m acima do nível do mar, sendo caracterizada pelo clima subtropical. O município possui uma área territorial de 164,983

km², sendo limitado pelos municípios, Maringá, Santa Fé, Munhoz de Melo, Astorga e Ângulo pertencentes ao estado do Paraná. (IBGE,2020; IPARDES, 2021).

Figura 1: Localização Da Área Do Lixão Municipal Desativado De Iguaraçu (Pr)



Fonte: Adaptado de Google Earth (2022)

De acordo com Marcatto (2015), o município de Iguaraçu apresenta como principais tipos de solos os Latossolos Vermelhos de textura média e os Argissolos Vermelhos de textura média, oriundos dos arenitos da Formação Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina.

A área do lixão está situada a cerca de 1,3 km da área urbana de Iguaraçu - PR e está à margem da rodovia PR 317 principal rodovia que corta este município. Sua área é de 37.472 m², com um perímetro de 877 m. A área do lixão está desativada para o descarte de resíduos orgânicos, mas mantém atividades de disposição de resíduos de podas de árvores, e da construção civil.

2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O reconhecimento da área de estudo foi realizado por meio de visitas de campo, fotodocumentação e utilização de pesquisas bibliográficas em estudos realizados no local. Por meio de visitas realizadas à Secretaria da Agricultura e Meio Ambiente de Iguaraçu e ao próprio lixão, através de questionários e observações, foram levantados os dados necessários para realização do diagnóstico, incluindo o histórico da área.

Por meio da coleta de dados, pode ser avaliado o nível de degradação do local e do seu entorno, e ser detectado diversas questões que serão abordadas no decorrer do trabalho. A coleta de dados foi realizada com base no diálogo junto aos gestores do município, sendo realizada entrevistas, seguido pela aplicação de um questionário semiestruturado, conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1. Questionário elaborado para obter informações sobre o Lixão de Iguaraçu-PR

QUESTIONÁRIO		
Área do Lixão	Quais os resíduos são dispostos no lixão	Para onde estão sendo destinados os resíduos atualmente?
Para onde estão sendo destinados os resíduos provenientes de serviços de saúde? (UBS, clínicas, hospitais)	Para onde estão sendo destinados os resíduos da Construção Civil?	Para onde estão sendo destinados os resíduos de Serviços Públicos? (varrição, poda de árvore)
Qual a geração de Resíduos por dia ou mês?	Existe programa de Coleta Seletiva, nesse município?	Ainda há catadores de lixo nesse local?
Quando surgiu o lixão municipal?	Quando parou a prática de deposição de resíduos no lixão?	Existe alguma modalidade de Licenciamento Ambiental para disposição final de resíduos sólidos ?
Há alguma ação pelo Ministério Público contra o município de Iguaraçu, referente ao lixão municipal?	Existe projeto de recuperação de área degradada?	Existe previsão de solucionar o problema? Qual a solução que poderia ser adotada pela prefeitura municipal?

Fonte: Adaptado de Albertin (2011).

Logo em seguida, foi possível propor medidas (técnicas) para a recuperação da área, depois de sua desativação, levando em conta o tipo de bioma/região bioclimática.

Nas visitas de campo, realizou-se a descrição das condições ambientais dos meios físico, biótico e antrópico da área de disposição final de resíduos (Quadro 2), assim como a realização de registros fotográficos. Apresentou-se a descrição dos fatores ambientais para os meios: físico ou abiótico, biótico e antrópico (Quadro 2).

Quadro 2. Descrição dos meios e seus fatores ambientais

COMPONENTE AMBIENTAL	FATOR AMBIENTAL
Físico ou abiótico	Solo
	Recursos Hídricos
	Ar
	Paisagem
Biótico	Flora
	Fauna
Antrópico	Fator Social
	Saúde pública
	Aspectos Visuais

Fonte: Adaptado de Azevedo (2014).

A partir dos dados obtidos na aplicação do questionário e na realização das entrevistas, das visitas *in loco* e da identificação dos impactos ambientais significativos, foram propostas medidas técnicas para a Recuperação da Área Degradada. Considera-se que foi necessário analisar o grau de degradação da área para então compreender quais técnicas são as mais viáveis para a recuperação ambiental, buscando a melhor opção de recuperação que permita uma funcionalidade adequada e sustentável.

As técnicas a serem adotadas para a recuperação da área foram propostas em função dos tipos e intensidade da degradação e do uso futuro área, com base na literatura especializada, técnica e científica. A proposta para recuperação da área degradada do lixão de Iguaraçu-PR, baseou-se na Portaria IAT nº 170/2020 (PARANA, 2020), e, também em trabalhos técnicos realizados no município de Cascavel (CE) (CEARÁ, 2018) e Curitiba (PR) (CEPOLLINA, 2009). Considera-se ainda, que para trabalhos de recuperação de áreas degradadas por lixões, precisa-se obrigatoriamente de levantamento planialtimétrico, estudo de sondagens geotécnicas e coletas para análises laboratoriais de solos e águas (superficiais e subterrâneas), que neste momento não foram adotadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse item serão apresentados os resultados quanto ao diagnóstico ambiental (histórico e identificação dos impactos ambientais) realizados na área objeto de estudo, bem como na recuperação da área degradada do lixão de Iguaraçu, estabelecendo melhorias estruturais que poderão ser adotados pelo Poder Público Municipal.

3.1 HISTÓRICO DO LIXÃO DE IGUARAÇU-PR E IMPACTOS AMBIENTAIS

A partir dos dados obtidos na aplicação do questionário, entrevistas e análise de imagens aéreas, observou-se que no período de 2005 a 2010, a gestão pública implementou e administrou um aterro sanitário que funcionava na área objeto de estudo. Assim, os resíduos eram dispostos de forma ambientalmente adequada, contemplando sistema de impermeabilização lateral e de base, sistema de captação e infiltração de águas pluviais e sistema de coleta e tratamento de chorume.

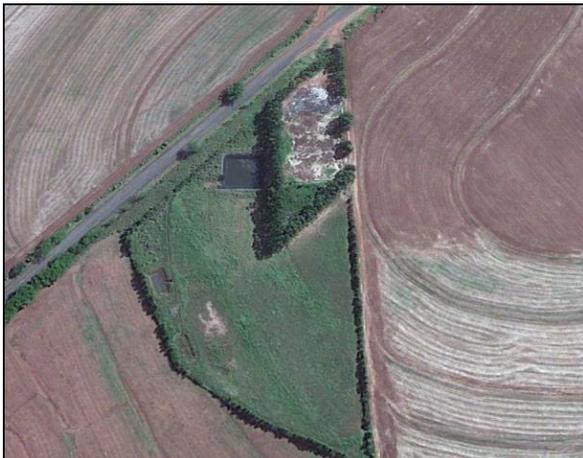
Em 2012, houve um incêndio em um barracão perto do antigo aterro, onde esse fogo começou a propagar e incendiou o local e entorno do antigo aterro, o que causou incêndio em boa parte da área de disposição de resíduos, queimando lagoa de chorume, sua geomembrana e boa parte dos resíduos ali presentes. Com isso, não conseguiram retomar o aterro a sua forma original, começando a haver falhas na administração municipal, dessa forma o aterro começou a perder o controle de resíduos depositados, transformando-se, gradativamente, em um lixão.

Os resíduos sólidos gerados pelos munícipes de Iguaraçu (PR) são armazenados em contêineres, numa estação de transbordo, sendo posteriormente, transportado até a pedreira Ingá, localizado em Maringá (PR), cidade vizinha a Iguaraçu.

De acordo com o Secretário do Meio Ambiente do município de Iguaraçu (PR) até o presente momento o antigo aterro sanitário que hoje é apresentado como lixão, é depósito de podas de árvores, galhos e entulhos de construção civil, porém nas observações realizadas *in loco*, observou-se a presença de resíduos orgânicos, volumosos, eletrônicos e recicláveis.

Por meio de imagens aéreas observou-se que a área efetivamente de aterramento de resíduos aumentou-se gradativamente ao longo do tempo, devido a perda de controle sobre os resíduos depositados no local, ou pela demanda observada ao longo do período. As Figuras 2 a 5, apresenta-se uma evolução temporal da área de disposição final de resíduos entre os anos de 2009 e 2021. Na data de vistoria das visitas técnicas observou-se que toda a área está tomada por lixo, e não há mais controle dos resíduos ali depositados.

Figura 2: Aterro sanitário de Iguaraçu em 2009



Fonte: Google Earth (2009).

Figura 3: Aterro sanitário de Iguaraçu em 2012



Fonte: Google Earth (2012).

Figura 4: Lixão de Iguaraçu em 2018



Fonte: Google Earth (2018).

Figura 5: Lixão de Iguaraçu em julho de 2021



Fonte: Google Earth (2021).

O responsável pela Secretária do Meio Ambiente, relatou a presença de 06 catadores de materiais recicláveis na área do lixão desativado. Tal prática, é proibida pelas legislações vigentes e também, pelo Ministério Público do Trabalho, em vista do alto risco de contaminação e acidentes durante a manipulação dos materiais pelos catadores.

O fato de existir catadores na área antiga área do lixão, indica que o local ainda recebe resíduos potencialmente recicláveis (papel, plástico, alumínio, papelão, entre outros), de forma clandestina, por moradores, carroceiros ou empresas privadas.

Em 2019 o Ministério Público do Paraná em conjunto com a Secretaria Estadual do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (SEDEST), realizou uma fiscalização chamada Operação Percola (MARINGÁ POST, 2019). Os resultados desta operação resultaram na vistoria de 56 cidades do Norte central do Paraná, entre elas o município de Iguaraçu, que passados mais de 10 anos da publicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), ainda não conseguiu, de fato, recuperar a área degradada (Figuras 6 e 7).

Figura 6: Lixão de Iguaraçu (janeiro 2021)



Fonte: Autores (2021).

Figura 7: Lixão de Iguaraçu (dezembro 2021)



Fonte: Autores (2021).

É possível analisar através das imagens, que o despejo no decorrer dos anos diminuiu-se, tendo um certo controle sobre os resíduos ali descartados. Porém observou-se que a área não possui nenhum tratamento, continua-se degradando, por isso justifica-se a realização de ações e medidas de recuperação.

Com base nas informações do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – (SNIS), o município de Iguaraçu gerou um total de 796,1 toneladas de resíduos no ano de 2020, sendo que 92 toneladas foram referentes aos materiais recicláveis (SNIS, 2020). Em relação aos resíduos de serviço de saúde (RSS), como já comentado, são encaminhados para uma empresa licenciada de Curitiba/PR, totalizando 1,8 toneladas. Os resíduos de construção civil (RCC), de responsabilidade do poder público municipal, apresentou uma coleta de 1,5 toneladas/ano, sabendo que o mesmo é depositado no lixão desativado, de forma irregular, pois a própria prefeitura fornece caçambas para moradores da cidade. Os dados completos podem ser visualizados na tabela 1.

Tabela 1 - Dados sobre resíduos gerados em Iguaraçu, ano de 2020

Parâmetros	Quantidade (tonelada/ano)
Quantidade de resíduos domiciliares coletados, por catadores com apoio da prefeitura	140
Materiais recuperados, papel e papelão	55
Materiais recuperados, plástico	28
Materiais recuperados, metais	8
Materiais recuperados, vidro	1
Materiais recuperados, outros	2
Coleta de Resíduos Sólido de Serviço de Saúde	1,8
Coleta de Resíduos Sólido da Construção Civil, pela prefeitura	1,5
Total de Resíduos gerados em 2019	796,1

Fonte: SNIS (2020).

A partir do diagnóstico, realizou-se a identificação de possíveis impactos ambientais e estabeleceu as devidas medidas mitigadoras/compensatórias, apresentados no Quadro 3.

Observa-se que os aspectos ambientais da disposição final irregular de resíduos sólidos (Quadro 3), estão relacionados à decomposição do lixo, sendo eles: geração de chorume, geração de gases e alteração do uso do solo. A partir da definição de tais aspectos, prevê-se a potencial ocorrência de impactos ambientais negativos sendo eles: alteração da qualidade da águas subterrâneas pela infiltração do chorume; alteração da qualidade do solo pelo chorume e decomposição do lixo; poluição por efluente líquidos e resíduos sólidos; contaminação do solo; possíveis explosões pela presença de gases metano (CH₄), gerados na decomposição do lixo; diminuição da abundância de espécies; potencial ocorrência de fauna sinantrópica pela presença de aves bioindicadores de degradação; alteração das condições geotécnicas; alteração do uso do solo pela conversão de solos agrícolas para degradados; potencial ocorrência de erosão superficial pela ausência de sistemas de drenagem pluvial definitivos e temporários;

Quadro 3. Impactos identificados e proposição das medidas mitigadoras

Aspectos ambientais	Impactos ambientais	Medidas mitigadoras
Geração de chorume	- Alteração da qualidade da água subterrânea. - Alteração da qualidade do solo. - Poluição por efluentes líquidos e resíduos sólidos. - Contaminação do solo (substâncias poluentes inorgânicas e orgânicas).	Captação, armazenamento e tratamento do chorume.
Geração de gases	- Possíveis explosões. - Degradação da qualidade do ar	Sistema de drenagem de gás
Desmatamento das árvores dentro do lixão	- Diminuição da abundância de espécies -Potencial ocorrência de espécies de fauna sinantrópica	Reflorestamento
Alteração do uso do solo	- Alteração das condições geotécnicas. -Alteração do uso do solo. - Erosão superficial	Retaludamento e compactação

Fonte: Sánches (2008); Garcia (2014)

A partir da identificação dos aspectos, impactos ambientais e das respectivas medidas mitigadoras, foi possível definir um conjunto de ações, e teve por objetivo estabelecer uma proposta de recuperação da área degradada do lixão de Iguaçu/PR.

3.2 PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO DA ÁREA DEGRADADA

De acordo com a Portaria do Instituto Água e Terra, n.170/2020, que estabelece procedimentos para elaboração, análise, aprovação e acompanhamento da execução de Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas ou Alteradas é necessário apresentar um diagnóstico ambiental da área degradada, as técnicas que serão utilizadas, e um cronograma da monitoração ambiental.

Com base no estudo para a recuperação de área degradada do lixão de Cascavel (CE) e Curitiba (PR), realizou-se uma proposta de recuperação da área do lixão de Iguaçu/PR, atendendo aos critérios pré-estabelecidos que serão abordados a seguir.

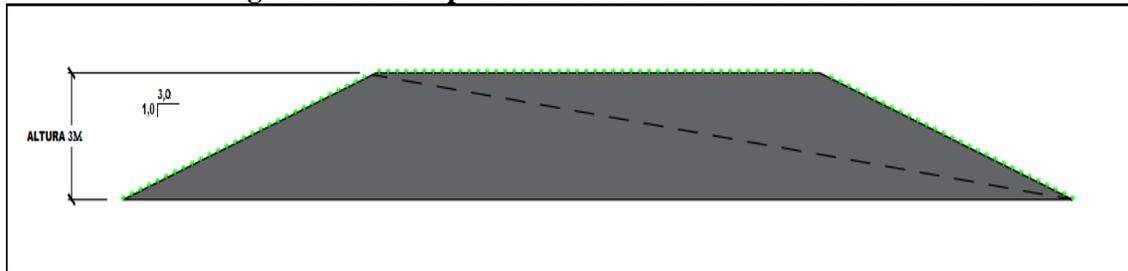
3.2.1 RETALUDAMENTO

De acordo com o levantamento técnico *in loco* realizado no lixão de Iguaçu, deverá ser previsto a movimentação do lixo para conformação geométrica (retaludamento), baseado na

topografia do terreno. Para maior assertividade para esta etapa, o poder público municipal deverá realizar levantamento planialtimétrico com curvas de metro em metro.

Nesta etapa, o lixo deverá ser espalhado horizontalmente, com um trator de esteira e compactado durante 5 vezes, no qual posteriormente deverá ser formado um maciço de taludes com inclinação de 1V:3H. Tal retaludamento deverá ser executado do ponto mais alto do terreno ao mais baixo, para perfeito escoamento do líquido percolado, com direcionamento a lagoa de lixiviado, prevista para o ponto mais baixo do terreno. O retaludamento terá taludes com estimativa de 3,00 m de altura, onde 2,30 m serão de lixo e 0,70 m serão de cobertura de solo (CEPOLLINA, 2009; CEARÁ, 2018), conforme se apresenta na Figura 8.

Figura 8. Corte representativo do retaludamento da massa de lixo



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Com isso é necessário realizar a análise de estabilidade de talude segundo NBR 11682 (ABNT, 2009), onde avalia-se a possibilidade de ocorrência de escorregamento de massa do solo presente em talude natural ou construído.

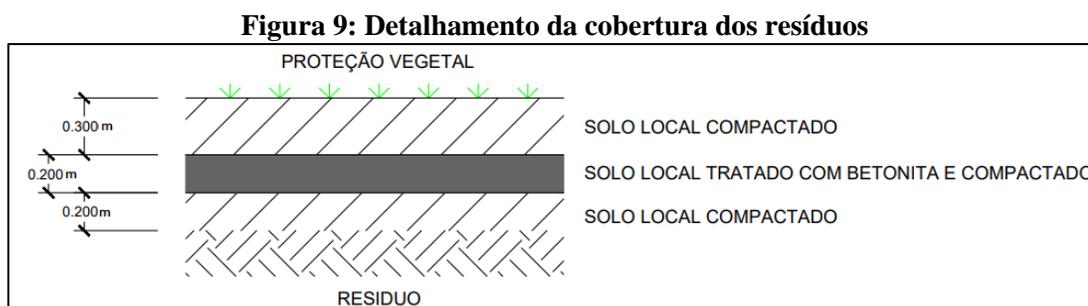
3.2.2 COBERTURA

Para cobertura de solo compactado adota-se uma declividade de 7%, conforme a NBR 15.849 (ABNT, 2010), para que assim haja um escoamento rápido das águas pluviais, reduzindo infiltrações e consequentemente a geração de lixiviado.

A cobertura prevê um revestimento de solo argiloso sob a camada de lixo, segundo estabelecido pela NBR 15.849 (ABNT, 2010). O solo deverá ser adquirido de uma outra localidade, pois a área do lixão corresponde à ARGISSOLOS VERMELHOS Distróficos, de textura média/arenosa (ITCG, 2020). Assim, para esta etapa o mais indicado seria solo de textura argilosa,

para minimizar a infiltração de água para dentro da massa de resíduos, minimizando a dispersão de água e conseqüentemente contaminação por chorume.

O presente estudo, prevê que seja realizada uma cobertura de 0,70m de solo compactado, onde será prevista a seguinte divisão: 0,20m de solo argiloso compactado estará em contato com os resíduos compactados, intercalando com uma camada de 0,20m de solo argiloso tratado com bentonita e por fim mais 0,30m de solo argiloso compactado (CEPOLLINA, 2009; CEARÁ, 2018), conforme apresentado Figura 9.



Fonte: Adaptado de SEMA-CE (2018).

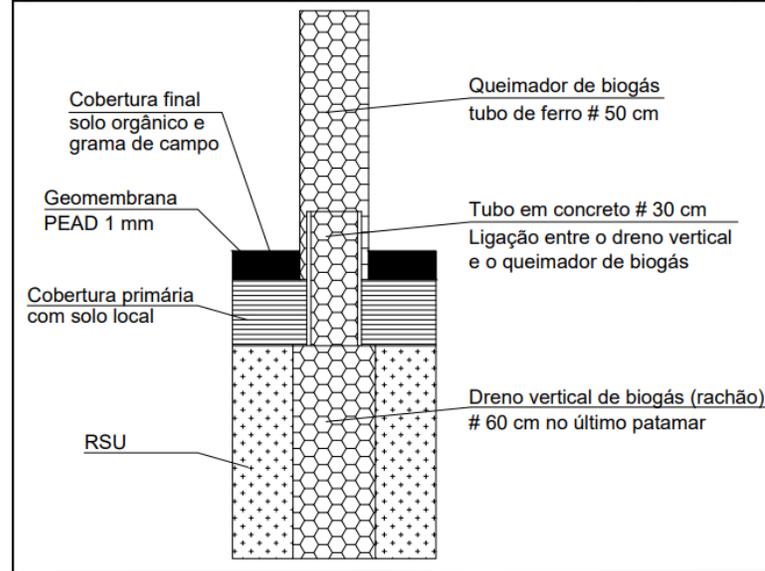
Prevê-se que todas as camadas sejam 100% compactadas, com equipamentos para essa finalidade, como por exemplo o Proctor Normal. Após esse processo de cobertura, esse solo deverá receber tratamento vegetal, com plantas com potencial de recuperação de áreas degradadas.

3.2.3 SISTEMA DE DRENAGEM DE GASES

A NBR 15.849 estabelece que em aterros de pequeno porte sejam adotados drenos de gases circulares verticais de concreto, sendo que a distribuição dos mesmos sejam executados por meio do dimensionamento da geração de gases, variando seu espaçamento de 15,00 m a 30,00 m (ABNT, 2010). De forma geral, recomenda-se que diâmetro do tubo tenha de 0,50m a 1,00m, com altura final de 0,50m acima da cota final prevista para o topo do terreno. Esses drenos são revestidos de concreto, onde são preenchidos por pedras de tipo rachão, ou brita 3, 4 ou 5, onde são mantidos juntos ao tubo, devido a tela de aço, que está em volta, protegendo contra entupimento, conforme a Figura 10. Convém mencionar, que os drenos deverão ser instalados da base do lixo até o final

do aterro, de forma vertical (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2008)

Figura 10: Detalhes do projeto do sistema de drenagem de gases



Fonte: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2008)

A forma mais usual de tratamento do biogás, depois de ser drenado é queimando-o, pois dessa forma diminui-se o efeito de poluição que o mesmo causa na atmosfera, onde há conversão de CH_4 para CO_2 .

3.2.4 SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL

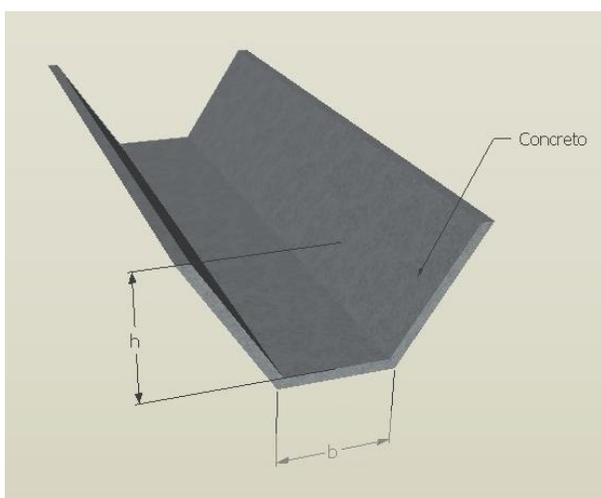
A presença de água no solo do lixão, acaba gerando o aumento de líquido percolado, atrapalhando a compactação do solo, a cobertura dos resíduos, ou danificando a estrutura por processos erosivos ou acúmulo de umidade. Por conta disso, é necessário a instalação do sistema de drenagem de águas pluviais que tem como objetivo coletar a água da chuva, conduzindo-as por meios de canaletas, para uma lagoa de infiltração localizada fora da área dos taludes.

Conforme Cepollina (2009), para esse sistema de drenagem ser executado é preciso implantar canaletas a cada berma, escadas e de descidas d'água transversais aos taludes com os

devidos sistemas dissipadores. No caso do lixão de Iguaçu, será adotada as canaletas trapezoidais, conforme a Figura 11.

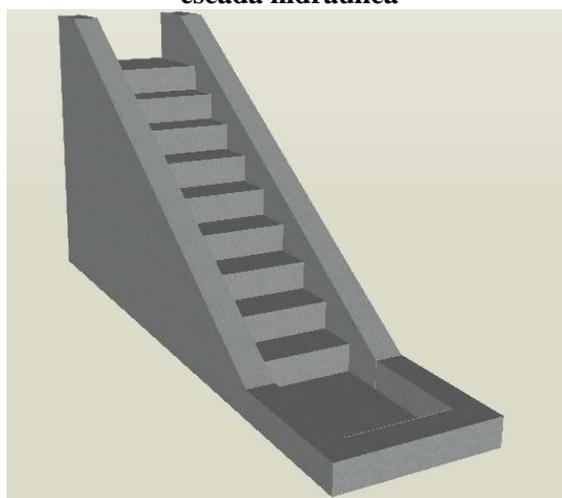
Antes do lançamento da água pluvial até a bacia de acumulação e infiltração, a mesma passa pelo dissipador de energia, que tem como objetivo, diminuir o fluxo de água antes de seu lançamento. Assim, o dissipador adotado para o lixão de Iguaçu será o rachão com escada hidráulica, conforme apresentado nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 Canaleta trapezoidal de concreto



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Figura 12: Dissipador de energia tipo om escada hidráulica



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

Por fim, considera-se que a bacia de acumulação e infiltração tem por objetivo regular a vazão, acumular a águas pluviais incidentes na área do aterro e, por fim de proporcionar uma infiltração adequada no solo, contribuindo com a recarga dos lençóis freáticos.

3.2.5 SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE LÍQUIDO PERCOLADO

Segundo Bidone e Povinelli (1999) lixiviado, líquido percolado ou chorume é um líquido gerado no processo de decomposição do lixo. Devido aos possíveis impactos ambientais negativos nos meios físicos, biológicos e socioeconômicos, o lixiviado deve ser coletado, drenado e tratado, antes de ser devolvido ao ambiente. Com isso, o sistema de drenagem dos líquidos percolados tem como objetivo, conduzi-los para o sistema de tratamento, minimizando os impactos que os mesmos

podem causar ao ambiente. Entretanto, não é viável a retirada de toda a camada de lixo para implantação de tubulação inferior, principalmente pelos custos gerados na movimentação do lixo.

O sistema de drenagem pluvial garante a estabilização do aterro, evitando um possível colapso, ou erosões nas estruturas do aterro comprometendo o funcionamento das camadas de cobertura final, por isso é de suma importância elaborar um sistema de drenagem eficaz (CEARÁ, 2018).

É previsto que, na medida do possível, o chorume coletado pelo sistema de drenagem de percolado seja direcionado através de tubulação para a lagoa de chorume, onde será armazenado. Em seguida, o prevê-se que o líquido seja transportado, através de um caminhão para uma estação de tratamento de efluentes líquidos industriais. A lagoa de armazenamento de lixiviado, deverá possuir impermeabilização de base em geomembrana de PEAD, com espessura mínima de 2 mm, sendo projetada no ponto mais baixo do terreno, porém distante da bacia de infiltração de águas pluviais.

3.2.6 TÉCNICAS DE BIORREMEDIAÇÃO E FITORREMEDIAÇÃO

Para a recuperação da área degradada, a maneira mais viável e econômica é utilização das técnicas de biorremediação e fitorremediação.

A biorremediação é uma técnica composta por microrganismos, fungos, plantas, algas verdes, que realiza, por meio da decomposição e consumo, uma degradação do material contaminante. O objetivo principal é fazer com que a área contaminada volte a seu estado original ou reduza os contaminantes químicos a níveis aceitáveis pelos órgãos ambientais (MEDEIROS, 2015).

A fitorremediação é uma técnica dentro da biorremediação, classificada como *in situ* que utiliza diferentes tipos de vegetais para reter, remover, degradar e imobilizar os contaminantes presentes no solo, nas águas superficiais ou subterrâneas, (AZEVEDO, 2014). O Quadro 4 apresenta um conjunto de espécies vegetais com potencial de serem utilizadas na área do lixão em Iguaçu para fins de fitorremediação.

Quadro 4. Espécies indicadas para a região bioclimática do município de Iguaraçu (PR)

Nome científico	Nome Comum	Recomendações	Sucessão Ecológica
<i>Cariniana estrellensis</i>	Jequitibá branco	Espécie de crescimento rápido que desenvolve bem em solos férteis e profundos de baixadas, bem drenados.	Secundária
<i>Senegalia polyphylla</i>	Monjoleiro	É indicada para o reflorestamento, plantadas em áreas que já foram degradadas, seja pelo tempo, pelo homem ou pela natureza.	Secundária
<i>Cordia Tichotoma</i> —	Louro pardo	Espécie ideal para reflorestamento, pois tem crescimento rápido.	Secundária
<i>Aegiphila integrifolia</i>	Pau-de-gaiola	Usada na restauração de áreas degradadas e geralmente encontrada em regeneração espontânea.	
<i>Mimosa bimucronata</i>	Maricá	É indicada para o reflorestamento, plantadas em áreas que já foram degradadas, seja pelo tempo, pelo homem ou pela natureza.	Pioneiras
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutambo	Espécie pouco compacta, tendo boa durabilidade, indicada para reflorestamento de áreas degradadas.	Pioneiras
<i>Magnolia ovata</i>	Baguaçu	Espécie recomendada para terras úmidas.	Climax
<i>Peschiera fuchsiaefolia</i>	Leiteira	São gramíneas com fácil expansão rasteira.	Climax

Fonte: Adaptado de Carpanezzi (2006).

3.2.7 MONITORAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA RECUPERADA

Após a execução da recuperação da área degradada do lixão municipal de Iguaraçu, torna-se obrigatório a monitoração ambiental e monitoração geotécnica de toda a área.

O monitoramento ambiental deve atender as exigências da Portaria IAP 259/2014, na qual Iguaraçu se classifica como classe A, tendo em vista a geração de 2,21 ton./dia, correspondendo a <200 ton./dia que segundo a norma necessita de análises conforme o Quadro 5.

Quadro 5. Frequência de análises laboratoriais para aterros de pequeno porte

Águas Subterrânea		Águas Superficiais	Lixiviado	
Análises básicas	Análises completas	Análises	Análises básicas	Análises completas
Semestral	Anual	Semestral	Semestral	Anual

Fonte: PARANÁ (2014)

Para a monitoração geotécnica baseou-se nas diretrizes estabelecidas pelos estudos de Cepollina (2009) e Ceará (2018), deverão ser realizados conforme apresentado no Quadro 6.

Quadro 6. Medidas estabelecidas para a monitoração geotécnica

A lagoa de chorume deverá ser vistoriada trimestralmente, o líquido percolado presente na lagoa, deverá ser encaminhado até uma estação de tratamento de esgoto (ETE), mais próxima da região.
Após concluídas as medidas de recuperação da área, o antigo lixão deverá ser monitorado através de inspeções visuais periódicas, a fim de verificar a situação do cercamento, dispositivos de drenagem superficial, de chorume e de gás, cobertura vegetal e cobertura de solo compactado.
A área do antigo lixão deverá ser mantida limpa, roçada e capinada, garantindo que todas as instalações sejam mantidas na mais perfeita condição.
Para os dispositivos de drenagem superficial, verificar o estado das tubulações enterradas, a presença de corpos estranhos e possíveis erosões laterais, deve-se atentar aos pontos de lançamento de água direto do solo, pois estes são focos potenciais de erosão.
Pode haver quebra de tubulações, canaletas, devido as mesmas estarem na maioria das vezes em gravidade, acabam quebrando, caso ocorra esses incidentes deve-se reaterrar para corrigir as depressões e então executar novamente a drenagem. Sempre verificar as condições de escoamento das canaletas, analisando se a mesma não está com nenhum impedimento de passagem de água.
Para o sistema de drenagem de gás, é necessário sempre uma inspeção frequente, removendo o acúmulo de material depositado no fundo da caixa de passagem, sempre observar se o gás está sendo queimado e verificar o recalque ou deslizamentos de drenos.
Os portões e as cercas devem ser mantidos em perfeito estado, para que assim impeça o acesso não autorizado ao antigo lixão.
Com relação ao plantio de espécies nativas, o monitoramento serve para analisar se a vegetação da área está se desenvolvendo, e os agentes degradantes deixaram de atuar, indicando se há necessidade de novas intervenções para que a recuperação seja mais eficiente.

Fonte: Adaptado de Cepollina (2009) e SEMA-CE (2018).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico ambiental e o levantamento de dados que foram realizados na área do antigo lixão de Iguaçu (PR), relata uma área degradada que necessidade de medidas para a elaboração de um Plano de Recuperação da Área Degradada.

Conforme as imagens obtidas por meio do *software Google Earth*, no decorrer dos anos foi notório a evolução da área (m²) de disposição de lixo ao longo dos anos.

Por meio dos estudos realizados, estabeleceu-se diretrizes para recuperação ambiental da área degradada, compreendida pelos sistemas de engenharia, sendo eles: retaludamento para a conformação geométrica; compactação do lixo; implantação de sistema de drenagem de águas

pluviais; implantação do sistema de drenagem dos gases; e, implantação do sistema de drenagem e tratamento do líquido percolado.

A Fitorremediação ora proposta, teve como objetivo a recuperação do solo degradado pela utilização de espécies vegetais, retendo e imobilizando os contaminantes presentes no solo. Este projeto, ainda compreende a monitoração ambiental das águas, solo e estabilidade geotécnica.

Considera-se ainda, que a Prefeitura Municipal de Iguaraçu (PR), deverá estabelecer a realização de levantamento planialtimétrico, estudo de sondagens geotécnicas e coleta para análise de solos, águas superficiais e águas subterrâneas, para a etapa executiva deste projeto, podendo realizar alterações pontuais nas diretrizes ora apresentadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPACIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2021. Disponível em: < <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/> >. Acesso em: agosto de 2022.

ABREU, E. P. **Condições de trabalho, saúde e hábitos de vida dos catadores de resíduos sólidos da vila vale do sol em aparecida de Goiânia-GO**. 2001. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2011.

ALBERTIN R. M. **Diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos urbanos nos municípios da bacia hidrográfica do rio do índio – estado do Paraná**. 2011. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá. Maringá. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15849: Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento**. Rio De Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11682: Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, 2009.

AZEVEDO, P. B. **Diagnóstico da Degradação Ambiental na área do Lixão de Pombal – PB. Universidade Federal de Campina Grande – PB**. 2014. 68 f. Monografia (Graduação). Universidade Federal de Campina Grande. Pombal. 2014

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. 1. Ed. São Carlos: EESC/USP, 1999.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 09 de mai. 2023.

CARPANEZZI, A. A. **Espécies nativas recomendadas para recuperação ambiental no Estado do Paraná: em solos não degradados** [recurso eletrônico]. Dados eletrônicos. - Colombo: Embrapa Florestas, 2006.

CAVALCANTE, S.; FRANCO, M. F. A. Profissão perigo: percepção de risco à saúde entre os catadores do Lixão do Jangurussu. **Revista Mal-Estar e Subjetividade**. Fortaleza, v.6, n.1, p.211-231, mar, 2007. Disponível em: <<https://periodicos.unifor.br/rmes/article/view/1581>>. Acesso em Junho de 2021.

CEARÁ. **Plano de Recuperação das Áreas Degradadas de 81 lixões a céu aberto nos municípios das Bacias Hidrográficas do Acaraú, Metropolitana e Salgado no estado do Ceará**. Cascavel: SEMA, 2018.

CEPOLLINA. **Plano de encerramento do aterro sanitário de Curitiba**. Prefeitura Municipal de Curitiba. Curitiba. 2009.

GARCIA, K. C. Avaliação de impactos ambientais. Curitiba: InterSaberes, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Informações do Município de Iguaraçu**. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/iguaracu.html>>. Acesso em Junho de 2021.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - IPARDES. **Caderno estatístico do Município de Iguaraçu**. Curitiba. 2021.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIAS E GEOCIÊNCIAS - ITCG. **Solos – estado do Paraná**: ITCG, 2020. 1 mapa: colorido; Escala 1:2000.000. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mapa_solos.pdf>. Acesso em Setembro de 2021.

KIRCHNER R. M.; SAIDELLES A. N. F.; STUMM E. M. F. Percepções e perfil dos catadores de materiais recicláveis de uma cidade do RS. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. Taubaté – SP, v.5 n.3, p. 221-232, 2009. Disponível em: <<https://rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/257/165>>. Acesso em Junho de 2021.

MARCATTO F. S. Avaliação dos atributos físico-hídricos dos solos em Iguaraçu-PR: Subsídios para o manejo e conservação dos solos e da água. **Revista Científica ANAP Brasil**, v.8, n.13, p-84-100, 2015. Disponível em: <https://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/anap_brasil/article/view/1148>. Acesso em: Junho de 2021.

MELLO, A. **A gestão do lixo nas pequenas e médias cidades**. Centro de Liderança Pública. 2018. Disponível em < <https://www.clp.org.br/a-gestao-do-lixo-nas-pequenas-e-medias-cidades/> >. Acesso em: Setembro de 2022.

MEDEIROS, M. C. **Proposta de um plano de recuperação para área do lixão do município de Paulista - PB**. Sistema de Bibliotecas da UFCG. Pombal –PB. 2015. Disponível em: < <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/12536> >. Acesso em: Setembro de 2022.

MARINGÁ POST. **Operação Percola, em áreas de descarte de resíduos sólidos, resulta na aplicação de R\$ 600 mil em multas na região**. 2019. Disponível em: < <https://maringapost.com.br/poder/2019/10/11/operacao-percola-em-areas-de-descarte-de-residuos-solidos-resulta-na-aplicacao-de-r-600-mil-em-multas-na-regiao/#.YyIoZ3bMLIU> >. Acesso em: Setembro de 2022.

PARANÁ. **Portaria IAT nº 170 de 01 de junho de 2020**. Estabelece procedimentos para elaboração, análise, aprovação e acompanhamento da execução de Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas ou Alteradas - PRAD. Curitiba, 2020. Disponível em: < https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-09/portaria_170-2020_com_anexos.pdf >. Acesso em: 09 de mai. 2023.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. 2º ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIGAS)**. 2023. Disponível em: < <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php> >. Acesso em 09 mai. 2023.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2 / Ministério das Cidades**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Belo Horizonte: ReCESA, 2008. Disponível em: < https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/projetooperacaoemonitoramentodeaterrossanitarios-nivel2.pdf >. Acesso em: 09 mai. 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. **Diagnostico do manejo de resíduos sólidos urbanos**. 2020. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnosticos> > Acesso em: 30 mai. 2023

SOUZA J. B. Proposta de Recuperação de Área Degradada em um Lixão Desativado no município de Mamanguape, PE. 2018. 54f. Monografia (Especialização em Gestão e Auditoria Ambiental), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande – PE. 2018.

VIEIRA, A. B.; ROMA, C. M.; MIYAZAKI, V. K. Cidades Médias e Pequenas: uma leitura geográfica. **Caderno Prudentino De Geografia**, v.1, n. 29, p. 135–156, 2020. Disponível em: < <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/7415> >. Acesso em: Setembro de 2022.

Data de recebimento: 28 de março de 2023.

Data de aceite: 24 de maio de 2023.