

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS**  
**HÍDRICOS E SANEAMENTO**



**CAMILLA RODRIGUES DA SILVA**

**Modelagem das Emissões de H<sub>2</sub>S da CTR Maceió – AL**

Maceió

2022

CAMILLA RODRIGUES DA SILVA

**Modelagem das Emissões de H<sub>2</sub>S da CTR Maceió – AL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientadora: Profa. Dra. Karina Ribeiro Salomon

Maceió

2022

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S586m Silva, Camilla Rodrigues da.

Modelagem das emissões de H<sub>2</sub>S da CTR Maceió - AL / Camilla Rodrigues da Silva.  
– 2022.

104 f. : il. color.

Orientadora: Karina Ribeiro Salomon.

Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade  
Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 94-103.

Apêndices: f. 104.

1. Ácido sulfídrico. 2. AERMOD View (*Software*). 3. Difusão de odor. I. Título.

CDU: 628.4

## **Folha de Aprovação**

**CAMILLA RODRIGUES DA SILVA**

**Modelagem das Emissões de H<sub>2</sub>S da CTR Maceió – AL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

---

Profa. Dra. Karina Ribeiro Salomon / UFAL (Orientadora)

Banca Examinadora:

---

Kristiane Ramos Primo / UNISO (Examinador 1)

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Dayana de Gusmão Coêlho / UFAL (Examinador 2)

*Dedico este trabalho ao meu amigo Professor Me. Silvio de Oliveira, por todo apoio, dedicação e incentivo para alcance dos resultados dessa pesquisa.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por todo seu amor e misericórdia, e por estar à frente de meu caminho me orientando e dando força em momentos difíceis para conseguir cumprir minha caminhada.

À minha família, em especial minha mãe Maria Aparecida, que com muito carinho não mediu esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida, sempre estando ao meu lado, me dando palavras de conforto e orando por mim.

Aos professores do PPGRHS por compartilharem seus conhecimentos e experiências que contribuíram para a minha formação acadêmica e pessoal.

Em especial, à Professora Karina Ribeiro Salomon, orientadora dedicada que sempre acreditou no meu potencial e com sabedoria soube guiar meus pensamentos. Agradeço por seu olhar amigo frente à tantas adversidades e por nunca ter me deixado desistir.

Ao Professor Silvio de Oliveira, pela parceria, pelos ensinamentos, conselhos, pelo tempo doado e pela imensa contribuição no desenvolvimento da dissertação.

À minha amiga Luciana Melo, pelo incentivo nos estudos, por sempre escutar minhas histórias, pela amizade sincera e por dividir comigo o carinho de uma irmã.

Aos amigos que adquiri no PPGRHS, em nome de Maria Clara Palmeira e Ana Carine Melo, pelos momentos vividos juntos, cumplicidade, risadas compartilhadas e trocas de experiências no dia a dia das aulas remotas.

A todos aqueles que de alguma forma doaram um pouco de si para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível.

E por fim agradeço à V2 Ambiental, gerenciadora da Central de Tratamento de Resíduos de Maceió, pela disponibilidade da área para estudo e pela concessão da bolsa de pesquisa no Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento.

*“O caminho percorrido nos ensina  
mais do que o resultado alcançado.”  
(Autor desconhecido)*

## RESUMO

Em diversas Centrais de Tratamento de Resíduos (CTR), as emissões fugitivas são um problema de poluição atmosférica que atingem níveis local e global, pois sua composição é formada por diversos gases prejudiciais, como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S). A emissão de gases odoríferos dos aterros resulta principalmente da geração de compostos gasosos durante a biodegradação dos resíduos, possuindo relação com a camada de cobertura, profundidade, quantidade de drenos, dimensões da célula, idade dos resíduos, condições meteorológicas e as propriedades do solo. As reclamações por odor da população que reside ao entorno do aterro tem sido constates às autoridades, uma vez que o incômodo responsável por efeitos na saúde ocorre nos receptores após a sua exposição contínua e prolongada. Sob esse contexto, compreender as emissões de H<sub>2</sub>S e os fatores que interferem nesse processo, pode fornecer importantes contribuições para a mitigação dos impactos ambientais e sociais, intensificando o monitoramento sistemático de concentrações desse poluente na atmosfera. Assim, este estudo tem como objetivo avaliar o grau de impacto no meio ambiente causado pelas emissões da CTR Maceió – AL, através da modelagem da dispersão atmosférica das concentrações do sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) usando o software AERMOD View, modelo de dispersão atmosférica bastante usual em várias pesquisas, o qual prevê concentrações nos locais selecionados de receptores a favor do vento. Para isto, foi observado a mudança da qualidade do ar compreendendo o período de 2016 a 2021, através de relatórios de medições de H<sub>2</sub>S e vazões volumétricas coletadas nos drenos do aterro, estabelecendo os cenários para modelagem das concentrações de gás, diagnosticando os possíveis impactos que poderão ocasionar danos na saúde da população. Os resultados revelaram que a concentração máxima de 0,119 mg/m<sup>3</sup> do H<sub>2</sub>S ocorreu no Cenário 1 (madrugada), representando o período em que a estratificação da atmosfera tende a enfraquecer a atividade turbulenta do ar que reflete no aumento da concentração de H<sub>2</sub>S, cujo valor é 2,8 vezes maior que o Limite de Percepção odorífera (LPO) de 0,042 mg/m<sup>3</sup>. Logo, nesse período a pluma de H<sub>2</sub>S se espalha sobre uma área de 25 km<sup>2</sup> atingindo todos os receptores instalados a oeste do aterro. As concentrações de H<sub>2</sub>S contidas no biogás são significativas e, portanto, podem ser tratadas como questões relevantes para se fazer em estudos futuros o aproveitamento energético do biogás no Centro de Tratamento de Resíduos de Maceió.

**Palavras-chave:** Ácido sulfídrico. AERMOD View (*Software*). Difusão de Odor.

## ABSTRACT

In several Waste Treatment Centers (WCs), fugitive emissions are a problem of atmospheric pollution that reach local and global levels, as their composition is formed by several harmful gases, such as carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), and hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S). The emission of odorous gases from landfills results mainly from the generation of gaseous compounds during the biodegradation of waste, having a relationship with the cover layer, depth, number of drains, cell dimensions, age of waste, weather conditions and soil properties. Complaints about odor from the population living around the landfill have been reported to the authorities, since the nuisance responsible for health effects occurs in the recipients after their continuous and prolonged exposure. In this context, understanding H<sub>2</sub>S emissions and the factors that interfere in this process can provide important contributions to the mitigation of environmental and social impacts, intensifying the systematic monitoring of concentrations of this pollutant in the atmosphere. Thus, this study aims to evaluate the degree of impact on the environment caused by emissions from CTR Maceió - AL, through the mathematical simulation of concentrations of hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) using the AERMOD View software, a very common atmospheric dispersion model in several surveys, which predict concentrations at selected downwind receptor sites. For this, the change in air quality covering the period from 2016 to 2021 was observed, through reports of H<sub>2</sub>S measurements and volumetric flows collected in the landfill drains, establishing scenarios for modeling gas concentrations, diagnosing the possible impacts that could harm the health of the population. The results revealed that the maximum concentration of 0.119 mg/m<sup>3</sup> of H<sub>2</sub>S occurred in Scenario 1 (dawn), representing the period in which the stratification of the atmosphere tends to weaken the turbulent activity of the air that reflects in the increase of the concentration of H<sub>2</sub>S, whose value is 2.8 times higher than the Odor Perception Limit (LPO) of 0.042 mg/m<sup>3</sup>. Therefore, in this period the H<sub>2</sub>S plume spreads over an area of 25 km<sup>2</sup> reaching all the receivers installed to the west of the landfill. The concentrations of H<sub>2</sub>S contained in the biogas are significant and, therefore, can be treated as relevant questions to make in future studies the energetic use of biogas in the Waste Treatment Center of Maceió.

**Keywords:** Sulfuric acid. AERMOD View (Software). Odor Diffusion.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases de Geração de Gases em Aterros Sanitários.....	20
Figura 2. Sistema de cobertura de aterro sanitário. ....	24
Figura 3. Parâmetros geotécnicos e os efeitos na emissão de biogás em <i>liners</i> de aterros. ....	26
Figura 4. Desenho esquemático da pluma gaussiana e distribuição das concentrações.....	27
Figura 5 - Movimentos verticais ascendentes e descendentes da pluma na modelagem de dispersão. ....	29
Figura 6. Fluxograma do sistema de processamento de dados para modelagem do AERMOD. ....	30
Figura 7. Diagrama lognormal da frequência da sensibilidade olfativa da população.....	41
Figura 8. Localização da Cidade de Maceió na região Metropolitana de Alagoas. ....	45
Figura 9. Mapa de localização da Central de Tratamento de Resíduos em Maceió, Alagoas..	46
Figura 10. Aterro Sanitário de Maceió, CTR- Maceió. ....	47
Figura 11. Vista aérea Central de Tratamento de Resíduos de Maceió.....	48
Figura 12. Vista frontal da CTR/MA. ....	48
Figura 13. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	49
Figura 14. Localização das estações meteorológicas de Maceió em relação ao Aterro.....	51
Figura 15. Grade receptora da área de domínio para modelagem com destaque para fonte área (aterro) e os receptores (bairros) próximos que são impactados com a pluma de odor do CTR. ....	54
Figura 16. Topografia para modelagem da região de impacto do Aterro Sanitário de Maceió. ....	55
Figura 17. Distribuição espacial dos receptores sensíveis selecionados próximos do CTR – Maceió. ....	57
Figura 18. Ponto Monitorado – Dreno de Gás (Flare).....	58
Figura 19. Coleta de gás em um (1) dreno vertical. ....	59
Figura 20. Rosa dos ventos sobre o aterro sanitário CTR – Maceió, período 2020-2021.....	64
Figura 21. Rosa dos Ventos de Madrugada no CTR/MA, 2020-2021. ....	66

Figura 22. Rosa dos Ventos a Tarde no CTR/MA, 2020-2021. ....	66
Figura 23. Rosa dos Ventos na Manhã no CTR/MA, 2020-2021. ....	66
Figura 24. Rosa dos Ventos a Noite no CTR/MA, 2020-2021.....	66
Figura 25. Cenário 1 – Mapa das isoconcentrações de H <sub>2</sub> S durante a madrugada, médias de 1 hora.....	71
Figura 26. Cenário 2 – Mapa das isoconcentrações de H <sub>2</sub> S durante a manhã, médias de 1 hora. ....	75
Figura 27. Cenário 3 – Mapa das isoconcentrações de H <sub>2</sub> S durante a tarde, médias de 1 hora. ....	79
Figura 28. Cenário 4 – Mapa das isoconcentrações de H <sub>2</sub> S durante a noite, médias de 1 hora. ....	83
Figura 29. Comparação dos Cenários (1 a 4) das concentrações Máximas de H <sub>2</sub> S com o (LPO). ....	87
Figura 30. Concentrações de H <sub>2</sub> S sobre os receptores acima do LPO e os que estão com valores abaixo, médias de 1 hora. ....	89
Figura 31. Área de abrangência da pluma de odor por H <sub>2</sub> S, sobre os receptores sensíveis no entorno do aterro.....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites de Tolerância para Atividades Potencialmente Insalubres.....	33
Tabela 2. Limites internacionais de emissão de Odor por H <sub>2</sub> S. ....	34
Tabela 3. Estabelecimento do efeito do H <sub>2</sub> S na saúde humana.....	35
Tabela 4. Percentual de condição meteorológica e períodos de percepção com maior intensidade de odor.....	51
Tabela 5. Exemplo de Espaçamentos de Receptores de Grades Aninhadas. ....	53
Tabela 6. Receptores sensíveis selecionados na área de domínio do CTR – Maceió. ....	55
Tabela 7. Distribuição dos parâmetros de uso do solo nas imediações do CTR/MA.....	62
Tabela 8. Distribuição de frequência combinada da direção e velocidade do vento, média anual de 2020 a 2021.....	63
Tabela 9. Parâmetros do vento predominante para os quatro períodos do dia para 2020 a 2021. ....	64
Tabela 10. Concentrações e vazões de H <sub>2</sub> S medidas no aterro sanitário de Maceió.....	67
Tabela 11. Taxas de emissões anuais de 1 dreno, multiplicada pelo total existente no CTR/MA. ....	68
Tabela 12. Cenários de odor.....	69
Tabela 13. Parâmetros de emissão do CTR/MA para modelagem de dispersão atmosférica. .	69
Tabela 14. Parâmetros de emissão do CTR/MA para modelagem de dispersão atmosférica. .	70
Tabela 15. Cenário 1: Concentrações máximas de H <sub>2</sub> S e parâmetros meteorológicas sobre os receptores sensíveis. ....	73
Tabela 16. Cenário 2 – Resultado da simulação da concentração de H <sub>2</sub> S no CTR – Maceió. .	74
Tabela 17. Cenário 2: Concentrações máximas de H <sub>2</sub> S e parâmetros meteorológicas sobre os receptores sensíveis. ....	77
Tabela 18. Cenário 3 – Resultado da simulação da concentração de H <sub>2</sub> S no CTR – Maceió..	78
Tabela 19. Cenário 3: Concentrações máximas de H <sub>2</sub> S e parâmetros meteorológicas sobre os receptores sensíveis. ....	81
Tabela 20. Cenário 4 – Resultado da simulação da concentração de H <sub>2</sub> S no CTR – Maceió. .	82

Tabela 21. Cenário 4: Concentrações máximas de H <sub>2</sub> S e parâmetros meteorológicas sobre os receptores sensíveis. ....	85
Tabela 22. Resultados das concentrações máximas de H <sub>2</sub> S no CTR/MA.....	86
Tabela 23. Comparação entre os resultados das concentrações de H <sub>2</sub> S dos 4 Cenários sobre os receptores.....	88

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1. Classificação dos LDRS. ....	19
Quadro 2. Fases da geração de gases em aterro sanitário.....	21
Quadro 3. Tipos de camadas que usualmente constituem um sistema de cobertura. ....	23
Quadro 4. Resoluções federais e estaduais com foco no controle da poluição. ....	31
Quadro 5. Principais trabalhos acadêmicos utilizados como referências.....	43
Quadro 6. Características técnicas observadas no software para a modelagem atmosférica. ..	60

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BRS – Bactérias Redutoras de Sulfato

CTR/MA – Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Maceió – AL

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LDRS – Locais de Descarte de Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

LPO – Limite de Percepção Odorífera

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Resíduos Sólidos Urbanos.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Biodegradação dos RSU em Aterros Sanitários e Geração de Gases.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3</b>	<b>Camada de Cobertura Final de Aterros Sanitários .....</b>	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>Fluxo de Gases em Camadas de Cobertura de Aterros Sanitários.....</b>	<b>24</b>
3.4.1	Fluxo Advectivo .....	24
3.4.2	Fluxo Difusivo .....	25
3.4.3	Fatores que Influenciam o Fluxo de Gases .....	25
<b>3.5</b>	<b>Modelos de Dispersão Atmosférica.....</b>	<b>27</b>
<b>3.6</b>	<b>Legislação Brasileira sobre Poluição Atmosférica .....</b>	<b>31</b>
<b>3.7</b>	<b>Padrão de Qualidade do Ar.....</b>	<b>33</b>
3.7.1	Considerações Sobre o Sulfeto de Hidrogênio .....	34
3.7.2	Efeitos Toxicológicos do H <sub>2</sub> S.....	34
3.7.3	Formação do H <sub>2</sub> S em Aterros Sanitários .....	35
3.7.4	Fonte de Emissão de Enxofre em Aterros .....	37
3.7.5	Fatores que afetam a formação biológica de H <sub>2</sub> S .....	38
3.7.6	Fatores que afetam a emissão e difusão de odor nos Aterros Sanitários .....	39
3.7.7	Odor e Condições Meteorológicas.....	39
<b>3.8</b>	<b>Percepção de Odor .....</b>	<b>40</b>
<b>3.9</b>	<b>Estado da Arte .....</b>	<b>42</b>
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>45</b>

<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>49</b>
<b>5.1</b>	<b>Procedimento Metodológico</b>	<b>49</b>
<b>5.2</b>	<b>Levantamento das condições meteorológicas para simulação da qualidade do ar por H<sub>2</sub>S.</b>	<b>49</b>
<b>5.3</b>	<b>Cenários para Modelagem de Dispersão de H<sub>2</sub>S</b>	<b>51</b>
<b>5.4</b>	<b>Grade e Topografia para Área de Domínio da Modelagem de Dispersão</b>	<b>53</b>
<b>5.5</b>	<b>Receptores Sensíveis</b>	<b>55</b>
<b>5.6</b>	<b>Estimativa da taxa de emissão de H<sub>2</sub>S na área de impacto da CTR/MA</b>	<b>57</b>
<b>5.7</b>	<b>Uso do Modelo AERMOD para simular o impacto do Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S) no Entorno da CTR/MA.</b>	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>61</b>
<b>6.1</b>	<b>Meteorologia para simulação da qualidade do ar por H<sub>2</sub>S</b>	<b>61</b>
<b>6.2</b>	<b>Estimativa da Taxa de Emissão de H<sub>2</sub>S para Modelagem de Dispersão</b>	<b>67</b>
<b>6.3</b>	<b>Cálculo da concentração de H<sub>2</sub>S no entorno da CTR/MA, aplicando o modelo de dispersão atmosférica AERMOD</b>	<b>69</b>
<b>6.3.1</b>	<b>Cenário 1: Concentração máxima de H<sub>2</sub>S sobre os Receptores Sensíveis</b>	<b>70</b>
<b>6.3.2</b>	<b>Cenário 2: Concentração máxima de H<sub>2</sub>S sobre os Receptores Sensíveis</b>	<b>74</b>
<b>6.3.3</b>	<b>Cenário 3: Concentração máxima de H<sub>2</sub>S sobre os Receptores Sensíveis</b>	<b>78</b>
<b>6.3.4</b>	<b>Cenário 4: Concentração máxima de H<sub>2</sub>S sobre os Receptores Sensíveis</b>	<b>82</b>
<b>6.4</b>	<b>Discussão dos Resultados das Concentrações Máximas</b>	<b>86</b>
<b>6.5</b>	<b>Discussão dos Resultados das Concentrações sobre os Receptores</b>	<b>87</b>
<b>6.6</b>	<b>Tendência de Difusão da pluma de odor</b>	<b>90</b>
<b>6.7</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>92</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>94</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>104</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Araújo (2012), pode-se entender poluição do ar, como o lançamento ou a presença na atmosfera de substâncias em concentração significativas para interferir direta ou indiretamente na saúde, segurança e bem-estar do ser humano, do meio ambiente ou no pleno uso de sua propriedade.

Em aterros sanitários, as emissões fugitivas são um problema de poluição atmosférica que atingem níveis local e global, uma vez que sua composição é formada por diversos gases prejudiciais, a exemplo do monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) (USEPA, 2021).

Tendo influência de vários fatores, as emissões fugitivas possuem relação com o ambiente interno e externo aos resíduos e à camada de cobertura, a exemplo da profundidade e quantidade de drenos de gases, das dimensões da célula onde os resíduos estão dispostos, a idade dos resíduos, as condições meteorológicas da região, a presença de fissuras na camada, as propriedades do solo e a espessura da *liner*. E, nesse caso, quanto maior a espessura da *liner*, maior será a possibilidade de retenção física, química e biológica dos gases no meio (MACIEL, 2003).

Considerando os estudos de Damasceno (2018), dentre as metodologias utilizadas para quantificar emissões fugitivas em aterros sanitários, ganham destaque os ensaios de placa de fluxo estática, em que câmaras fechadas, são cravadas no solo onde são realizadas medições da concentração dos gases confinados ao longo do tempo. Além disso, a modelagem matemática, com auxílio e utilização de softwares, surge como subsídio na determinação das concentrações de poluente no ar, objetivando suprir as deficiências de medição, sendo uma ferramenta vastamente utilizada nos estudos da qualidade do ar de regiões com fontes de emissões de poluentes atmosféricos (ARAÚJO, 2012).

A emissão de gases odoríferos dos aterros resulta principalmente da geração de compostos gasosos durante a biodegradação dos resíduos depositados em aterro (DINCER E MUEZZINOGLU, 2006). Mais de 100 compostos odoríferos foram identificados como contribuintes para odores de aterros sanitários, incluindo sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), metil mercaptano (CH<sub>3</sub>SH), sulfeto de dimetila ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S) e amônia (NH<sub>3</sub>) (HE et al., 2012). Entre os compostos de enxofre, o H<sub>2</sub>S foi identificado como um dos principais contribuintes na geração de odor em aterros (KIM et al., 2006; LEE et al., 2006).

Na cidade de Maceió, estado de Alagoas, os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são coletados por empresas terceirizadas e encaminhados a Central de Tratamento de Resíduos (CTR/MA) da cidade, a qual está em operação desde abril de 2010, e recebe diariamente em média de 1.500 toneladas de RSU de todo o município (ARAÚJO, 2019). Estando situado nas proximidades de bairros populacionais, a liberação de gases odoríferos oriundos do aterro sanitário influencia diretamente na qualidade do ar atmosférico, causando incômodos e danos à saúde dos receptores humanos residentes no entorno do CTR Maceió.

Sob esse contexto, compreender as emissões de gases pela camada de cobertura nos aterros sanitários e os problemas atrelados aos odores provenientes dessas unidades, principalmente durante a fase de operação, pode fornecer importantes contribuições para a mitigação dos impactos ambientais, intensificando o monitoramento sistemático de concentrações de poluentes atmosféricos, bem como os métodos de controle e medição desses gases (FRANQUETO et al., 2020).

Nos últimos anos o odor tem sido a principal causa de reclamação da população às autoridades que administram os aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (Nicell, 2009). O incômodo, responsável por efeitos na saúde, ocorre nos receptores após a sua exposição contínua e prolongada aos odores que provocam uma sensação negativa, a qual é pouco linear e varia de pessoa para pessoa dependendo de como cada indivíduo avalia o ambiente o qual está sendo submetido (EAUK, 2002a).

Assim, a presente dissertação terá por finalidade avaliar o grau de impacto no meio ambiente causado pelas emissões da fonte área CTR Maceió, através da simulação matemática das concentrações do gás sulfídrico ( $H_2S$ ), usando o modelo AERMOD VIEW consolidado e recomendado pela Agência de Proteção Ambiental Americana dos Estados Unidos (CIMORELLI et al., 2004).

Além disso, pretende-se observar a mudança da qualidade do ar compreendendo o período de 2016 a 2021, através de medições das concentrações de  $H_2S$  e vazões volumétricas coletadas nos drenos do aterro, estabelecendo os cenários para modelagem das concentrações de gás, diagnosticando os possíveis impactos que este poderá ocasionar na saúde da população, além de verificar possíveis intercorrências em seu tratamento, prevendo a hipótese de medidas preditivas e corretivas para a sua atividade adequada.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar os impactos das emissões de Sulfeto de Hidrogênio ( $H_2S$ ) na qualidade do ar do entorno da Central de Tratamento de Resíduos de Maceió – AL (CTR/MA).

### **2.2 Objetivos Específicos**

- a) Realizar levantamento da topografia da região e das condições meteorológicas para simulação da qualidade do ar por  $H_2S$ ;
- b) Estimar a taxa de emissão de  $H_2S$  na área de impacto da CTR/MA;
- c) Calcular a concentração de  $H_2S$  no entorno da CTR/MA, aplicando o modelo de dispersão atmosférica AERMOD.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Resíduos Sólidos Urbanos

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são consequência das atividades de grandes cidades, sendo resultantes das ações de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, assim também como os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água (ABNT, 2004). Além disso, o descarte de resíduos em áreas inadequadas provoca consequências socioambientais, que afetam a qualidade do meio ambiente e a saúde da população, surgindo a necessidade de gerenciamento de toda a cadeia produtiva de resíduo sólido, diminuindo os danos.

A Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispõe de princípios, objetivos e instrumentos a todos os municípios brasileiros, bem como as diretrizes relativas ao aproveitamento energético dos gases gerados, decorrentes da disposição final, como também a eliminação dos lixões e recuperação de áreas de degradação ambiental. A Lei ainda define as normas referentes à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos às responsabilidades aos municípios, que devem elaborar planos específicos para o manejo dos RSU (BRASIL, 2010).

Com base no Manual de Gerenciamento Integrado, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, a classificação dos Locais de Descarte de Resíduos Sólidos (LDRS) no Brasil pode ser identificada conforme o Quadro 1 (MACHUCA ESPIRITU, 2019).

Quadro 1. Classificação dos LDRS.

<b>LDRS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>Lixão</b>	Caracteriza-se pela descarga inadequada de resíduos sólidos sobre o solo, geralmente a céu aberto.
<b>Aterro Controlado</b>	Disposição de resíduos sólidos municipais no solo sem causar danos à saúde pública, diminuindo os impactos ambientais. Parte do confinamento dos resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte.
<b>Aterro Sanitário</b>	Processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, que permite um confinamento através de camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, seguindo normas, diminuindo os impactos ambientais.

Fonte: IPT (2018) adaptado por Machuca Espiritu (2019).

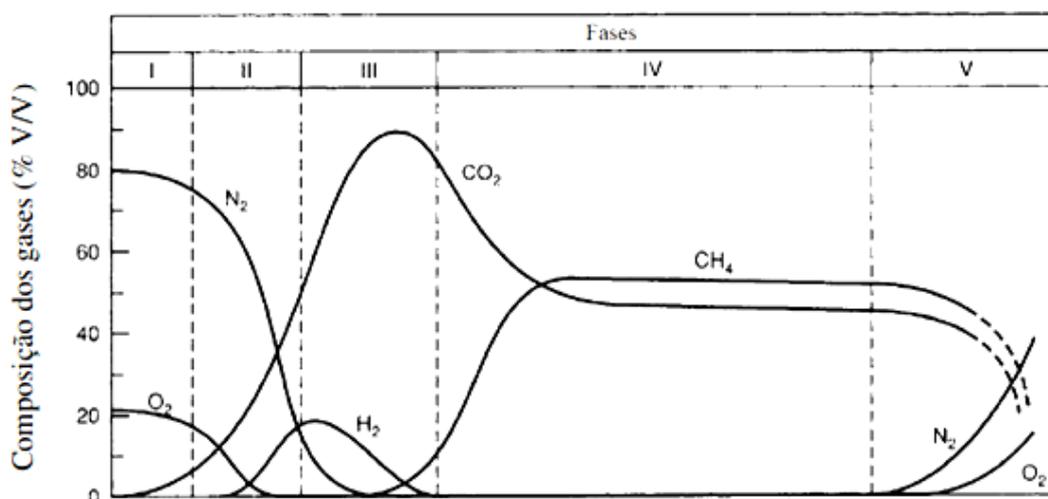
### 3.2 Biodegradação dos RSU em Aterros Sanitários e Geração de Gases

Em diversos aterros sanitários, os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são compostos por cerca de 50% de material biodegradável. Parte da biodegradação presente nos resíduos passa por um processo de decomposição da matéria orgânica, o qual ocorre naturalmente, sendo realizado por diversos tipos de microrganismos, a exemplo de fungos, bactérias, vírus, dentre outros (ALMEIDA, 2020).

Segundo ALMEIDA (2020), na biodegradação dos resíduos sólidos em aterros sanitários, existe a predominância de um ambiente rico em oxigênio, uma vez que a biodegradação da fração orgânica é transformada em compostos minerais e gasosos, favorecendo a ação dos microrganismos aeróbios. Contudo, o oxigênio é ligeiramente consumido pelos microrganismos aeróbios, se esgotando, pois ocorre o recobrimento diário com novas camadas de resíduos.

Os aterros sanitários são descritos como reatores bioquímicos, os quais possuem como principal fonte de alimentação os resíduos sólidos e a água, tendo como subprodutos, os líquidos lixiviados e o biogás. O processo de biodegradação dos RSU acontece em duas fases: aeróbia e anaeróbia. A geração dos principais gases do aterro sanitário é produzida em 5 (cinco) fases sequenciais: Fase I (Ajuste Inicial), Fase II (Transição), Fase III (Ácida), Fase IV (Metanogênica) e Fase V (Maturação) (TCHOBANOGLIOUS e KREITH, 2002). Estas fases são apresentadas na Figura 1, onde as fases estão ligadas à composição dos subprodutos, lixiviado e gases, gerados durante o processo de biodegradação. Cada uma destas é descrita de forma sucinta no Quadro 2.

Figura 1. Fases de Geração de Gases em Aterros Sanitários



Fonte: Adaptado de Farquhar (1973), Parker (1983) e Pohland (1991), por Tchobanoglous e Kreith (2002).

Quadro 2. Fases da geração de gases em aterro sanitário.

<b>FASES DA GERAÇÃO DE GASES EM ATERRO SANITÁRIO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>Fase I (Ajuste inicial)</b>	Decomposição aeróbia, em que a principal fonte de organismos é o material do solo que é usado como cobertura diária e final. Essa fase dura horas ou poucas semanas, pois o oxigênio se extingui no processo de biodegradação.
<b>Fase II (Fase de transição)</b>	Decomposição anaeróbia, com diminuição do oxigênio. Os microrganismos convertem material orgânico em metano e dióxido de carbono, elevando a concentração de CO <sub>2</sub> no interior do aterro.
<b>Fase III (Fase ácida)</b>	Produção de ácidos orgânicos e pequenas quantidades de gás hidrogênio. O pH do lixiviado diminui para um valor igual ou inferior a 5, devido às altas concentrações de CO <sub>2</sub> gerado no aterro, aos ácidos orgânicos, e pequenas quantidades de H <sub>2</sub> .
<b>Fase IV (Fase de fermentação do metano)</b>	Bactérias anaeróbias convertem o ácido acético e o gás hidrogênio (H <sub>2</sub> ) produzidos na fase ácida, em CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> . O pH no interior do aterro aumentará para valores mais alcalinos na ordem de 6,8 a 8. O pH do lixiviado, se formado, aumentará, e a concentração de DBO e DQO serão reduzidos.
<b>Fase V (Fase de maturação)</b>	Nesse processo, a velocidade da geração de gás de aterro diminui, e grande parte dos nutrientes foram separadas com o lixiviado durante as fases anteriores. O lixiviado conterá ácidos húmicos e fúlvicos, difíceis de degradar biologicamente.

Fonte: Tchobanoglous e Kreith (2002).

Toda e qualquer alteração estrutural na célula de resíduos poderá influenciar diretamente o processo biodegradativo e sua duração. Logo, as fases apresentadas, podem não ocorrer de forma sequenciada em um aterro sanitário, certo de que o desenvolvimento das mesmas irá depender do tempo de operação do aterro e das condições físico-químicas e biológicas dos resíduos (ALMEIDA, 2020). Dessa forma, se houver o aumento da densidade do material disposto no aterro, poderá ocorrer redução da disponibilidade de umidade em algumas áreas da célula de resíduos e, conseqüentemente, a geração de gás poderá ser retardada. (TCHOBANOGLIOUS e KREITH, 2002).

### **3.3 Camada de Cobertura Final de Aterros Sanitários**

Em aterros sanitários, a camada de cobertura possui a missão de isolar a massa de resíduos do ambiente externo, conter o fluxo de entrada ou saída de gases e limitar a infiltração de água, fazendo com que haja a diminuição da geração de líquidos lixiviados. Ressalta-se que essa cobertura precisa ter baixa permeabilidade à água e ao ar e durabilidade ao longo do tempo (LOPES, MACIEL E JUCÁ, 2012).

As coberturas intermediárias são camadas executadas durante o período de operação dos aterros que, logo após o término das atividades são conhecidas como cobertura final. Geralmente, as primeiras camadas possuem espessura menor e são removidas sempre que existe necessidade de disposição de novos resíduos (DAMASCENO, 2018).

Segundo LOPES, MACIEL e JUCÁ (2012), várias configurações construtivas e materiais podem ser utilizados em camadas de cobertura de aterros sanitários de modo a aprimorar a captação de biogás por sistemas de drenagem de gases, assim como a retenção e/ou oxidação de CH<sub>4</sub>, salvo os casos em que a exploração energética não seja economicamente viável, diminuindo a emissão desse gás para a atmosfera. Logo, muitas denominações são utilizadas para as camadas de cobertura, levando em consideração o princípio físico, químico ou microbiológico que fundamenta o sistema.

O sistema de cobertura é constituído por diferentes camadas de solo, em combinação com algum geossintético (geotêxteis, geomembranas, geocompostos argilosos, resíduos, entre outros), no qual controla a infiltração de água para a massa de resíduos (Damasceno, 2018). Koerner et al (1997) e Teixeira (2008) apresentam, a composição de um sistema de cobertura final de um aterro sanitário, composto por uma camada de superfície, a camada de proteção, a

camada de drenagem, a camada de baixa permeabilidade ou barreira hidráulica, a camada de coleta de gás e a camada de regularização ou fundação.

Dessa forma, para um melhor entendimento, o Quadro 3 abaixo explica os tipos de camadas que usualmente constituem um sistema de cobertura, assim como breve descrição da sua função no meio e os materiais utilizados na sua montagem. Logo em seguida, a Figura 2 ilustra essas etapas respectivamente de maneira clara e concisa.

Quadro 3. Tipos de camadas que usualmente constituem um sistema de cobertura.

<b>TIPO DA CAMADA</b>	<b>FUNÇÃO</b>	<b>MATERIAIS UTILIZADOS</b>
<b>Superfície</b>	Fazer a interface da atmosfera com as camadas inferiores; evitar erosão; controlar a temperatura, infiltração e a evaporação das camadas inferiores.	Solo com vegetação, geossintéticos, material de pavimentação, pedregulho.
<b>Proteção</b>	Retem infiltração de água, protege o homem, animais e vegetais dos contaminantes, e as camadas inferiores do ciclo de molhagem e secagem.	Solo e materiais reciclados.
<b>Drenagem</b>	Reduzir altura da coluna de água na camada de baixa permeabilidade e a saturação das camadas superiores no período de chuva.	Areia e pedregulhos.
<b>Baixa permeabilidade ou Barreira hidráulica</b>	Minimizar a percolação de água; diminuir a saída de gases.	Argila compacta, geomembranas, materiais reciclados
<b>Coleta de gás</b>	Coletar; remover os gases liberados do resíduo	Areia, pedregulho, geotêxteis, materiais reciclados
<b>Regularização ou Fundação</b>	Coletar; remover os gases liberados do resíduo	Areia, pedregulho, geotêxteis, materiais reciclados

Figura 2. Sistema de cobertura de aterro sanitário.



Fonte: Baseado em Koerner et al (1997), adaptado por Oliveira et al (2017).

### 3.4 Fluxo de Gases em Camadas de Cobertura de Aterros Sanitários

Por meio de dois mecanismos de transporte, ocorre o transporte de gases através das camadas de cobertura de aterros sanitários, sendo esses o fluxo advectivo e o fluxo difusivo (TEIXEIRA, 2008).

#### 3.4.1 Fluxo Advectivo

Nesse processo, o gás se move de uma região de maior pressão para uma de menor pressão, sendo consequência da diferença de pressão entre o ambiente externo e o interno à massa de resíduos presentes em aterros sanitários, a advecção é o deslocamento relativo de um material em relação a um observador sob ação de forças, certo de que o fluxo advectivo está associado à velocidade própria do material ou do meio no qual o mesmo está sendo transportado (TEIXEIRA, 2008).

Segundo Costa (2015), o movimento de gás por advecção ocorre em função do gradiente de pressão entre dois pontos. No aterro sanitário, esse gradiente é consequência das variações de pressão interna gerada pela decomposição biológica dos resíduos e das diferenças da pressão atmosférica.

### **3.4.2 Fluxo Difusivo**

A difusão trata-se de um mecanismo de transporte de gases em espaços de disposição final de resíduos sólidos, quando há controle das trocas de fluidos com a atmosfera. Além disso, possibilita a movimentação extensiva de gases de uma área para outra, sem que haja gradiente de pressão total (MENDONÇA, 2007).

O fluxo difusivo dos componentes água e ar a partir do solo e de resíduos não reativos é resultado do produto do coeficiente de difusão do gás no solo e do gradiente de concentração no meio. O processo de difusão no aterro, ocorre quando o contaminante é transportado de uma região de alta concentração química para regiões de baixa concentração química, sendo que a atmosfera atua como elemento de dispersão dos gases (MACIEL, 2009).

### **3.4.3 Fatores que Influenciam o Fluxo de Gases**

Os fatores que influenciam a taxa de emissão de gases estão relacionados aos aspectos do ambiente interno a massa de resíduos, às condições climáticas e, as características do solo. A ineficiência da drenagem interna ou coleta de biogás pode acarretar o acúmulo de gases na massa de resíduos, resultando em elevadas taxas de emissão devido ao aumento do gradiente de pressão. Estudos das características do solo são de extrema importância para a compreensão do comportamento das emissões fugitivas de biogás em um aterro sanitário. Desse modo, os recalques diferenciais na massa de resíduos é outro fator que pode aumentar o fluxo de gases na liner, podendo resultar em fissuras na camada de cobertura, facilitando o deslocamento do gás para a atmosfera (MACIEL, 2009).

Nesse sentido, na Figura 3 são apresentados parâmetros geotécnicos da *liner*, bem como descrição de cada efeito na emissão de biogás.

Figura 3. Parâmetros geotécnicos e os efeitos na emissão de biogás em *liners* de aterros.

#### Tipo de Solo

- Solos argilosos são perfeitos para controle das emissões.

#### Umidade/Saturação

- A presença de água nos vazios do solo reduz a percolação dos gases.

#### Conteúdo Volumétrico de Ar

- Quanto maior a presença de poros aerados, mais rápida é a velocidade dos gases, aumentando as emissões.

#### Peso Específico/Compactação

- O aumento de peso específico dificulta a passagem dos gases, diminuindo as emissões.

#### Sucção

- Relação com a retenção/absorção da umidade na camada, em coberturas evapotranspirativas.

#### Temperatura

- A elevação da temperatura do solo favorece as emissões de gases.

#### Coefficiente de Permeabilidade

- Mede a facilidade/dificuldade do gás atravessar o solo por advecção. Grandeza proporcional ao fluxo de gás emitido.

#### Coefficiente de Difusão

- Mede a facilidade/dificuldade do gás atravessar o solo por difusão. Grandeza proporcional ao fluxo de gás emitido.

#### Contração/Expansão de Fissuras

- Ciclos de umedecimento/secagem favorecem o aparecimento de fissuras em solos argilosos, que aumenta a emissão.

#### Mineralogia

- Prováveis reações físico-químicas dos minerais do solo com os gases podem retê-los na cobertura.

Fonte: Maciel (2009), adaptado pela Autora.

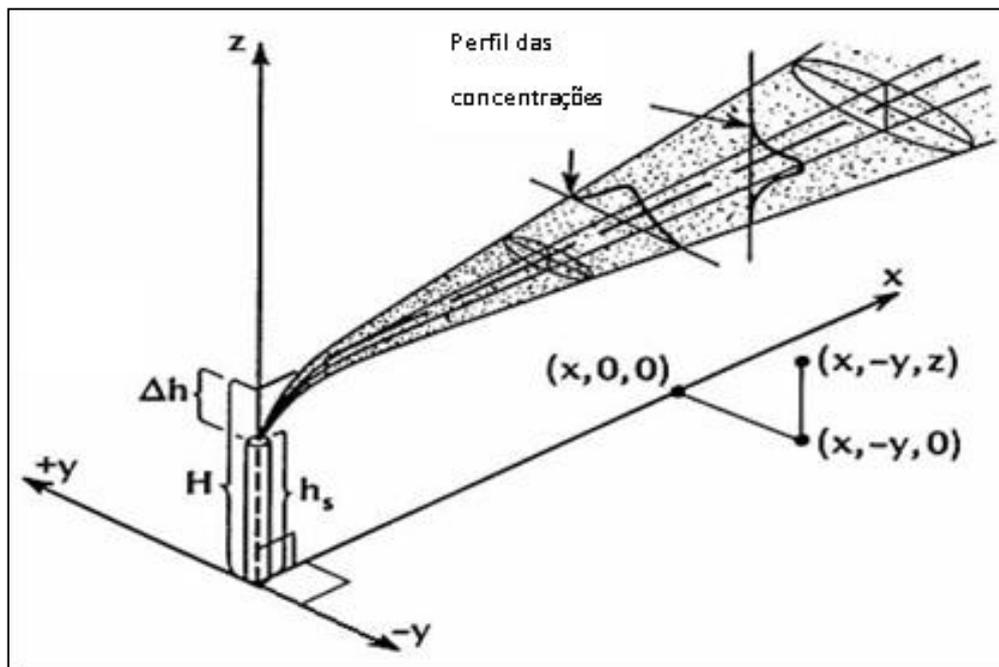
### 3.5 Modelos de Dispersão Atmosférica

Modelos de dispersão atmosférica tendem a ser uma ferramenta útil no auxílio de estudos para minimização dos riscos de impactos ambientais, contudo, podem ser complexos e necessitam da utilização de uma grande quantidade de cálculos, desse modo, desenvolveu-se uma série de algoritmos matemáticos para executá-los (MARTINS et al, 2015).

Nesse contexto, modelos computacionais de dispersão de poluentes atmosféricos vêm sendo vastamente utilizados na simulação da concentração de poluentes, solucionando falhas no monitoramento de emissões atmosféricas oriundas de uma chaminé ou de células de aterro sanitários, bem como auxiliando no acompanhamento da qualidade do ar (ARAÚJO, 2012).

Segundo Martins et al (2015), o Modelo de Dispersão Gaussiana baseia-se nas condições da atmosfera para proceder com suas simulações, em que uma fonte apresenta a dispersão de seus poluentes em forma de curva, análoga à Curva Normal usada em modelos estatísticos. Além disso, grande parte dos modelos de dispersão de plumas fundamenta-se na teoria de estatística de Gauss. A Figura 4 apresenta um desenho esquemático da pluma gaussiana, assumida a partir de uma fonte pontual de emissão.

Figura 4. Desenho esquemático da pluma gaussiana e distribuição das concentrações.



Fonte: Lora (2002), adaptado por Araújo (2012).

Desta forma, Braga et al. (2005) apontam que existe uma equação diferencial parcial que inclui as concentrações de um poluente com as coordenadas espaciais, com o tempo e com outros poluentes, assim como nos casos de poluentes reativos na atmosfera. A concentração de um determinado poluente em um certo ponto do espaço é definida pelo cálculo de dispersão de plumas atmosféricas, conforme Equação 1, baseada na teoria da pluma Gaussiana e aprimorada por Boubel no ano de 1994.

Equação 1: Cálculo de dispersão de plumas atmosféricas.

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

Fonte: Braga et al. (2005)

Onde:

C = Concentração de poluentes [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Q = Taxa de emissão de poluentes (gases) [g/s]

x = Coordenada horizontal com origem no eixo x [m]

y = Distância no eixo y [m]

z = Distância no eixo z [m]

u = Velocidade do vento [m/s]

$h_s$  = Altura da fonte de emissão [m]

H = Altura efetiva da emissão do poluente [m]

$\sigma_y$  = Coeficiente de dispersão horizontal

$\sigma_z$  = Coeficiente de dispersão vertical

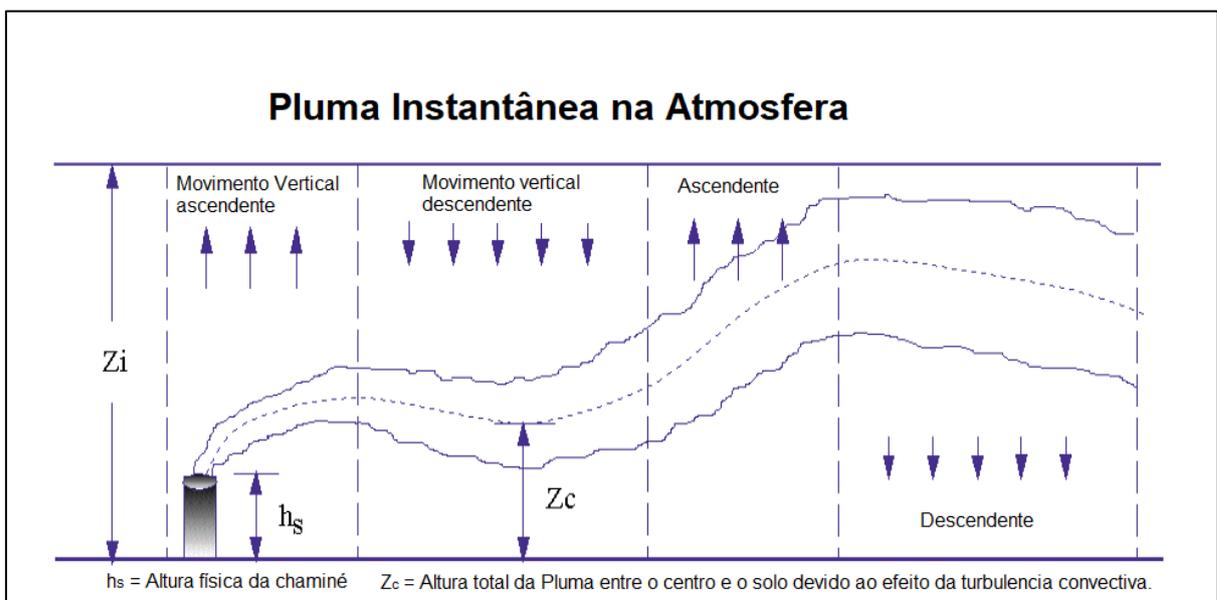
Martins et al (2015), expõe que a movimentação do ar é o principal fator para a dispersão do poluente em uma pluma gaussiana, tanto pelo movimento médio do ar carregando os poluentes, quanto pela difusão turbulenta no espaço. Ressalta-se que as variáveis meteorológicas que guardam o processo de dispersão no mundo real são complexas e mutáveis

em um curto período. Com isso, serão adotados valores médios em escalas de tempo para alguns parâmetros (BRAGA et al., 2005).

Em 1991, a American Meteorological Society (AMS) e a U.S. Environmental Protection Agency (EPA) iniciaram um projeto de colaboração formal para desenvolver um modelo matemático de dispersão atmosférica que reunisse os conceitos físicos turbulentos da baixa atmosfera dentro da camada limite planetária (CLP). Para tanto, formou-se um grupo de trabalho sob a sigla AERMIC (AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committe) composto de cientistas da AMS e da EPA para esse objetivo (CIMORELLI ET AL, 1996).

O AERMOD é um modelo pluma gaussiano e estacionário. No seu desenvolvimento analítico, foi assumido que a distribuição das concentrações dos poluentes obedece a uma distribuição gaussiana tanto na vertical como horizontal, apresentando resultados de curto prazo e de longo prazo. Segundo Cimorelli et al. (2004), a trajetória instantânea da pluma de poluentes é assumida como uma distribuição de concentração gaussiana em torno de sua linha central de variação aleatória. A concentração média é encontrada pela soma das concentrações devidas a todos os deslocamentos aleatórios da linha central da pluma. Este processo de média resulta em uma distribuição onde o AERMOD representa uma oscilação da pluma no sentido ascendente e outra no sentido descendente, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Movimentos verticais ascendentes e descendentes da pluma na modelagem de dispersão.



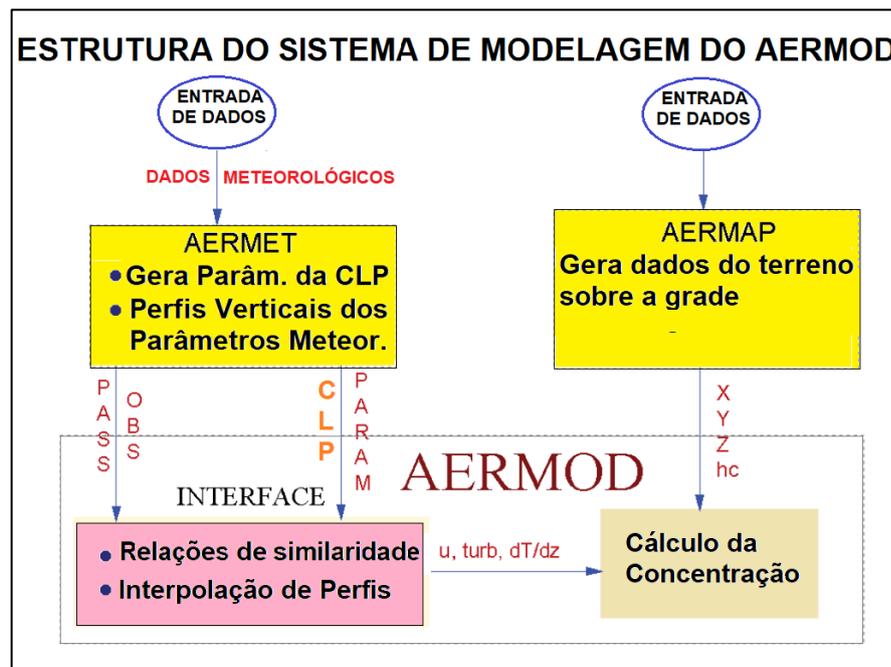
Fonte: Cimorelli et al. (2004).

O modelo poderá ser aplicado tanto em regiões rurais como urbanas sobre terrenos planos ou de irregularidade complexa para fontes pontuais, áreas (como aterros), de volume

(pilhas de mineração) e de linha (fontes móveis). O AERMOD View é um pacote de modelagem de dispersão composto de dois pré-processadores, AERMET e AERMAP, e os modelos de dispersão, AERMOD e o ISC-PRIME. A interface Windows desse pacote foi desenvolvida por THÉ et al. (2021), cuja referência consta maiores detalhes sobre a interface do pacote de modelagem.

O AERMET é um pré-processador meteorológico, que calcula todos os parâmetros meteorológicos necessários para descrever adequadamente a Camada Limite Planetária (CLP). O AERMAP, é um pré-processador de topografia do terreno, que estima as curvas de níveis para descrever as irregularidades do terreno ajustando-o sobre a grade receptora de domínio da área definida para modelagem (CIMORELLI et al., 2004). A Figura 6 mostra o diagrama de fluxo que o AERMOD realiza o processamento das informações.

Figura 6. Fluxograma do sistema de processamento de dados para modelagem do AERMOD.



Fonte: Cimorelli et al. (2004).

Observa-se que o sistema de modelagem consiste em um programa principal (AERMOD) e dois pré-processadores (AERMET e AERMAP). O principal objetivo do AERMET é calcular os parâmetros da camada limite superficial atmosférica para serem usados pelo AERMOD. A interface meteorológica interna do AERMOD, utiliza os parâmetros produzidos pelo AERMET para gerar os perfis das variáveis meteorológicas necessárias para o cálculo das concentrações de Poluentes.

O AERMOD é indicado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – USEPA como modelo regulador, o qual incorpora a dispersão do poluente baseado na estrutura turbulenta, incluindo o tratamento de fontes superficiais ou elevadas. É um modelo de ampla utilização comercial e, avalia concentrações de poluentes para uma grande variedade de tipos de fontes poluidoras. Considera terrenos complexos, detalhamento de pontos receptores e dados meteorológicos detalhados, analisando vários tipos de poluentes, a exemplo de H<sub>2</sub>S, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PTS e MP10 (USEPA, 2021).

### 3.6 Legislação Brasileira sobre Poluição Atmosférica

Na legislação brasileira existem várias leis e resoluções ligadas ao meio ambiente, com foco no controle da poluição em qualquer uma de suas formas, inclusive a atmosférica. Considerando a necessidade de uma avaliação permanente das ações e controles instituídos através de normas técnicas, é estratégica a adoção de padrões de qualidade do ar como ação complementar e referencial dos limites máximos de emissão estabelecidos (ARAÚJO, 2012).

Entretanto, não há no Brasil uma legislação que determine os limites de emissão ou padrão de qualidade do ar aceitáveis para avaliar o impacto da difusão de odor que se baseiem em métodos de cunho olfatométrico, desse modo o odor não é considerado um poluente regulamentado de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2010). O Quadro 4 apresenta algumas normas existentes no Brasil e no Estado de Alagoas, o ano em vigor e bem como sua respectiva definição.

Quadro 4. Resoluções federais e estaduais com foco no controle da poluição.

RESOLUÇÃO	ANO	DESCRIÇÃO
Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto.	1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de aplicação e dá outras providências.
CONAMA nº 18, de 06 de maio.	1986	Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores (PROCONVE).
Parágrafo VI, art. 23, da Constituição Brasileira.	1988	Determina que é competência comum de todas as esferas públicas proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas.

<b>RESOLUÇÃO</b>	<b>ANO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Parágrafo VI, art. 24 da Constituição Brasileira.	1988	Estabelece que a União, os Estados e o Distrito Federal devem legislar sobre as florestas, conservação da natureza, defesa do solo, do meio ambiente e controle da poluição.
CONAMA nº 05, de 15 de junho.	1989	Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da qualidade do Ar (PRONAR).
Decreto Federal nº 99274, de 06/06, parágrafo I, art. 36.	1990	Elenca que serão impostas multas a quem causar poluição atmosférica que provoque a retirada dos habitantes de um quarteirão urbano ou localidade equivalente.
CONAMA nº 03, de 28 de junho.	1990	Dispõe padrões de qualidade do ar previstos no PRONAR.
CONAMA nº 08, de 06 de dezembro.	1990	Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição.
Lei Municipal nº 4.548 de 21 de novembro.	1996	Dispõe sobre a administração do uso dos recursos ambientais, da qualidade do meio ambiente, do controle das fontes poluidoras no território do Município de Maceió.
CONAMA nº 382, de 26 de dezembro.	2006	Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos por fontes fixas.
CONAMA nº 430, de 22 de dezembro.	2011	Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007.
Lei Estadual nº 7653, de 24 de julho.	2014	Dispõe sobre as atividades pertinentes ao controle da poluição atmosférica, padrões e gestão da qualidade do ar, no estado de Alagoas.
CONAMA nº 491, de 19 de novembro.	2018	Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar.
Lei nº 14.026, de 15 de julho.	2020	Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984 para atribuir à ANA competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento.

Fonte: Brasil (1981, 1986, 1988, 1989, 1990, 2006, 2014, 2018, 2020); Maceió (1996); Alagoas (2014).

Vale ressaltar que o Ministério do Trabalho e Previdência através da Norma Regulamentar nº 15 (NR-15), em seu anexo nº 11, descreve os agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho. Segundo a NR-15, o limite de tolerância para o Gás Sulfídrico (H<sub>2</sub>S) é de 8 ppm em até 48 horas semanais de trabalho, sendo que o grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização é máximo, conforme mostra a Tabela 1 (BRASIL, 2016).

Tabela 1. Limites de Tolerância para Atividades Potencialmente Insalubres.

Substância Química	Valor limite	Absorção pela Pele	Jornada 48h/semana		Grau de insalubridade
			ppm*	mg/m <sup>3</sup> **	
Gás sulfídrico, H <sub>2</sub> S	-	-	8	12	Máximo

\* ppm = partes de vapor ou gás por milhão de partes de ar contaminado.

\*\*mg/m<sup>3</sup> = miligrama por metro cúbico de ar.

Fonte: Brasil (2016).

### 3.7 Padrão de Qualidade do Ar

Os padrões de qualidade do ar foram estabelecidos na Resolução Federal CONAMA 491 de 19 de novembro de 2018, apenas para os poluentes regulamentados: Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (MP10), Partículas Inaláveis (MP2,5), Dióxido de Enxofre, (SO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono, (CO), Dióxido de Nitrogênio, (NO<sub>2</sub>) e o Ozônio (O<sub>3</sub>).

O H<sub>2</sub>S é um poluente não regulamentado pela Resolução CONAMA 491/2018, portanto não estabelecido um padrão de qualidade do ar para esse gás. Pesquisas internacionais sobre o H<sub>2</sub>S, contemplando os Estados Unidos, e países da Europa, Oceania, Ásia, África, e Oriente Médio, constataam um grande esforço mundial para regulamentação de padrões para odores. Em geral, a abordagem para definição de padrões se baseia em cinco principais: padrão máximo de impacto; padrão de emissão; padrão máximo de incômodo; padrão limite tecnológico de equipamentos de medição (VASAREVICIUS, 2011).

De acordo com Mainier (2002), a abordagem mais comum para avaliação dos efeitos toxicológicos de odor no receptor humano é o padrão de impacto máximo, aplicando os limites internacionais de padrões de concentração de odor no ar ambiente. Em face disso, selecionou-se cinco limites de emissão de substâncias químicas de odor aplicados nos seguintes locais: Califórnia, Novo México, Nova Iorque, Pensilvânia e Coréia do Sul, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Limites internacionais de emissão de Odor por H<sub>2</sub>S.

Limites de Emissão de Odor					
Substância Química	Local	Zona Residencial		Zona Industrial	
		ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Sulfeto de Hidrogênio (H <sub>2</sub> S)	Califórnia, EUA	0,03	41,84	-	-
	Novo México, EUA	0,01	13,91	-	-
	Nova Iorque, EUA	0,01	13,91	-	-
	Pensilvânia, EUA	0,10	139,5	-	-
	Coréia do Sul	0,02	27,89	0,06	83,68

Fonte: Mainier (2002).

### 3.7.1 Considerações Sobre o Sulfeto de Hidrogênio

Segundo Trevisan (2017), o Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S) também denominado de gás ácido ou gás sulfídrico, é um gás incolor de cheiro desagradável característico, extremamente tóxico, corrosivo, mais denso que o ar e parcialmente solúvel em água formando os compostos químicos HS (sulfeto ácido) e o S<sub>2</sub> (sulfeto). Também é solúvel em certos solventes orgânicos polares, tais como: metanol, acetona, glicol, glicerol, gasolina, querosene, dissulfeto de carbono e petróleo bruto. Além disso, é bastante inflamável e sua temperatura de autoignição é de 260°C e o limite de baixa explosividade é da ordem de 4,3% no ar (LIU et al., 2011).

As fontes de H<sub>2</sub>S podem se apresentar decorrentes de origem natural ou de processos de atividades industriais. O sulfeto de Hidrogênio pode ser de origem vulcânica de gases sulfurosos, assim como em águas subterrâneas, presentes nos hidrocarbonetos, como petróleo ou gás natural e como produtos de processos bacterianos formados de decomposição de plantas ou de proteína animal. Nas atividades de acúmulo de resíduos em aterros sanitários que produzem odores decorrentes do processo de putrefação da carga orgânica do material acumulado nos aterros (MAINIER, 2002).

### 3.7.2 Efeitos Toxicológicos do H<sub>2</sub>S

Os sintomas e sinais típicos de intoxicação por sulfeto de hidrogênio são frequentemente causados por concentrações relativamente elevadas em exposições de saúde ocupacional no ambiente de trabalho, onde a matéria prima esteja relacionada com esse gás. (SILVA, 2017). Os danos à saúde podem advir de exposição de curta e/ou longa duração, pertinentes ao contato de produtos tóxicos com a pele e olhos, bem como a inalação de seus vapores, implicando em doenças respiratórias crônicas, doenças do sistema nervoso, doenças nos rins e fígado, e até mesmo alguns tipos de câncer (FIOCRUZ, 2004).

O Sulfeto de Hidrogênio na forma gasosa pode ser reconhecido pelo seu cheiro característico de “ovo podre”. Estudos mostram que a percepção inicial desse odor varia de pessoa para pessoa, porém a concentração de 0,005ppm ou 6,95 mg/m<sup>3</sup> foi considerada suficiente para que o cheiro comece a ser percebido. A irritação conjuntival é o próximo sintoma subjetivo e pode causar o chamado “olho de gás”, para concentrações de H<sub>2</sub>S entre 70-140 mg/m<sup>3</sup> (HALLMAN & ALDRICH, 2006). A Tabela 3 mostra as faixas de concentração do Sulfeto de Hidrogênio e os impactos na saúde humana.

Tabela 3. Estabelecimento do efeito do H<sub>2</sub>S na saúde humana.

Faixas de Concentração de Sulfeto de Hidrogênio H <sub>2</sub> S		EFEITO NA SAÚDE HUMANA
mg/m <sup>3</sup>	ppm	
1400-2800	530-1000	Colapso imediato com paralisia da respiração
750-1400	530-1000	Forte estimulação do SNC, hiperpneia seguida de parada respiratória
450-750	320-530	Edema pulmonar com risco de morte
210-350	150-250	Perda do sentido olfativo
70-140	50-100	Lesões graves na visão
15-30	10-20	Limite para irritação dos olhos

Fonte: Hallman & Aldrich, 2006.

### 3.7.3 Formação do H<sub>2</sub>S em Aterros Sanitários

Os aterros sanitários são uma das principais fontes de incômodos odoríferos no ambiente e podem causar muitas reclamações de pessoas residentes que vivem próximas às instalações (SADOWSKA-RODZIK et al., 2009). Em grande medida, o problema do odor tornou-se uma das principais reclamações da opinião pública existentes nas imediações, provenientes do acúmulo de resíduos sólidos do aterro sanitário (ASAKURA et al., 2010).

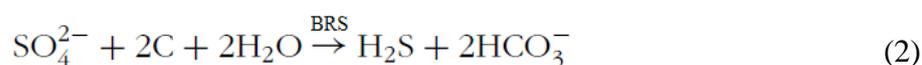
A emissão de H<sub>2</sub>S de aterros sanitários tornou-se uma preocupação ambiental crescente, por se tratar de um gás venenoso, inflamável, incolor e com odor característico de “ovo podre” (HE et al., 2012). Sabe-se que o H<sub>2</sub>S apresenta a propriedade de inflamabilidade no ar em concentrações entre 4,3-45,5% em volume do gás, e o limiar de odor do H<sub>2</sub>S varia de 0,0005 a 0,3 ppm (ATSDR, 2008). Por causa do baixo limite de percepção, o gás de aterro emitido com baixa concentração de H<sub>2</sub>S poderá causar reclamações de odor por moradores vizinhos ao aterro. Não apenas para controle de odor, mas também para projetos de conversão de gás de

aterro em energia, o H<sub>2</sub>S deve ser removido dos drenos devido à sua corrosividade ao equipamento (FAIRWEATHER E BARLAZ, 1998).

Além disso, o H<sub>2</sub>S representa uma ameaça potencial à saúde e segurança das pessoas que vivem ou trabalham perto das instalações que liberam o composto. Embora muitos estudos tenham sido realizados para controlar a emissão de H<sub>2</sub>S de vários tipos de fontes, poucas revisões abrangentes foram realizadas sobre a emissão e controle de H<sub>2</sub>S em aterros. Para resolver os problemas de odor de H<sub>2</sub>S em um aterro sanitário, é necessário entender a geração do mesmo para poder gerenciar o aterro adequadamente (YING et al., 2012).

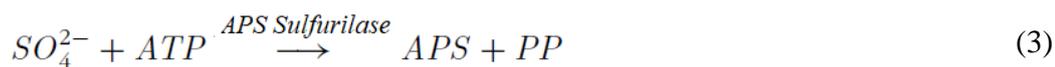
Os microrganismos são capazes de produzir H<sub>2</sub>S a partir de compostos inorgânicos de enxofre, sulfato e sulfito, através da via de assimilação de sulfato ou compostos orgânicos de enxofre, e através do catabolismo de cisteína e glutatona. O sulfeto de hidrogênio pode ser produzido tanto a partir da redução bacteriana do sulfato quanto da decomposição de constituintes orgânicos contendo enxofre em condições anaeróbias em aterros sanitários (WINTER E CURTIN, 2012).

A geração de H<sub>2</sub>S a partir da redução dissimilatória de sulfato tem sido realizada por um grupo especializado de anaeróbios, chamados de Bactérias Redutoras de Sulfato (BRS), que são amplamente difundidos em sistemas de esgoto, lodo de águas residuais e aterros sanitários (HAO, 2003). A população de BRS em um aterro simulado em escala de laboratório atingiu  $8,1 \times 10^6$  células por dia (FAIRWEATHER E BARLAZ, 1998). Durante o processo de redução dissimilatória, as (BRS) obtêm energia para o crescimento por oxidação de substratos orgânicos e usam sulfato como acceptor de elétrons terminal conforme a Equação 2 (LANDAUD et al., 2008):



Todavia, a geração de H<sub>2</sub>S através da Redução Biológica de Sulfato (BRS) incluem principalmente três etapas (BARTON E PLUNKETT, 2002):

- a) Ativação de sulfato (Equação 3);
- b) Redução de sulfato a sulfito (Equação 4); e
- c) Formação de sulfeto (Equação 5):



Em condições anaeróbias, resíduos contendo compostos orgânicos de enxofre (cisteína e metionina) podem ser decompostos pelo processo de dessulfuração. Durante o processo, o enxofre é dessulfurado de moléculas orgânicas para gerar o gás H<sub>2</sub>S, conforme mostra a equação 6 (PEU et al., 2012).



A putrefação pode desempenhar um papel importante na produção de H<sub>2</sub>S em algumas condições. No entanto, acredita-se que a taxa de produção de H<sub>2</sub>S por processo putrefativo é insignificante em comparação com a redução de sulfato inorgânico, conforme discutido acima (HE et al., 2011).

### 3.7.4 Fonte de Emissão de Enxofre em Aterros

A principal fonte de emissão de enxofre em aterro inclui resíduos orgânicos contendo restos de alimentos e papel, o lodo de estações de tratamento de águas residuárias de esgoto (ETEs) e, o *drywall* de gesso, especialmente em aterros de detritos de construção e demolição (XU et al., 2010). O uso de restos de gesso por Bactérias Redutoras de Sulfato (BRS) para produzir H<sub>2</sub>S em aterros sanitários foi estudada, por se tratar de um mineral composto por sulfato de cálcio (CaSO<sub>4</sub>) e água (H<sub>2</sub>O), sendo amplamente utilizado em construções residenciais e renovação de paredes de interiores. Embora os resíduos de gesso cartonado possam ser reciclados, muitas vezes acabam em aterros, atendendo a Resolução CONAMA 307 de 2002, que dispõe sobre a gestão de resíduos da construção civil (MUSSON et al., 2008).

O descarte inadequado de restos de alimentos é um dos principais componentes do resíduo sólidos urbanos (RSU). Alguns resíduos de alimentos, como laticínios e produtos de carne, contêm compostos orgânicos de Enxofre (FANG et al., 2012). O teor de enxofre típico em resíduos alimentares é conhecido por conter até 0,4% (em massa) por análise final (medido como Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio, Oxigênio, Enxofre e cinzas). Sob condições

anaeróbias, os compostos orgânicos de enxofre, como cisteína e metionina, são biologicamente decompostos para produzir  $H_2S$  (RYCKEBOSCH et al., 2011).

O lodo de águas residuais é um subproduto gerado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), e em Aterros é prática comum a disposição do lodo no RSU (FANG, 2012). O teor de enxofre contido no lodo de esgoto varia entre 0,0% e 2,3% em base sólida seca. Como o lodo é geralmente desidratado antes de ser depositado em aterro, alguns condicionadores químicos são frequentemente adicionados para aumentar a capacidade de desidratação do lodo (DEWIL et al., 2009).

O uso dos condicionadores pode afetar a geração de  $H_2S$  em aterros sanitários. Pesquisas para investigar a emissão de compostos de gases odoríferos a partir de diferentes processos de condicionamento de lodo, indicam que a geração de  $H_2S$  diminuiu com a adição de CaO como condicionador. No entanto, a adição de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) e de sulfato de ferro ( $FeSO_4$ ) para o ajuste do pH e do reagente de Fenton não só aumentou o teor de enxofre no lodo, mas também acelerou a decomposição de proteínas contendo enxofre (LIU et al., 2011).

### **3.7.5 Fatores que afetam a formação biológica de $H_2S$**

A geração de  $H_2S$  é resultado principalmente de processos biológicos, que está fortemente relacionada ao crescimento de BRS (Bactérias Redutoras de Sulfato). D'Imporzano et al. (2008) relataram que houve uma boa correlação linear entre a atividade biológica e as moléculas de odor ( $R^2 = 0,991$ ) durante a biodegradação de matéria orgânica, uma vez que a atividade do BRS em aterros depende de muitos fatores diferentes, como teor de umidade, temperatura e o pH.

A umidade é essencial para o crescimento do BRS. Bergersen e Haarstad (2008) observaram que a produção de  $H_2S$  aumentou significativamente quando os resíduos estão úmidos e saturados de água. Após um evento de chuva, as concentrações de  $H_2S$  no ambiente eram geralmente maiores do que aquelas em condições normais em aterros sanitários, certo de que a infiltração da água da chuva em resíduos secos pode estimular a atividade do BRS resultando na geração de  $H_2S$  (BERGERSEN E HAARSTAD, 2008).

A temperatura é outro parâmetro importante para elevação das BRS. As taxas de redução de sulfato normalmente aumentam de 2 a 3,9 vezes com um aumento da temperatura até  $10^\circ C$  (WIDDLE, 1988). A temperatura ideal para a maioria das culturas puras de BRS varia de  $28^\circ C$  a  $32^\circ C$ . Xu et al. (2010) observaram que a geração de  $H_2S$  sob uma camada de composto foi

reduzida até certo ponto, devido à alta temperatura (cerca de 51°C) na camada. A produção de H<sub>2</sub>S de um aterro varia com as estações climáticas do ano, provavelmente devido à variação sazonal da temperatura. Kim (2006) mediu a variação sazonal da emissão de H<sub>2</sub>S de dois aterros sanitários na Coreia do Sul. Os resultados indicaram que o H<sub>2</sub>S teve a maior taxa de emissão durante o verão. Vasarevicius (2011) também observou que as concentrações de H<sub>2</sub>S no ar próximo a um aterro estavam relacionadas com mudanças de temperatura ambiente, pois a geração de H<sub>2</sub>S na camada superior do resíduo foi afetada pela temperatura do ar.

### **3.7.6 Fatores que afetam a emissão e difusão de odor nos Aterros Sanitários**

Nos aterros sanitários a emissão de odor na atmosfera pode ser influenciada por fatores como: as dimensões do aterro; a quantidade e a composição dos resíduos; a idade do aterro; e a eficiência do sistema de extração de biogás. A estes ainda se podem adicionar os fatores meteorológicos, que podem influenciar tanto a geração de odor como a sua difusão no ar. Os fatores operacionais do aterro também podem ser importantes na prevenção da emissão de odor na atmosfera (SIRONI et al., 2005).

As características do odor variam com a composição e a idade dos resíduos acumulados em aterros sanitários, do grau de decomposição biológica, da taxa de produção de gás odorífero e com a natureza da população microbiana existentes nos resíduos, entre outros fatores. A estabilidade biológica proveniente da degradação da matéria orgânica do resíduo acumulado poderá reduzir significativamente em muito a formação de gases odoríferos, já que os resíduos nas fases finais de decomposição possuem menos capacidade de formação de odor (NICELL, 2009).

### **3.7.7 Odor e Condições Meteorológicas**

Com relação as condições meteorológicas podem influenciar muito a percepção de odor pela população residentes nas vizinhanças do aterro sanitário. De acordo com Stretch et al. (2001), as reclamações da população residentes no entorno do aterro coincidem com períodos de calor e umidade elevadas, e estas provêm de locais onde a direção dos ventos predominantes, que é confirmado nas pesquisas realizadas por Sadowska-Rocie et al. (2009), que indicam que a percepção do odor pela população é influenciada por: o vento difunde em 30,5% a pluma de odor; a umidade relativa intensifica o odor em 22,6%; as temperaturas máximas aumentam em

6,3%, a percepção de odor; a variabilidade climática tende a intensificar o odor em 40,6% nos meses de inverno.

As baixas temperaturas favorecem a degradação dos resíduos e à difusão dos gases na atmosfera, estando associada a condição estável. Deste modo, as condições frias e húmidas favorecem a degradação dos resíduos e a ocorrência de odores na baixa atmosfera que atingem diretamente os receptores humanos residentes nas vizinhanças do aterro. A ocorrência de baixas porcentagens de umidade relativa pode favorecer a concentração dos lixiviados e aumentar a propagação de odor emanados pelo aterro sanitário (HAUPERT, 2018).

Landaud et al. (2009) em seu trabalho verificou a importância da pressão atmosférica na emissão passiva de odores, uma vez que a pressão atmosférica baixa exterior à pilha de resíduos aumenta o gradiente de pressão entre a pressão interna e a externa do aterro, o que permite ao biogás se difundir verticalmente do aterro para atmosfera, enquanto as pressões externas elevadas tendem a provocar o fenômeno inverso.

À medida que a temperatura externa da célula do aterro aumenta, também aumenta a quantidade de energia disponível para as moléculas se reproduzirem. As moléculas causadoras de odor, quando estão no estado líquido ou sólido, precisam de energia extra para passar para a fase gasosa. Nesse caso a temperatura fornece um aumento de energia para líquidos ou sólidos para transformá-los em gases (mais odoríferos). O aumento da temperatura promove o aumento o estado líquido para fase vapor, resultando na produção de mais moléculas causadoras de odor para atmosfera gerando um estado crítico de percepção insuportável de inalação pelo nariz (LANDAUD et al., 2009).

Em Maceió – AL, de acordo com INMET (2022), a média das temperaturas máximas recordes é 34,3 °C, que faz com que as bactérias causadoras de odor se proliferem mais rapidamente, resultando em um aumento na atividade das enzimas de caráter odoríficos. De acordo com Hauptert (2018), dependendo do tipo de bactérias, as temperaturas máximas de verão estão dentro da faixa de temperaturas ótimas para o rápido crescimento de bactérias, resultando no aumento de moléculas causadoras de odor. Maceió está submetida a esse fenômeno tendo em vista as temperaturas elevadas na região.

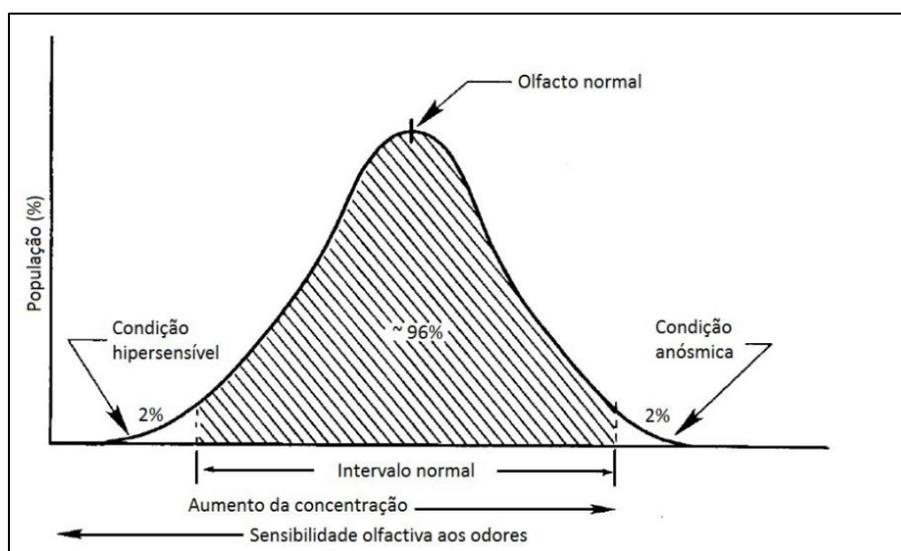
### **3.8 Percepção de Odor**

Os odores são percebidos, através da sensibilidade olfativa que faz parte da capacidade humana da reação de um estímulo químico (olfato e paladar). A inalação aumenta o fluxo de ar

turbulento e a interação com as células sensoriais, que podem ser entre 10 e 30 milhões, concentradas numa pequena área de cerca de 4 cm<sup>2</sup>. que são uma extensão do cérebro, local onde deve ocorrer a avaliação do tipo de odor (EAUK, 2002c).

Cerca de 2% dos indivíduos são previsivelmente hipersensíveis e 2% não possuem sensibilidade olfativa. O intervalo de pessoas sem sensibilidade inclui pessoas totalmente privadas de olfato (anósmicas) e pessoas privadas parcialmente de olfato (hipósmicas). Uma pessoa pode ser insensível a um tipo de odor e hipersensível a outro (EAUK, 2002a). A acuidade olfativa da população segue uma distribuição lognormal (Figura 7).

Figura 7. Diagrama lognormal da frequência da sensibilidade olfativa da população.



Fonte: adaptado de EAUK (2002a).

De acordo com o Guia para Odores da Agência Ambiental do Reino Unido (EAUK, 2002b), existem vários fatores que afetam a variação na resposta aos odores entre pessoas, que podem ser descritos como físicos ou psicossociais. Alguns fatores físicos são a variação na habilidade de detectar odores ao longo da vida, a maior sensibilidade na detecção de odores por parte das mulheres e a inibição da sensibilidade olfativa associada a indivíduos fumantes. Já nos fatores psicossociais estão o histórico de exposições, a percepção dos riscos para a saúde provenientes das emissões, a dependência econômica da fonte, as expectativas, a satisfação e a personalidade de cada indivíduo.

A fadiga, ou adaptação olfativa, é um fenômeno que ocorre quando as pessoas com sentido de olfato normal estão sujeitas a uma diminuição na intensidade de percepção de odor quando submetidas a um estímulo contínuo (Davis, 2000). Este fenômeno pode acontecer de diversas formas, entre as quais (EAUK, 2002c):

- Em situações extremas, existe a ação de gases como o sulfureto de hidrogénio (H<sub>2</sub>S) com concentrações elevadas que paralisam os nervos olfativos, incapacitando o nariz de detectar o odor de cheiro de ovo podre, tornando ainda mais perigosa a presença de H<sub>2</sub>S;
- Quando um indivíduo usa um perfume, rapidamente se abstrai do seu próprio odor, no entanto, vai ser cativado pela percepção do odor vindo do perfume de outro indivíduo próximo, e vice-versa.

Pessoas que trabalham em ambiente de forte odor como por exemplo um Aterro Sanitário de resíduos urbanos, rapidamente vão perdendo a capacidade de percepção de odor envolvente, possivelmente até ao ponto de deixarem de detectar outros tipos de odores regulares. Apesar da Agência do Ambiente do Reino Unido (EAUK,2002c) considerar esse fenômeno incluso na adaptação olfativa, Davis (2000) considerou esse fenômeno como distinto, designando-o como anosmia ocupacional.

O outro fenômeno contrário ao efeito da fadiga, existem situações de hipersensibilidade, que segundo a EAUK (2002b) que podem ser do tipo:

- Indivíduos que são previamente preparados para uma situação de exposição de odor, o seu limite de percepção concentrado em detectar um determinado tipo de odor é menor comparativamente com alguém que não foi preparado com esse objetivo;
- Situações em que um indivíduo submetido a uma consulta médica para avaliar sua capacidade de detecção olfativa poderá ser diagnosticado com a hipersensibilidade, isto é, com pouca capacidade de percepção odorífera.

### **3.9 Estado da Arte**

Utilizando algumas das plataformas digitais disponíveis para pesquisa, como Scielo, Scopus, Periódicos Capes e o Google Scholar, partindo do uso de palavras chaves, foi possível encontrar diversos documentos com informações relevantes sobre o tema da respectiva pesquisa.

O estudo inicia-se a partir da questão problema, “quais são as principais publicações sobre Análise das Emissões Fugitiva em Aterros Sanitários?”. Com isso, os trabalhos encontrados foram utilizados como referências no desenvolvimento desta dissertação, e serão apresentados no Quadro 5, contendo o título, autor, ano de publicação e os principais resultados.

Quadro 5. Principais trabalhos acadêmicos utilizados como referências.

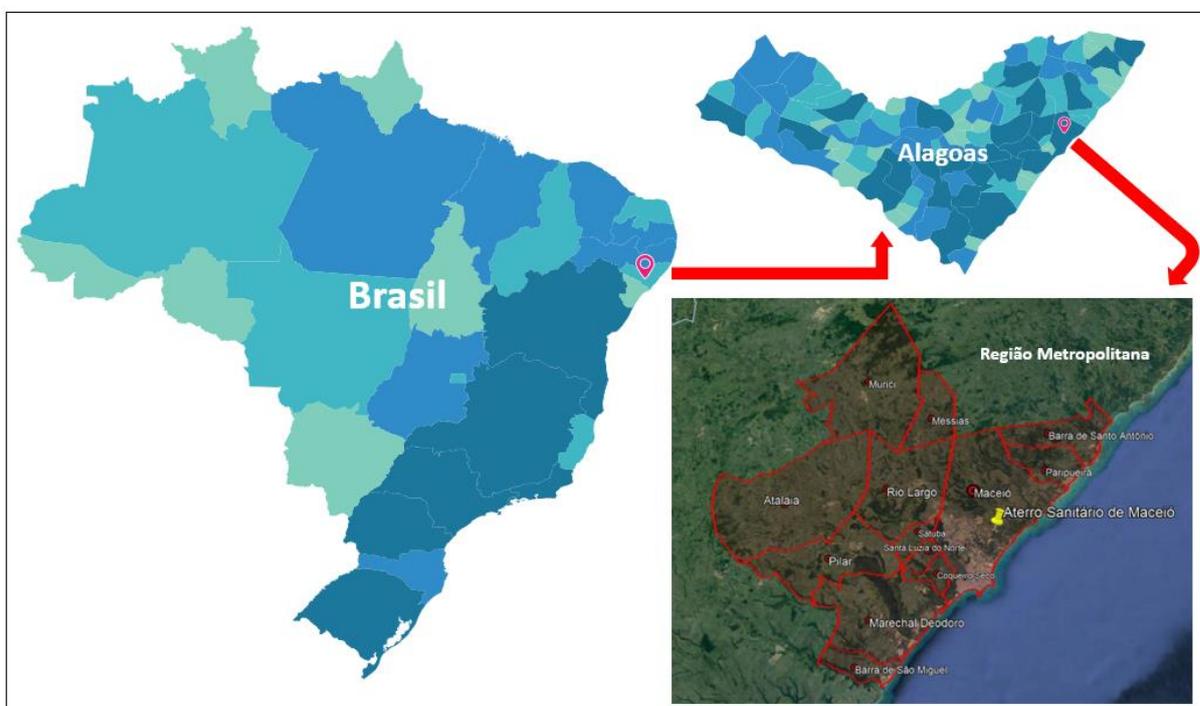
<b>TÍTULO</b>	<b>AUTOR</b>	<b>ANO</b>	<b>PRINCIPAIS RESULTADOS</b>
Geração quantitativa e qualitativa da emissão de biogás no aterro sanitário de Maceió.	SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; MARDER, M.; ARAÚJO, L. G. S.	2020	Medições de vazões e determinação da composição do biogás nos drenos verticais emitido pelo aterro sanitário de Maceió, cidade localizada no litoral de Alagoas, avaliando a vazão e a qualidade do biogás.
O Aterro Sanitário de Marituba: Estimativa e Dispersão das Emissões de Biogás e a Percepção da Mudança da Qualidade do Ar pela População do Entorno.	MACHUCA ESPÍRITU, J. G.	2019	Definição de políticas públicas para a localização de novos aterros sanitários e na implementação de ações para mitigar o impacto negativo dos aterros existentes.
Avaliação da Geração do Sulfeto de Hidrogênio e seus riscos à saúde do trabalhador em estação de tratamento de esgoto.	TREVISAN, T. S.	2017	Concluiu-se que a Estação C, na qual utiliza o sistema de tratamento composto por reator anaeróbico com lagoa facultativa é o que mais gera sulfeto de hidrogênio para o ambiente e que acarreta maiores condições de insalubridade em relação as outras estações.
Modelagem de Dispersão de Poluentes Atmosféricos: avaliação de modelos de dispersão de poluentes emitidos por veículos.	MARTINS, E. M.; FORTES, J. D. N.; LESSA, R. de A.	2015	Revisão teórica abrangente acerca do estado-da-arte existente para modelagem de dispersão atmosférica de poluentes emitidos por veículos no mundo e no Brasil.
Simulação da Dispersão de Poluentes Atmosféricos e Avaliação da Qualidade do Ar na área de abrangência do Distrito Industrial de Barcarena-PA.	ARAÚJO, I. R. S.	2012	Demonstra que a influência de parâmetros meteorológicos, na dispersão de poluentes são decisivas na previsão do impacto na qualidade do ar e, no plano do uso e ocupação do solo de áreas que

			abrigam atividades poluidoras da atmosfera.
Avaliação da Emissão de Metano em Aterro Experimental de Resíduos Sólidos na Muribeca/Pe – Brasil.	LOPES, R. L.; MACIEL, F. J.; JUCÁ, J. F. T.	2012	Estudo de camadas alternativas às camadas convencionais de solo compactado, com o objetivo de encontrar soluções para minimizar o lançamento de biogás na atmosfera.
Geração de Biogás e Energia em Aterro Experimental de Resíduos Sólidos Urbanos.	MACIEL, F. J.	2009	A análise de viabilidade financeira do empreendimento mostrou que o projeto com venda de energia elétrica é viável com restrições de tarifação, entretanto quando os Certificados de Emissões Reduzidas (CERs) são considerados por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), a viabilidade se torna altamente positiva.
In situ high throughput method for H2S detection during micro-scale wine fermentation	WINTER, G., AND CURTIN, C	2012	Desenvolvimento de uma nova metodologia de triagem para detecção de H2S que fosse compatível com sistemas de manipulação robótica para triagem de grande número de cepas microbianas.
Monitoramento de Emissões Fugitivas a Partir da Camada de Cobertura de Aterro Sanitário.	FRANQUETO, R.; MARTINS, E. H.; CABRAL, A. R.; SCHIRMER, W. N.	2020	Apresentou os principais aspectos relacionados às emissões fugitivas em aterros e os problemas relacionados aos odores provenientes dessas unidades, bem como os métodos de controle e medição de gases dessa natureza.

#### 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade a qual está implantada o objeto alvo do estudo é Maceió, situada no litoral oriental do Nordeste brasileiro, estado de Alagoas, a qual encontra-se entre a latitude  $9^{\circ}33'18''$  Sul e longitude  $35^{\circ}45'33''$  Oeste Datum SAD 69, às margens do Oceano Atlântico, e do complexo lagunar Mundaú – Manguaba (MENEZES, 2016). A região metropolitana de Alagoas compreende os municípios de Maceió, Marechal Deodoro, Barra de São Miguel, Pilar, Coqueiro Seco, Santa Luzia do Norte, Satuba, Rio Largo, Messias, Paripueira, Barra de Santo Antônio, Atalaia e Murici, conforme Figura 8.

Figura 8. Localização da Cidade de Maceió na região Metropolitana de Alagoas.



Fonte: Google Earth (2022). Elaborado pela autora.

De acordo com dados existentes no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a extensão territorial do município de Maceió é de aproximadamente 509,909 Km<sup>2</sup>, correspondendo a cerca de 1,76% do território alagoano. Dados do último Censo IBGE, realizado no ano de 2010, apontam que Maceió tem aproximadamente 932.748 habitantes, dos quais 619 residentes na zona rural, e 932.129 residentes na zona urbana do município (BRASIL, 2010). Vale ressaltar que a estimativa populacional para o ano de 2021 no município é de aproximadamente 1.031.597 habitantes, segundo o IBGE.

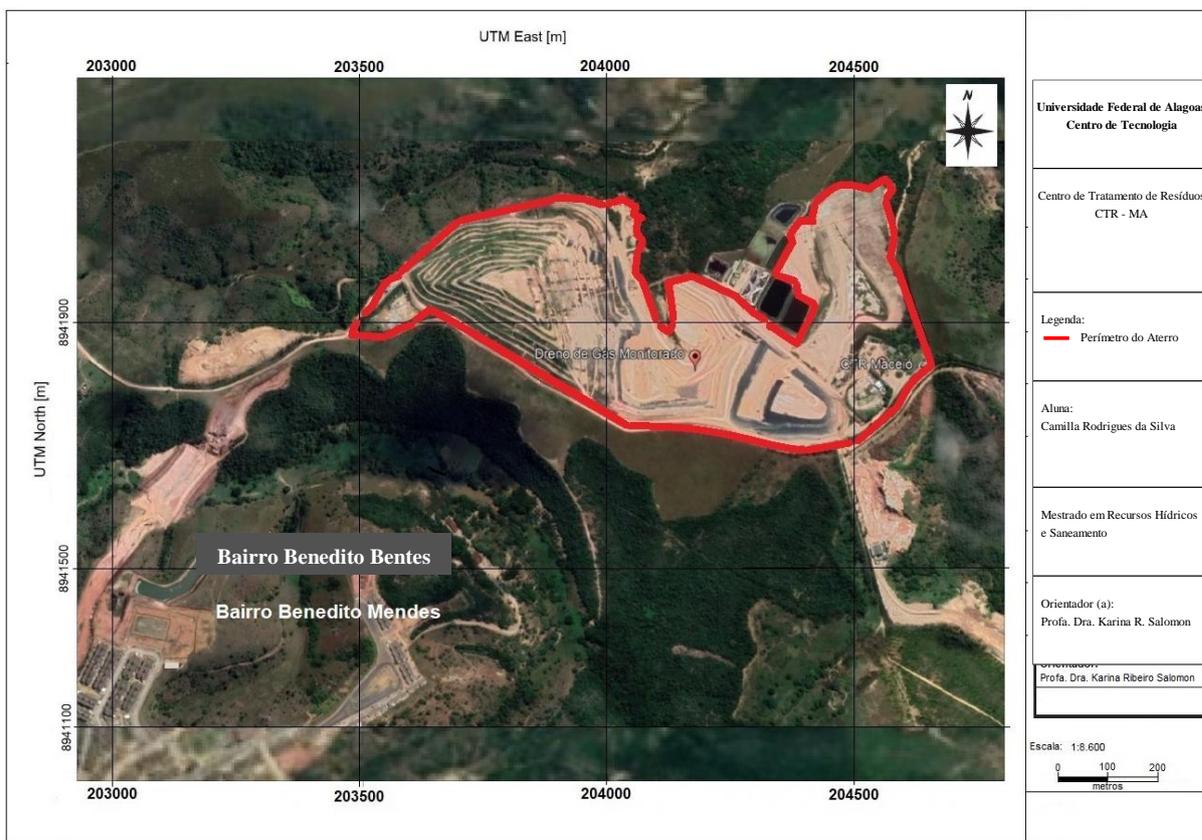
O respectivo estudo será realizado na Central de Tratamento de Resíduos de Maceió (CTR/MA), denominação técnica do aterro sanitário de Maceió, localizada no Conjunto Parque das Américas, bairro do Benedito Bentes, em um terreno, cuja altitude é mais elevada do que a altitude da cidade, estando sob as coordenadas central de Latitude  $9^{\circ}33'38.10''S$  e longitude  $35^{\circ}41'31.49''W$ , possuindo uma área de aproximadamente de 114ha. A CTR/MA está em operação desde abril de 2010, após encerramento do antigo lixão da cidade. Os acessos até o aterro, se dão pelo Litoral Norte AL-101 e, pelo bairro do Benedito Bentes, partindo da rua Henrique Francisco Bulhões (ARAÚJO, 2019). A Figura 9 e a Figura 10 apresentam o mapa de localização da CTR/MA.

Figura 9. Mapa de localização da Central de Tratamento de Resíduos em Maceió, Alagoas.



Fonte: Google Earth (2022). Elaborado pela autora.

Figura 10. Aterro Sanitário de Maceió, CTR- Maceió.



Fonte: Google Earth (2022). Elaborado pela autora.

A gestão do aterro é de responsabilidade da empresa privada Grupo Estre Ambiental, a qual é fiscalizada pela prefeitura de Maceió. A vida útil do CTR/MA foi dimensionada para o total de 20 anos. Recebe diariamente cerca de 500 toneladas de resíduos sólidos orgânicos (RSU/dia), e possui 130 drenos para saída de gases (SILVA et al., 2020). Além disso, é composta pelas unidades de recebimento: célula de recepção de Resíduos Classe IIA, célula de recepção de Resíduos Classe IIB, célula de recepção de animais mortos e célula de recepção de resíduos vegetais originários das podas urbanas (ARAUJO, 2019). A Figura 11 e a Figura 12 mostram respectivamente a vista aérea e a vista frontal da Central de Tratamento de Resíduos de Maceió.

Figura 11. Vista aérea Central de Tratamento de Resíduos de Maceió.



Fonte: Agenda A (2020).

Figura 12. Vista frontal da CTR/MA.



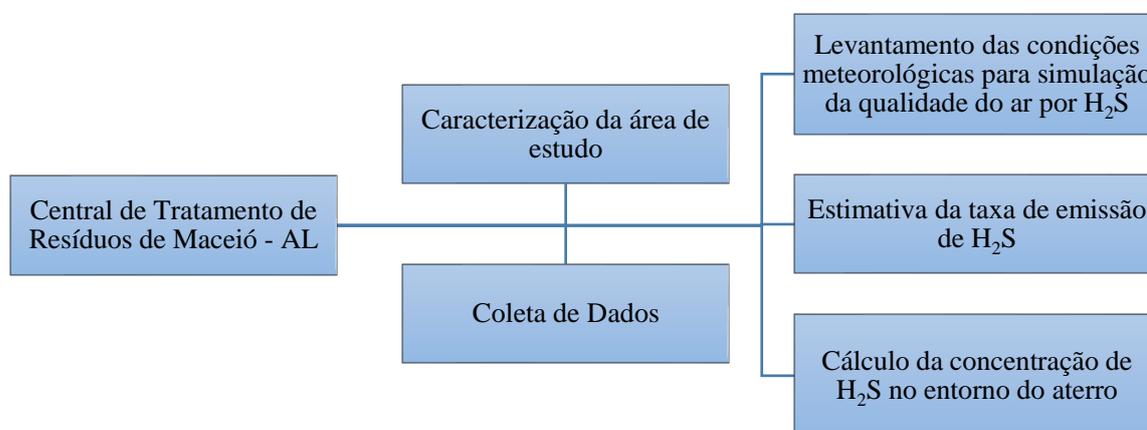
Fonte: A autora (2021).

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Procedimento Metodológico

Objetivando a realização de uma análise das emissões de H<sub>2</sub>S na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Maceió, este estudo terá como embasamento dados obtidos através de seu monitoramento, com periodicidades variadas, disponibilizados pela Empresa V2 Ambiental, a qual gerencia a CTR/MA. A Figura 13 apresenta fluxograma com procedimento metodológico que será desenvolvido no presente plano de dissertação:

Figura 13. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.



Fonte: A autora, (2022).

### 5.2 Levantamento das condições meteorológicas para simulação da qualidade do ar por H<sub>2</sub>S

A climatologia da cidade de Maceió é caracterizada por possuir clima quente e úmido, no qual duas estações marcam o perfil climático da cidade: verão com altas temperaturas e pouca precipitação e o inverno com temperaturas amenas e altos níveis de chuvas. É característico do clima da cidade as pequenas variações térmicas diárias, sazonais e anuais de temperatura, bem como a incidência de radiação solar intensa propiciada pela baixa latitude.

De acordo com as normais climatológicas de 1961-1990 do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, a cidade de Maceió possui temperatura média anual de 24,8°C e variação anual de 2,8°C entre os valores médios mensais das temperaturas médias, apresentando em fevereiro 26,3°C como maior média e 23,5°C como a menor média. Maceió possui alta umidade relativa com uma de 78,3%.

A precipitação média anual é de 2167,7mm, com meses mais chuvosos de abril a julho. Maceió está sob a influência dos ventos alísios oriundos do quadrante Leste (E) sendo os do Sudeste (SE) predominante durante grande parte do ano, mas com velocidades mais moderadas, e os ventos que sopram da direção Nordeste (NE), nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro considerados os mais quentes do ano. O valor médio mensal da velocidade de vento oscila entre 2,2 e 4,0 m/s, conforme Melo (2009).

Os dados meteorológicos horários são essenciais para utilização nos estudos de modelagem matemática de dispersão, em particular no presente estudo, para simular as concentrações de sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), que geram impactos de difusão do gás em escalas de tempo de curtíssima duração. No município de Maceió existem duas estações meteorológicas automáticas, de domínio público, sendo uma pertencente à rede de estações meteorológicas do INMET, identificada com o nº A303, localizada na latitude 9,551111°S, e longitude de 35,770278°W e altitude de 84,12 m, distante 2,7 km do CTR Maceió. Apesar de possuir os principais parâmetros meteorológicos não possui os dados de nebulosidade horários fundamentais para modelagem.

A outra estação meteorológica de Maceió é a do Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares pertencente à REDEMET, cujo código METAR é o SBMO que está localizada na latitude 9,517634°S, e longitude 35,789108°W e a 12,5 km de distância do CTR Maceió. Apesar de estar mais distante do aterro em relação à estação do INMET, possui todos os parâmetros meteorológicos necessários para modelagem inclusive os dados horários de nebulosidade e se encontra dentro do raio de validação dos dados de acordo com a Organização Meteorológica Mundial. Portanto escolheu-se essa estação, que disponibilizou apenas dois anos de dados horários válidos, os anos de 2020 e 2021. A Figura 14, apresenta a localização das duas estações em relação ao Aterro Sanitário.

Figura 14. Localização das estações meteorológicas de Maceió em relação ao Aterro.



Fonte: Google Earth (2022). Elaborado pela autora.

### 5.3 Cenários para Modelagem de Dispersão de H<sub>2</sub>S

Os pesquisadores YING et. Al., (2012) observaram que a concentração de sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) era intensificada de acordo com a variabilidade das condições meteorológicas. A difusão de odor era mais intensa em dias de temperaturas elevadas, a umidade relativa elevada e a queda brusca da pressão atmosférica

ABREU & SANTANA (2019) verificaram em entrevistas com moradores residentes nas proximidades de aterro, que em alguns períodos do dia o dor era mais perceptível causando maior ou menor incômodo, os resultados desse levantamento são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Percentual de condição meteorológica e períodos de percepção com maior intensidade de odor.

Condição Meteorológica	Frequência de odor (%)
Chuvoso (umidade relativa elevada)	32,53
Noite e madrugada (atmosfera estável)	18,82
Período da Manhã (céu claro)	16,54

Dia ensolarado (nuvens esparsas)	14,49
Dia nublado	11,98
Tarde (quente)	5,64
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: ABREU & SANTANA (2019).

Observa-se que a ocorrência de chuva aliada à umidade relativa elevada deve contribuir para maior percepção de odor, seguida dos períodos da noite e madrugada que estão associados a atmosfera estável que contribui para maior concentração dos gases na baixa atmosfera intensificando a percepção de odor. Diante do exposto, se estabeleceu quatro Cenários para modelagem das concentrações de H<sub>2</sub>S:

	<b>Período do dia</b>	<b>Intervalo de Tempo (horas)</b>
• Cenários 1	Madrugada	00 – 06
• Cenários 2	Manhã	06 – 12
• Cenários 3	Tarde	12 – 18
• Cenários 3	Noite	18 – 00

Para modelagem serão utilizadas as informações de configuração do AERMOD:

- Fonte do tipo: Área Poligonal (Poly);
- Coefficiente de dispersão: Modo Urbano;
- Intervalo de tempo: média de 1 hora;
- Período dos dados meteorológicos: 2016 a 2021;
- Arquivos de dados Meteorológicos: 1 arquivo de superfície; e outro de altitude;
- Poluente: Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S);
- Unidade de entrada no modelo: gramas por segundo (g/s);
- Cenários de modelagem: 4.

Ressalta-se que a modelagem da qualidade do ar pode resolver a mudança nas concentrações de poluentes ao longo do tempo e do espaço e, neste caso, requerem certos dados meteorológicos que, em parte, determinam a formação, transporte e destruição do material poluente. Os dados meteorológicos podem alterar de acordo com o modelo de qualidade do ar, contudo, na maioria das vezes incluem informações sobre a velocidade e direção do vento, mistura vertical, temperatura e umidade atmosférica (LYRA, 2008).

#### 5.4 Grade e Topografia para Área de Domínio da Modelagem de Dispersão

No estudo de modelagem de dispersão é necessário definir uma grade receptora da área de domínio, onde o modelo vai estimar as concentrações dos poluentes sobre as quadrículas receptoras. Para identificar quais os receptores máximos impactados, montou-se uma grade cartesiana uniforme com espaçamentos de 100 metros ou menos que será usada para todas as distâncias inferiores a 1 quilômetro ou acima.

Todos os receptores devem ser identificados em coordenadas UTM. O tamanho do domínio de modelagem e a colocação dos receptores devem estar a tal distância e resolução para identificar os impactos máximos nas áreas circundantes, e os gradientes de concentração significativos da fonte em análise. A Tabela 5 abaixo pode ser usada como um exemplo para espaçamento do receptor dentro do domínio de modelagem, e mostra um exemplo de orientação para montagem de uma grade aninhada que normalmente é usada nas análises de qualidade do ar pelo NAAQS ou (CARB). Observa-se que algumas análises de modelagem exigirão remodelação com uma resolução de grade mais fina, se áreas adicionais de preocupação forem identificadas pela modelagem.

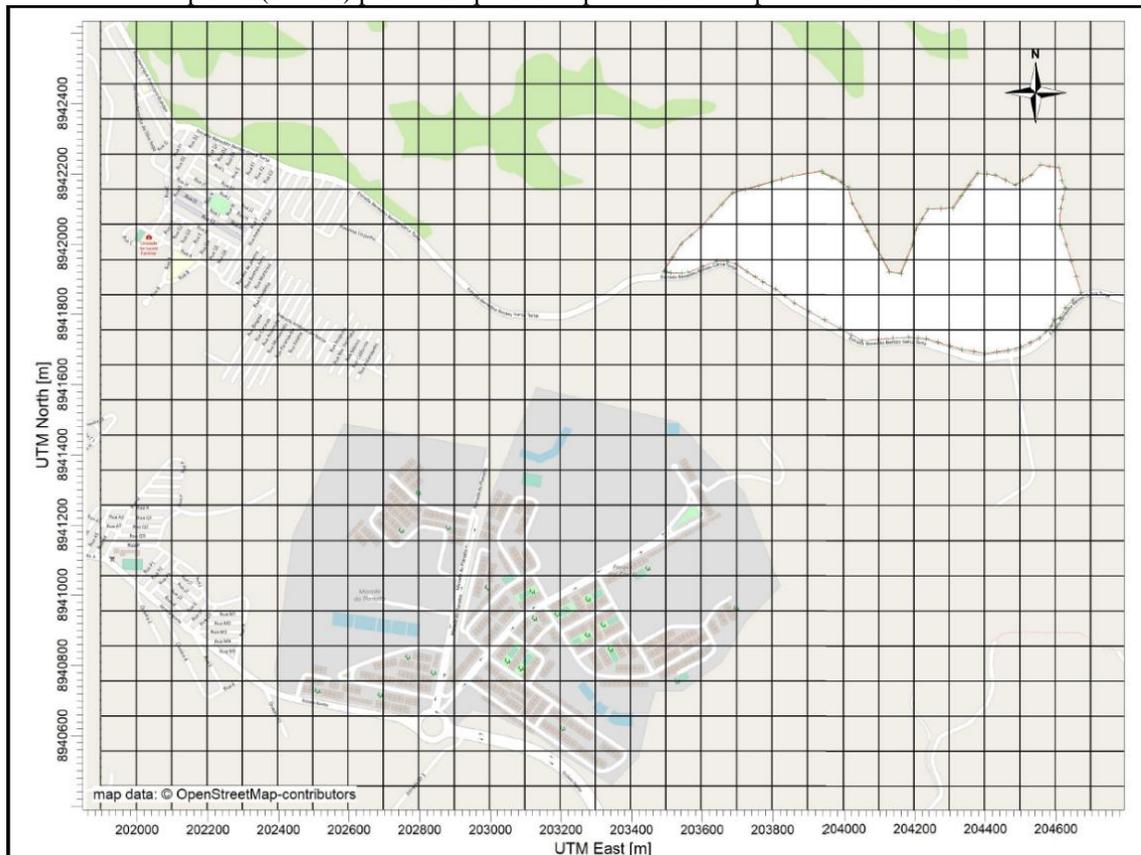
Tabela 5. Exemplo de Espaçamentos de Receptores de Grades Aninhadas.

<b>Distância da Fonte</b>	<b>Espaçamento do Receptor</b>
< 500 metros	50 metros ou menos
500 metros a 1 quilômetro	100 metros ou menos
1 km a 5 km	250 metros ou menos
5 km a 10 km	500 metros ou menos
10 quilômetros a 50 quilômetros	1.000 metros ou menos

Fonte: South Coast AQDM (2020); NAAQS (2022).

Para o presente estudo, considerando que existem várias ruas contornando a área do aterro, definiu-se uma grade cobrindo uma área de 25 km<sup>2</sup> (5 km por 5km) com espaçamentos dos receptores de 0,1 km por 0,1 km para cada quadrícula ou pequenas áreas de 0,01 km<sup>2</sup>, conforme mostra o mapa da Figura 15. O total de 2696 quadrículas foram geradas para o modelo AERMOD estimar as concentrações do H<sub>2</sub>S sobre cada uma, objetivando identificar quais os bairros que deverão ocorrer as maiores concentrações variando com o tempo: manhã, tarde, noite e madrugada.

Figura 15. Grade receptora da área de domínio para modelagem com destaque para fonte área (aterro) e os receptores (bairros) próximos que são impactados com a pluma de odor do CTR.

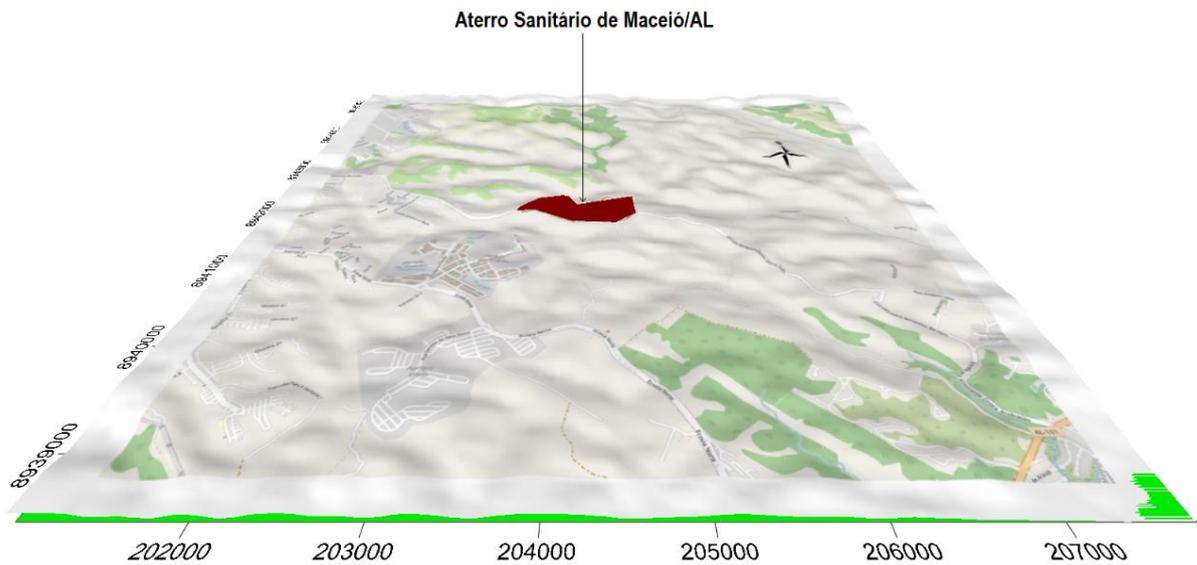


Fonte: Google Earth (2022). Elaborado pela autora.

Para o mapeamento da topografia, a Lakes Environmental Software estabeleceu um protocolo de acordo com o sistema SRTM1/SRTM3, cujo hardware está diretamente vinculado ao modelo AERMODView, permitindo o levantamento da topografia para subsidiar os estudos de modelagens de dispersão atmosférica em qualquer parte do globo. Com o uso do modelo AERMOD, e utilizando o arquivo de dados de curvas de níveis de cotas de altitudes dentro da grade da área de domínio do aterro sanitário de Maceió, AL, para o estudo de dispersão de  $H_2S$ .

Em seguida, o processamento dos dados de curvas de níveis foi realizado pelo pré-processador de AERMAP (2018) AMS/EPA, cujo resultado vai compor a opção “Terrain Options Elevated”, do AERMOD. O resultado do processamento é apresentado em três dimensões na Figura 16, que mostra a região do empreendimento quase plana sem obstáculos significativos que possam obstruir o fluxo natural da dispersão atmosférica de modo significativo.

Figura 16. Topografia para modelagem da região de impacto do Aterro Sanitário de Maceió.



Fonte: AERMAP (2018). Elaborado pela autora.

### 5.5 Receptores Sensíveis

Os receptores sensíveis são àqueles expostos ao impacto das concentrações da pluma de odor por  $H_2S$  que é transportada pelas condições micrometeorológicas da fonte área CTR/MA. No entorno do aterro, existem vários tipos de receptores humanos expostos em locais diversos como residências, igrejas, escolas e outros. A Tabela 6, apresenta a relação dos receptores mais vulneráveis, de modo que o modelo AERMOD possa calcular as concentrações de  $H_2S$  sobre cada um deles, para se identificar qual deles é mais impactado com o maior ou menor incômodo por odor oriundo do aterro.

Tabela 6. Receptores sensíveis selecionados na área de domínio do CTR – Maceió.

Receptor Sensível	Coordenadas em UTM		Distância em relação ao Centro do CTR - Maceió
	X(m)	Y (m)	
Assembleia de Deus AD Caetés	203144,66	8941254,88	A sudoeste e a 1,3 km de distância
Assembleia de Deus Morada do Planalto	202709,76	8941318,09	A sudoeste e a 1,6 km de distância

Receptor Sensível	Coordenadas em UTM		Distância em relação ao Centro do CTR - Maceió
	X(m)	Y (m)	
Igreja Evangélica Lírio dos Vales	203022,29	8941237,33	A sudoeste e a 1,4 km de distância
Praça Nossa Senhora das Graças	202599,13	8940768,21	A sudoeste e a 2,0 km de distância
Escola Municipal Professor Petrônio Viana	202145,38	8941965,91	A oeste e a 2,0 km de distância
Esc. Est. Dom Otávio Barbosa de Aguiar	201558,98	8943165,34	A noroeste e a 3,0 km de distância
CRAS Selma Bandeira	201486,86	8940396,78	A sudoeste e a 3,1 km de distância
USF Carla Nogueira (Unid. Saúde Familiar)	201373,73	8940341,58	A sudoeste e a 3,3 km de distância
Paróquia São João Bosco	201274,10	8942547,52	A noroeste e a 3,3 km de distância
CRAS Cidade Sorriso	201705,66	8941104,06	A sudoeste e a 2,6 km de distância
Esc. M. Prof. Aurélio B. de Holanda Ferreira	201820,18	8941218,12	A sudoeste e a 2,5 km de distância
CREAS Benedito Bentes	201947,86	8941123,56	A sudoeste e a 3,3 km de distância

Fonte: Google Earth (2022). Elaborado pela autora.

A Figura 17 ilustra a distribuição espacial dos receptores em relação ao CTR/MA, sendo que a fonte e os receptores estão alinhados entre si distribuídos no Bairro Benedito Bentes em Maceió/AL.

Figura 17. Distribuição espacial dos receptores sensíveis selecionados próximos do CTR – Maceió.



Fonte: Google Earth (2022). Elaborado pela autora.

## 5.6 Estimativa da taxa de emissão de $H_2S$ na área de impacto da CTR/MA

Neste estudo, será realizado o mapeamento das concentrações de  $H_2S$  nas células do aterro sanitário, utilizando os dados médios da qualidade desse gás nos drenos. Para isso, também será utilizado o AERMOD View, certo de que ele traça os mapas de dispersão atmosférica na região de estudo, conforme malha de gases. Vale lembrar que como ele possui interface totalmente integrada combinando ferramentas gráficas fáceis de usar, executará modelos perfeitos e publicação de resultados automatizados.

De modo a realizar o mapeamento das emissões de  $H_2S$ , faz-se necessário conhecer a altura de emissão acima do solo, bem como as dimensões laterais e verticais das fontes volume, onde modelos matemáticos usam um algoritmo para as fontes pontuais virtuais, de maneira a modelar os efeitos das fontes de volumes (LYRA, 2008).

Objetivando a realização do Estudo de Dispersão Atmosférica a partir das emissões de  $H_2S$  da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Maceió, este estudo terá como embasamento dados obtidos através de seu monitoramento, com periodicidades anuais, compreendendo os anos de 2016 e 2021. As medições das emissões dos gases derivados do Aterro para atmosfera foram realizadas pela empresa Qualitex, e os relatórios disponibilizados pela Empresa V2 Ambiental, a qual gerencia a CTR/MA. A identificação da presença do  $H_2S$  foi realizada através das medições do Biogás em um dos 130 drenos (SILVA, 2020) existentes nas células do aterro, conforme Figura 18, os quais estão presentes em toda composição gasosa emitida pelo aterro, compostos de  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$  e  $H_2S$ .

Figura 18. Ponto Monitorado – Dreno de Gás (Flare).



Fonte: Autora (2021).

Para o levantamento de dados através de medições, a Qualitex utilizou os seguintes equipamentos:

- a) Analisador de gás portátil, da marca Biogás 5000;
- b) Anemômetro, da marca Geotech, mediu a Vazão do Biogás nos drenos verticais;
- c) Medição paralela da temperatura, pressão e composição do biogás.

O biogás coletado foi analisado por meio da Cromatografia Gasosa (GC), modelo Clarus 580 GC - ARNL5840 modificado, marca PerkinElmer, equipado com Detector por Condutividade Térmica (TCD) para leitura de  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $O_2$  e  $N_2$  e o Detector Fotométrico de Chama (FPD) para identificação de  $H_2S$ . A coleta do biogás foi realizada em uma adaptação de um tubo de PVC introduzida ao dreno vertical de gás. A adaptação foi estruturada com uma

tampa (para fechar uma das extremidades do tubo), uma torneira de passagem, uma válvula e uma mangueira de silicone ligado ao equipamento, conforme Figura 19.

Figura 19. Coleta de gás em um (1) dreno vertical.



Fonte: Autora (2021).

Para os valores das concentrações de H<sub>2</sub>S e vazões volumétricas medidas em um dreno, mais os resultados dos ensaios realizados em campo, mostra a sequência anual das medições de concentrações de H<sub>2</sub>S expressas nas unidades de ppm (partes por milhão por volume) e em mg/m<sup>3</sup> (miligrama por metro cúbico). Dessa forma, será necessário efetuar a conversão de H<sub>2</sub>S da unidade ppm para mg/m<sup>3</sup>, a partir da equação 7 abaixo:

$$[\text{H}_2\text{S}]_{\text{ppm}} = \frac{[\text{H}_2\text{S}]_{\text{v}} * 24,45}{M_{\text{H}_2\text{S}}} \quad (7)$$

Onde,

$[\text{H}_2\text{S}]_{\text{ppm}}$  = Concentração de H<sub>2</sub>S expresso em ppm;

$[\text{H}_2\text{S}]_{\text{v}}$  = Concentração de H<sub>2</sub>S expresso em mg/m<sup>3</sup>;

$M_{\text{H}_2\text{S}}$  = Massa molecular do H<sub>2</sub>S;

24,45 = Volume molar da atmosfera na CNTP.

### 5.7 Uso do Modelo AERMOD para simular o impacto do Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S) no Entorno da CTR/MA.

A modelagem de dispersão usa formulações matemáticas para caracterizar os processos atmosféricos que dispersam um poluente emitido por uma fonte. Com base em emissões de um local específico e dados meteorológicos, um modelo de dispersão pode ser usado para prever concentrações em locais selecionados de receptores a favor do vento. Esses modelos de qualidade do ar serão usados para determinar a conformidade com os padrões nacionais de qualidade do ar, conforme normas vigentes (USEPA, 2021).

O modelo de dispersão que será utilizado neste estudo é o software AERMOD View versão 9.8.3, da Lakes Environmental Consultants, empresa reconhecida internacionalmente por seu software de modelagem de dispersão de ar e por sua experiência na área de soluções para o meio ambientais. Trata-se de um modelo de Pluma Gaussiana em estado estacionário que incorpora a dispersão do ar com base na estrutura de turbulência da camada limite planetária e conceitos de dimensionamento.

O AERMOD é recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – USEPA, e incorpora a dispersão do poluente incluindo o tratamento de fontes superficiais ou elevadas. É um modelo que avalia concentrações de poluentes para uma grande variedade de tipos de fontes poluidoras. Possui interface gráfica, visualização em 3D de toda sua área de modelagem, e exporta contornos para o Google Earth, dando-lhe uma imagem mais realista de onde seus poluentes afetarão as áreas, dentre outros (ARAÚJO, 2012).

Algumas das características técnicas selecionadas no software para os resultados desta pesquisa serão destacadas na Quadro 6, apontando a área e suas propriedades, podendo sofrer alteração ao longo do desenvolvimento.

Quadro 6. Características técnicas observadas no software para a modelagem atmosférica.

ÁREA	PROPRIEDADES
Receptores	Área de influência do aterro sanitário, avaliando a elevação de cada ponto receptor.
Dados Meteorológicos	Dados reais para o ano de 2021
Resultados das emissões	Primeira Máxima para períodos de 24 horas e anual
Poluentes	Metano, Dióxido de Carbono, Nitrogênio, Enxofre, Amônia, Hidrogênio, Monóxido de Carbono, Sulfeto de Hidrogênio.

Fonte: A autora (2021), adaptado de Araújo (2012).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Meteorologia para simulação da qualidade do ar por H<sub>2</sub>S

Na obtenção dos dados meteorológicos para simulação da qualidade do ar por H<sub>2</sub>S, a REDEMETS disponibilizou as informações em códigos da aeronáutica, onde realizou-se a decodificação e a validação, verificando que a série está completa, não se observando problemas significativos referentes à ausência ou falhas de dados. Estes foram processados com o pré-processador USEPA-AERMETS (2021) para gerar os arquivos meteorológicos \*.sam e produzir os arquivos \*.SFC e \*.PFL com a extensão formatada para entrada no modelo de dispersão AERMOD.

Durante o processamento dos dados meteorológicos, um dos elementos a serem considerados no cálculo são as influências dos parâmetros de ocupação e uso do solo e das características da superfície da região em estudo. Essas influências ocorrem dentro da camada limite convectiva superficial, onde são quantificadas através dos parâmetros como o Albedo, a Razão de Bowen, e o Parâmetro de Rugosidade, cujo conceito físico de cada parâmetro é:

- Albedo – (Al) é a fração da radiação solar refletida de uma superfície de volta ao espaço;
- Razão de Bowen – (Br), é a relação entre o calor sensível e o calor latente por condensação, representando o grau de retenção de umidade no solo;
- Parâmetro de Rugosidade (z<sub>0</sub>) – Representa as alturas das irregularidades do terreno, onde o perfil vertical de velocidade do vento tende a um valor zero.

Para calcular os valores destes parâmetros utilizou-se o utilitário USEPA-AERSURFACE, que usa um formato de arquivos de cobertura e uso do solo dentro de um círculo de raio de 3 km a partir do centro da estação meteorológica. Após o processamento com o AERSURFACE, obteve-se os valores do Albedo, Razão de Bowen e o Parâmetro de Rugosidade, cujos resultados são apresentados na Tabela 7, cuja média anual dos parâmetros foram: Albedo igual a 0,16; Razão de Bowen igual a 2 e a Rugosidade da superfície igual a 1.

Tabela 7. Distribuição dos parâmetros de uso do solo nas imediações do CTR/MA.

Mês	Albedo	Razão de Bowen	Rugosidade (m)
Janeiro	0,16	2,00	1,00
Fevereiro	0,16	2,00	1,00
Março	0,16	2,00	1,00
Abril	0,16	2,00	1,00
Mai	0,16	2,00	1,00
Junho	0,16	2,00	1,00
Julho	0,16	2,00	1,00
Agosto	0,16	2,00	1,00
Setembro	0,16	2,00	1,00
Outubro	0,16	2,00	1,00
Novembro	0,16	2,00	1,00
Dezembro	0,16	2,00	1,00
Média	<b>0,16</b>	<b>2,00</b>	<b>1,00</b>

Fonte: AERSURFACE (2022). Elaborado pela autora.

Em seguida processou-se os dados meteorológicos utilizando o programa AERMET, para obter-se a distribuição de frequência combinada da direção com as faixas de velocidades do vento. A análise estatística foi obtida com o utilitário WRPLOT do AERMOD, cujos resultados são apresentados na Tabela 8, a qual mostra a distribuição de frequências horárias (horas) e relativas (%) de cada direção do vento associadas com as respectivas faixas de velocidades, que resultou em um total de horas de dados processados igual a 17544 horas, referente aos anos de 2020 e 2021. Dos resultados destacou-se as três primeiras direções de vento e velocidades predominantes:

- a) A primeira direção predominante é a de Leste (E) ocorrendo com 14,75% na faixa de velocidades entre 2,1 m/s e 3,6 m/s;
- b) A segunda direção predominante é a de Estesudeste (ESE) ocorrendo com 12,76% na faixa de velocidades entre 3,6m/s e 5,7m/s;
- c) A terceira direção predominante é a de Sudeste (SE) ocorrendo com 9,99% na faixa de velocidades entre 3,6m/s e 5,7m/s.

Tabela 8. Distribuição de frequência combinada da direção e velocidade do vento, média anual de 2020 a 2021.

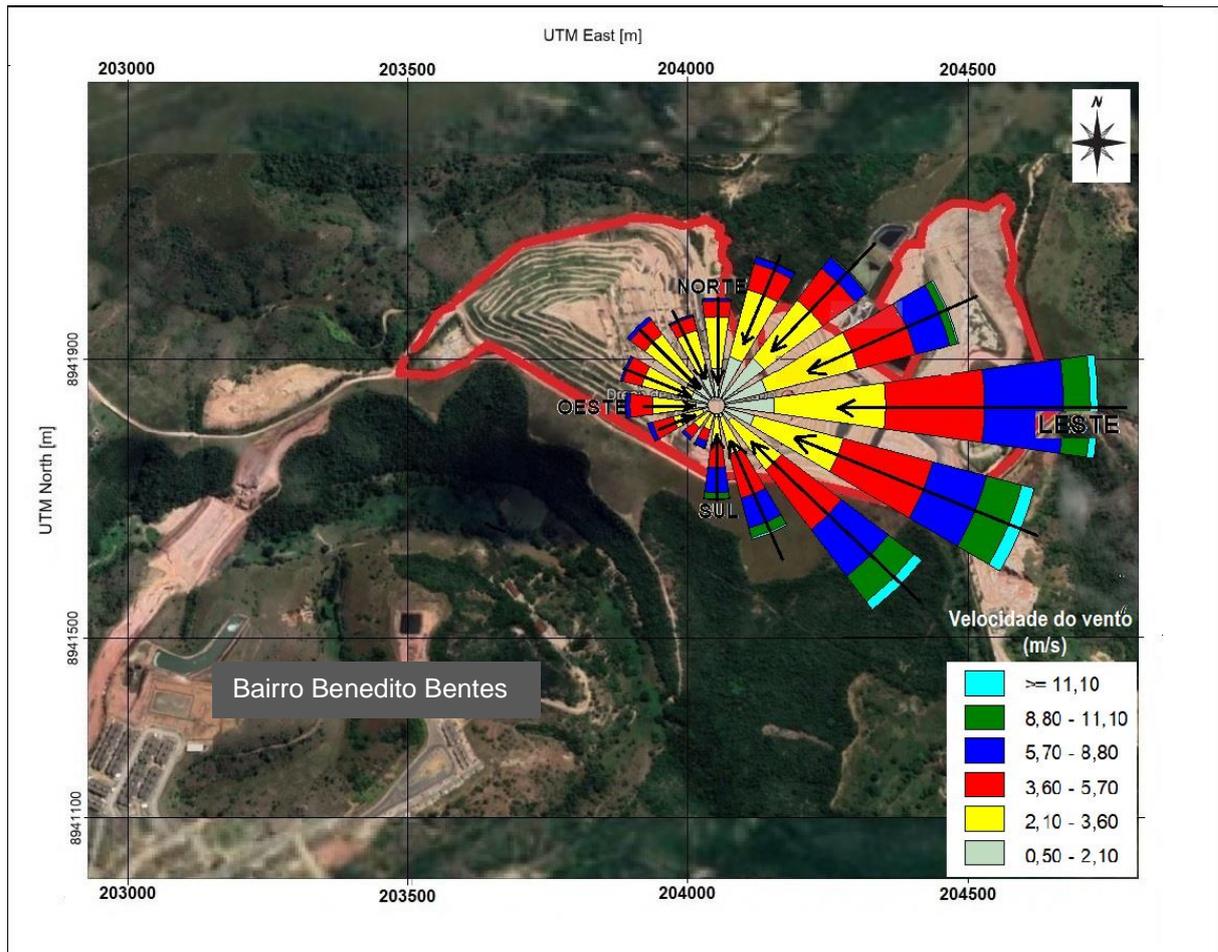
Direção \ Velocidade, m/s	0,5 – 2,1		2,1 – 3,6		3,6 – 5,7		5,7 – 8,8		8,8 – 11,1		≥ 11,1		Total	
	(%)	Horas	(%)	Horas	(%)	Horas	(%)	Horas	(%)	Horas	(%)	Horas	(%)	Horas
<b>N</b>	1,476	259	2,006	352	0,610	107	0,108	19	0,006	1	0,00	0	4,21	738
<b>NNE</b>	2,001	351	2,690	472	1,049	184	0,257	45	0,023	4	0,00	1	6,02	1057
<b>NE</b>	2,354	413	2,822	495	1,550	272	0,559	98	0,057	10	0,00	1	7,35	1289
<b>ENE</b>	2,052	360	3,625	636	2,309	405	1,362	239	0,274	48	0,07	13	9,70	1701
<b>E</b>	2,269	398	4,309	756	3,808	668	3,044	534	1,037	182	0,29	51	14,76	2589
<b>ESE</b>	1,562	274	3,551	623	3,557	624	2,160	379	1,397	245	0,50	88	12,73	2233
<b>SE</b>	0,781	137	2,411	423	2,896	508	2,280	400	1,237	217	0,38	68	9,99	1753
<b>SSE</b>	0,530	93	1,476	259	1,761	309	1,197	210	0,382	67	0,08	15	5,43	953
<b>S</b>	0,490	86	1,015	178	0,946	166	0,980	172	0,245	43	0,02	5	3,71	650
<b>SSW</b>	0,410	72	0,610	107	0,456	80	0,279	49	0,023	4	0,00	0	1,78	312
<b>SW</b>	0,393	69	0,747	131	0,467	82	0,131	23	0,000	0	0,00	0	1,74	305
<b>WSW</b>	0,599	105	1,174	206	0,821	144	0,194	34	0,000	0	0,00	0	2,79	489
<b>W</b>	0,855	150	1,664	292	0,866	152	0,165	29	0,006	1	0,00	0	3,56	624
<b>WNW</b>	1,060	186	1,972	346	0,724	127	0,103	18	0,011	2	0,00	0	3,87	679
<b>NW</b>	1,419	249	2,086	366	0,690	121	0,165	29	0,000	0	0,00	0	4,36	765
<b>NNW</b>	1,203	211	1,847	324	0,542	95	0,086	15	0,011	2	0,00	1	3,69	648
<b>Subtotal</b>	<b>19,45</b>	<b>3413</b>	<b>34,00</b>	<b>5966</b>	<b>23,05</b>	<b>4044</b>	<b>13,07</b>	<b>2293</b>	<b>4,708</b>	<b>826</b>	<b>1,38</b>	<b>243</b>	<b>95,67</b>	<b>16785</b>
<b>Calmaria</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,33	759
<b>Ausentes</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0
<b>Total</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>100</b>	<b>17544</b>

(%) = frequência relativa; (horas) = frequência absoluta do número de horas de ocorrência de vento soprando de uma determinada direção.

Fonte: WRPLOT – AERMOD (2022). Elaborado pela autora.

A rosa dos ventos da Figura 20, sobre o aterro, mostra que cada direção está assinalada com uma seta indicando o sentido do vento de onde está soprando convergindo para o aterro, associada com às respectivas faixas de velocidades. No processamento do período de dois anos (2020 – 2021) verificou-se que a porcentagem de calmaria média anual é de 4,33% e a velocidade média anual é de 3,67 m/s. Esse resultado mostra que devido à baixa porcentagem de calmaria e uma velocidade média do vento de 3,67 m/s, caracteriza a atmosfera da área como favorável à dispersão de poluentes. Entretanto o vento obedece a um ciclo de 24 horas, cujas direções giram 360° continuamente soprando de todas as direções com frequências maiores e menores dependendo da condição meteorológica de larga escala dominante e do período do dia.

Figura 20. Rosa dos ventos sobre o aterro sanitário CTR – Maceió, período 2020-2021.



Fonte: AERMET (2022). Elaborado pela autora.

Para compatibilizar o comportamento do evento com os incômodos causados pelo  $H_2S$ , dividiu-se a análise do vento em quatro períodos de 6 em 6 horas para avaliar qual desses períodos causam impactos críticos sobre os receptores residentes, próximos do aterro, de serem atingidos pela pluma de odor emitida do CTR – Maceió transportado pelo vento se espalhando sobre a área de difusão da pluma de gás. Os resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Parâmetros do vento predominante para os quatro períodos do dia para 2020 a 2021.

Parâmetros	Períodos	Madrugada	Manhã	Tarde	Noite	Total
Horas processadas, (hr).		4386	4386	4386	4386	26280
Velocidade média, (m/s)		3,33	3,62	4,24	3,5	2,81
Direção Predominante, (%)		(E) - 12,2	(E) - 11,0	(E) - 18,4	(E) - 17,4	(SE)-18,4
Calmaria, Horas (hr).		305	172	55	227	1635
Calmaria, Frequência (%)		6,95	3,92	1,25	5,18	6,22
Condição para Dispersão		Menos favorável à Dispersão de $H_2S$		Mais favorável à dispersão $H_2S$		

Fonte: REDEMET (2022). Elaborado pela autora.

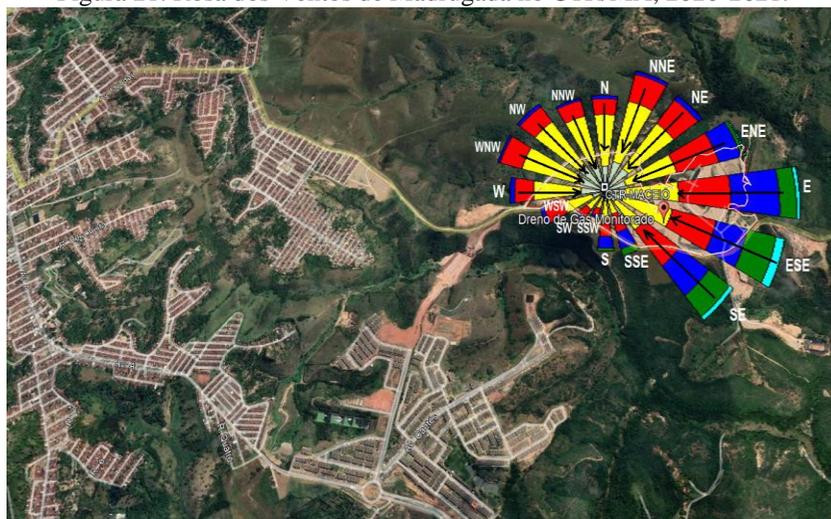
Observa-se que durante a madrugada o vento sopra de leste (E) com 12,2% e uma velocidades de 3,33 m/s, a calmaria foi de 6,95%. Na parte da manhã a direção persiste soprando de leste (E) com uma velocidade média de 3,62 m/s e a calmaria de 3,92%. Portanto esses dois períodos se caracterizam como estáveis e menos favoráveis à dispersão.

No período da tarde a direção do vento persiste soprando de leste (E) e aumenta a velocidade média para 4,24 m/s e a calmaria decresce para 1,25%. No período da noite a direção do vento persiste soprando de leste (E), com uma velocidade média de 3,5 m/s a calmaria se eleva um pouca devido a atmosfera está na condição neutra e a porcentagem da calmaria um acréscimo para 5,18%. Esses dois períodos o comportamento da atmosfera é instável e neutro se caracterizando como mais favoráveis à dispersão de gases na baixa atmosfera.

Conforme se pode observar em todos os períodos, a direção do vento predominante de leste (E) persiste praticamente durante as 24 horas do dia na região, em que pese o vento soprar das demais direções com menor frequência, conforme ilustrado nas quatro Rosas dos Ventos da Figura 21, Figura 22, Figura 23 e Figura 24. Observa-se nas Figuras que a Rosa dos Ventos da madrugada e manhã são similares, comum fluxo de eventos dos quadrantes norte e nordeste soprando para o aterro, transportando a pluma de odor para os receptores localizados nos setores oeste – sudoeste. Como o odor é sensível às baixas temperaturas (atmosfera estável), a intensidade odorífera é maior durante a madrugada e manhã.

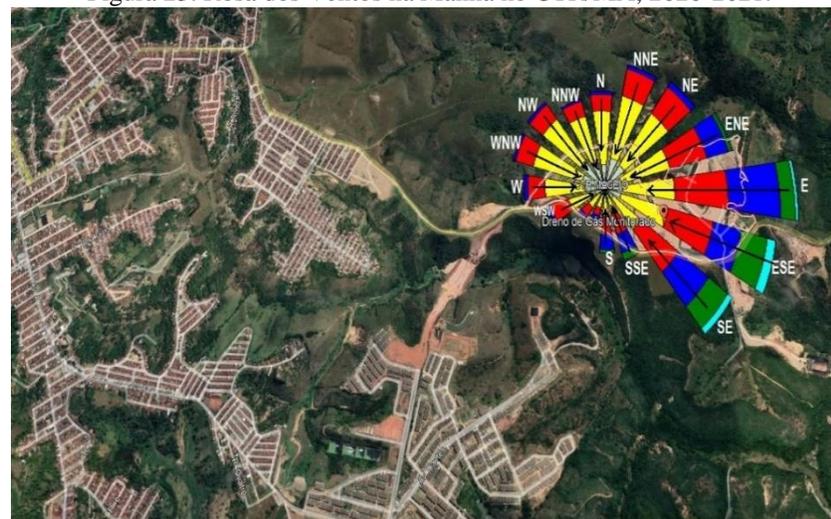
As Rosas dos Ventos dos períodos da tarde e ao anoitecer estão associadas com os fluxos de ventos de Leste a Estesudeste, que transportam a pluma de odor para os setores opostos como oeste e oeste-noroeste, porém com impacto odorífero menor tendo em vista que à tarde temperatura está elevada e a radiação solar intensa tornando a atmosfera instável nessas condições é esperado a dispersão dos gases seja elevada gerando baixas concentrações de H<sub>2</sub>S.

Figura 21. Rosa dos Ventos de Madrugada no CTR/MA, 2020-2021.



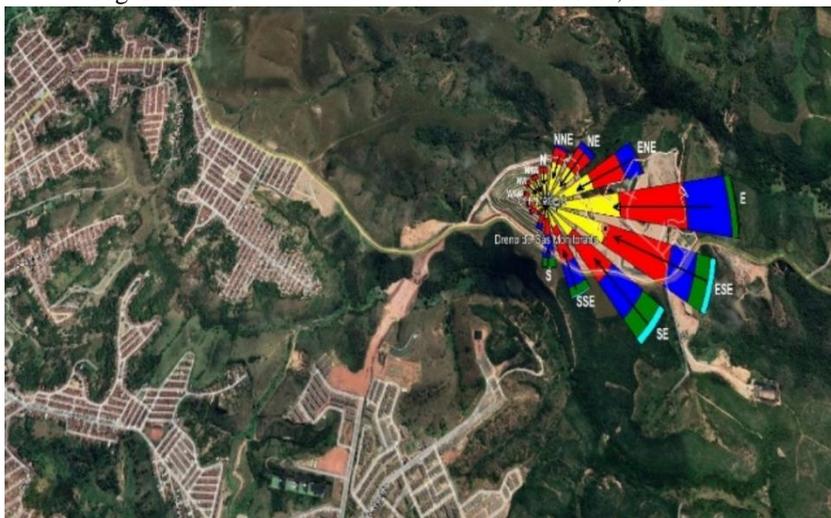
Fonte: AERMET (2022). Elaborado pela autora.

Figura 23. Rosa dos Ventos na Manhã no CTR/MA, 2020-2021.



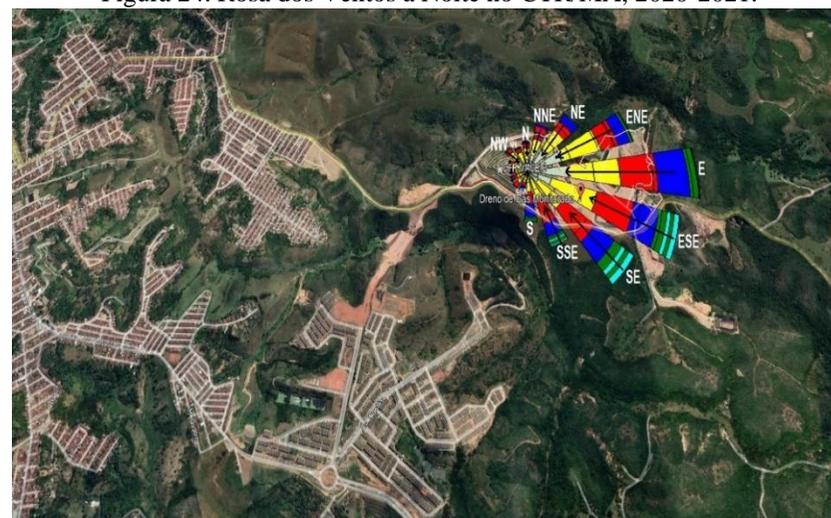
Fonte: AERMET (2022). Elaborado pela autora.

Figura 22. Rosa dos Ventos a Tarde no CTR/MA, 2020-2021.



Fonte: AERMET (2022). Elaborado pela autora.

Figura 24. Rosa dos Ventos a Noite no CTR/MA, 2020-2021.



Fonte: AERMET (2022). Elaborado pela autora.

## 6.2 Estimativa da Taxa de Emissão de H<sub>2</sub>S para Modelagem de Dispersão

As campanhas de medições foram realizadas apenas uma vez por ano compreendendo o período de 2016 a 2021. Os valores das concentrações de H<sub>2</sub>S e vazões volumétricas medidas em um dreno, mais os resultados dos ensaios realizados em campo são apresentados na Tabela 10, que mostra a sequência anual das medições de concentrações de H<sub>2</sub>S expressas nas unidades de ppm (partes por milhão por volume) e em mg/m<sup>3</sup> (miligrama por metro cúbico). Vale ressaltar que a medição foi realizada apenas em um dreno pois de acordo com SILVA et al., (2020) existem no aterro 130 queimados em flares (drenos verticais) instalados estrategicamente na superfície das células do Aterro.

Tabela 10. Concentrações e vazões de H<sub>2</sub>S medidas no aterro sanitário de Maceió.

Ano	Concentração de H <sub>2</sub> S		Concentração de H <sub>2</sub> S		Vazão Volumétrica	
2016	0,53776	ppm	0,7500	mg/m <sup>3</sup>	13,3700	m <sup>3</sup> /h
2017	100,833	ppm	140,63	mg/m <sup>3</sup>	91,0400	m <sup>3</sup> /h
2018	500,000	ppm	697,34	mg/m <sup>3</sup>	93,3900	m <sup>3</sup> /h
2019	0,00850	ppm	0,0100	mg/m <sup>3</sup>	0,06870	m <sup>3</sup> /h
2020	5,25000	ppm	7,3200	mg/m <sup>3</sup>	0,06910	m <sup>3</sup> /h
2021	53,29	ppm	74,322	mg/m <sup>3</sup>	0,06300	m <sup>3</sup> /h

Fonte: Qualitex Engenharia e Serviços – Relatório Técnico (2016 a 2021).

Observa-se na Tabela 10 há uma grande variação nas concentrações de H<sub>2</sub>S, com destaque para o ano de 2018 que registrou o valor mais elevado de 500 ppm (697,34 mg/m<sup>3</sup>). De acordo com TIPPAYAWONG e THANOMPONGCHART (2010), em uma escala de aterro a concentração de H<sub>2</sub>S no biogás vai depender da composição da matéria orgânica sedimentada no aterro que poderá variar entre os valores menores que 100 ppm até 10000 ppm, demonstrando que existe uma grande variação na concentração do gás que é função da natureza do resíduo e das condições de degradação do aterro.

Tomando-se por base os valores dos limites de percepção olfativa e de toxicidade do composto avaliado (H<sub>2</sub>S), este estudo indica que as concentrações de gás sulfídrico no biogás podem ser significativas e, portanto, estes valores obtidos nas medições devem ser tratados como questões relevantes para se estimar através da simulação matemática a difusão da pluma e a sua extensão sobre a área dos receptores a ser impactada a partir do aterro sanitário.

Para o estudo de dispersão é necessário se expressar as taxas de emissão em (g/s) de H<sub>2</sub>S para entrada no modelo de dispersão e se obter as concentrações do gás variando com o tempo,

condições meteorológicas, topografia e a distância a partir das emissões do aterro sanitário sobre a grade receptora. A partir dos dados apresentados na Tabela 10 calculou-se as taxas de emissão em (mg/h) e (g/s) usando a metodologia do produto entre a concentração do gás multiplicada pela vazão volumétrica, representado pelas fórmulas:

- Taxa de emissão (mg/h) = Conc. (mg/m<sup>3</sup>) x Vazão (m<sup>3</sup>/h) x 1/1000 = (mg/h)
- Taxa de emissão (g/s) = Conc. (mg/h) x (g/1000mg) x (h/3.600s) = (g/s)

Os resultados dos cálculos são apresentados na Tabela 11. Observa-se que as medições das emissões do biogás foram obtidas uma vez por ano de um único Dreno. No aterro de Maceió existem 130 drenos instalados que formam uma malha de galerias, porém individualmente são de baixa eficiência (cerca de 20%), para melhorar a eficiência de queima do flare, deve-se captar e unir os drenos a uma tubulação conectada a sopradores e depois ao flare (ICLEI, 2010). Com base nesse raciocínio e visando obter-se como resultados da modelagem uma pluma de H<sub>2</sub>S mais conservativa e representativa do aterro sobre os receptores no seu entorno, multiplicou-se a emissão de um dreno por 130 drenos conforme mostra a Tabela 11.

Tabela 11. Taxas de emissões anuais de 1 dreno, multiplicada pelo total existente no CTR/MA.

Ano	Concentração de H <sub>2</sub> S	Vazão Volumétrica	Taxas de Emissões de H <sub>2</sub> S Para 1 Dreno		Taxas de Emissões de H <sub>2</sub> S Para 130 Drenos	
	(mg/m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> /h)	(mg/h)	(g/s)	(mg/h)	(g/s)
2016	0,7500	13,3700	9,95x10 <sup>-6</sup>	2,765x10 <sup>-6</sup>	1,30360	3,62x10 <sup>-4</sup>
2017	140,63	91,0400	12,7900	3,550x10 <sup>-3</sup>	1664,40	4,62x10 <sup>-1</sup>
2018	697,34	93,3900	65,1200	1,809x10 <sup>-2</sup>	8466,20	2,35000
2019	0,0100	0,06870	6,87x10 <sup>-7</sup>	1,908x10 <sup>-10</sup>	9,9x10 <sup>-5</sup>	2,48x10 <sup>-8</sup>
2020	7,3200	0,06910	5,06x10 <sup>-4</sup>	1,405x10 <sup>-7</sup>	6,6x10 <sup>-2</sup>	1,83x10 <sup>-5</sup>
2021	74,322	0,06300	4,68x10 <sup>-3</sup>	1,3x10 <sup>-6</sup>	6,09x10 <sup>-1</sup>	1,69x10 <sup>-4</sup>

Fonte: Qualitex Engenharia e Serviços – Relatório Técnico (2016 a 2021). Elaborado pela autora (2022).

Nota-se uma grande variação nos valores de concentração medidos de ano para ano. Essa variação é função da natureza do resíduo, das condições de degradação e das condições meteorológicas do período do dia durante a amostragem. Como as medições foram uma amostra por ano não é possível calcular uma média de emissão de 2016 a 2021. Do total das medições, selecionou-se a concentração máxima de H<sub>2</sub>S para modelagem medida no ano de 2018, por apresentar a maior emissão em relação as demais e, portanto, um valor mais conservativo.

### 6.3 Cálculo da concentração de H<sub>2</sub>S no entorno da CTR/MA, aplicando o modelo de dispersão atmosférica AERMOD

A modelagem foi realizada para quatro Cenários de ocorrência de odor, conforme Tabela 12.

Tabela 12. Cenários de odor

CENÁRIO	PERÍODO
Cenário 1	Entre 00h e 06h
Cenário 2	Entre 06h e 12h
Cenário 3	Entre 12h e 18h
Cenário 4	Entre 18h e 00h

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Tabela 13 apresenta os parâmetros de entrada no modelo de dispersão AERMOD para estimar as concentrações de H<sub>2</sub>S do ano de 2018, sobre a grade receptora a partir das emissões dos 130 Drenos do CTR/MA.

Tabela 13. Parâmetros de emissão do CTR/MA para modelagem de dispersão atmosférica.

Fonte	Taxa de emissão		Localização		Área da Poligonal
	(g/s)	(g/s).m <sup>-2</sup>	X(m)	Y(m)	Hectare
Área Poligonal (Poly)	2,35000	5,751x10 <sup>-07</sup>	203492,38	8941930,17	40,86494

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Além das informações da Tabela 13, foram consideradas as seguintes premissas na modelagem, citadas anteriormente na metodologia:

- a) Fonte do tipo: Área Poligonal (Poly);
- b) Coeficiente de dispersão: Modo Urbano;
- c) Intervalo de tempo: média de 1 hora;
- d) Período de dados meteorológicos horários: 2020 a 2021;
- e) Arquivos de dados Meteorológicos: 1 arquivo de superfície; e outro de altitude;
- f) Poluente: sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S);
- g) Unidade de entrada no modelo: gramas por segundo (g/s).m<sup>2</sup>.
- h) Cenários de modelagem: 4.

### 6.3.1 Cenário 1: Concentração máxima de H<sub>2</sub>S sobre os Receptores Sensíveis

Nesse item apresenta-se os resultados da modelagem para o Cenário 1, que ocorre para o período entre 00h e 06h. A partir da aplicação dos dados no software, a Tabela 14 apresenta os resultados do Cenário 1 da simulação da concentração máxima de H<sub>2</sub>S que foi de 0,119 mg/m<sup>3</sup>, a qual é 2,8 vezes maior que o LPO de 0,042 mg/m<sup>3</sup>, valor suficiente para causar incomodo odorífero nas imediações do aterro.

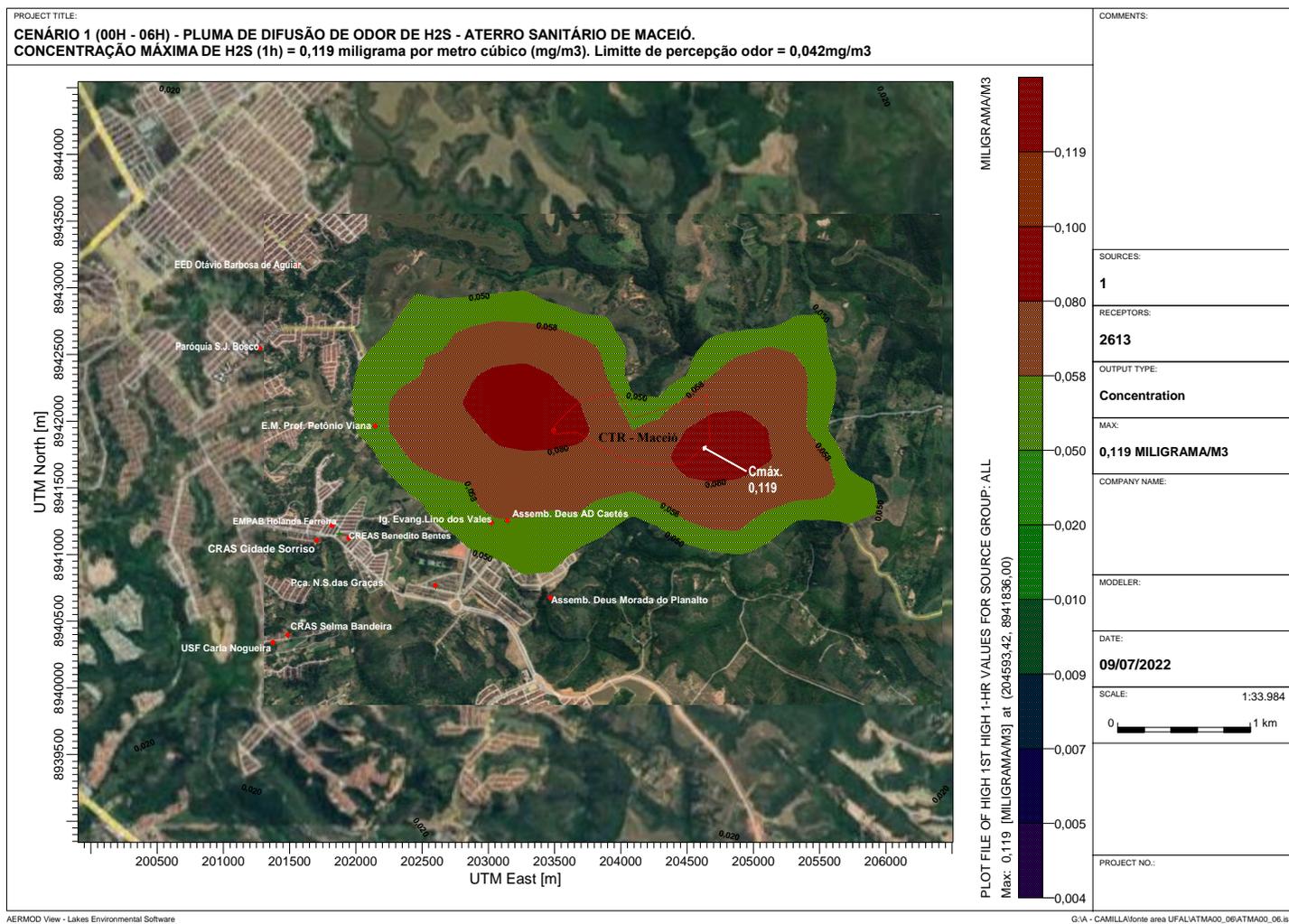
Tabela 14. Parâmetros de emissão do CTR/MA para modelagem de dispersão atmosférica.

Poluente	Concentração Máxima (1h)		Localização do Máximo		Limite de Percepção LPO	
	(mg/m <sup>3</sup> )	(ppm)*	X(m)	Y(m)	(mg/m <sup>3</sup> )	(ppm)
H <sub>2</sub> S	0,119	0,085317	204593,42	8941836,00	0,042	0,03

\*Fonte: National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) and California Ambient Air Quality Standards (CAAQS) Attainment Status for South Coast Air Basin. CRITERIA (2016).

A Figura 25 mostra o mapa das isoconcentrações da difusão de odor por H<sub>2</sub>S. Esse fenômeno ocorre durante a madrugada entre 00h e 06h da manhã e observa-se que a pluma se expande seguindo sentido de esteseudeste para oestenoeste do aterro, dentro de raio de 3 km aproximadamente a partir do centro do aterro. Nota-se que essa expansão da pluma impacta grande parte dos pontos receptores localizados próximos ao aterro. Embora o ponto de concentração máxima de H<sub>2</sub>S tenha ocorrido na borda à direita do CTR/Maceió, não significa que os receptores que não tenham sido afetados diretamente por esse valor máximo não estejam sendo impactados pela difusão do odor, o qual varia de percepção olfativa de cada indivíduo.

Figura 25. Cenário 1 – Mapa das isoconcentrações de H2S durante a madrugada, médias de 1 hora.



Fonte: AERMOD. Elaborado pela autora (2022).

A Tabela 15 em seguida, apresenta os resultados da simulação sobre os receptores sensíveis, onde se observa as concentrações comparadas com o Limite de Percepção Odorífera (LPO) e os parâmetros meteorológicos. Observa-se que as concentrações máximas de H<sub>2</sub>S ultrapassam o LPO sobre os receptores: Assembleia de Deus AD Caetés; Assembleia de Deus Morada do Planalto; Escola Municipal Professor Petrônio Viana; e A Igreja Evangélica Lírio dos Vales. As violações do LPO ocorreram entre as 24 horas e 01h; nesse período o vento sopra do quadrante estenordeste (ENE) do aterro para os receptores com velocidade do vento fraca de 0,5 m/s; temperatura variando entre 25,4 e 29 °C; e a condição de Instável de estabilidade atmosférica.

Com relação aos demais receptores não ocorreram concentrações máximas de H<sub>2</sub>S superiores ao LPO. Apesar disso, não significa que a sensação de odor não esteja sendo sentido por esses receptores que varia de pessoa para pessoa pois depende da capacidade olfativa de cada um, isto é, mesmo que ocorra baixas concentrações é possível que um ou outro indivíduo possa perceber odor com maior ou menor intensidade. Nessas concentrações observa-se que o vento persistiu soprando do quadrante estenordeste com velocidade fraca de 0,5 m/s que dispersa pouco a pluma de odor nesse período mesmo mantendo a condição de estabilidade atmosférica do tipo instável.

A estabilidade atmosférica representa o grau de equilíbrio termodinâmico da atmosfera, que se divide em: estáveis, neutra e instável. A condição de equilíbrio estável significa que o ar adjacente à superfície se torna mais frio, mais denso e conseqüentemente mais pesado que o ar ambiente, essa é uma característica dominante no inverno das regiões sul e sudeste do Brasil. Na condição de equilíbrio instável o adjacente a ser superfície ao ser aquecido torna-se, menos denso e conseqüentemente mais leve que o ar ambiente, essa é uma característica dominante nas regiões de clima tropical do Brasil.

Portanto a manutenção da condição de estabilidade do tipo instável justifica-se porque as condições climáticas na região de Maceió são predominantemente do tipo Tropical Quente sem frequência de avanço de massas de ar frio mesmo nos períodos da noite e madrugada. O modelo detectou que no período 00h às 06h a condição instável predominou, confirmado pelas temperaturas elevadas que variaram entre 25,4°C e 29° C os eventos ocorreram no segundo semestre do ano entre os meses de junho a dezembro.

Tabela 15. Cenário 1: Concentrações máximas de H<sub>2</sub>S e parâmetros meteorológicas sobre os receptores sensíveis.

RECEPTORES	Concentração Máxima de H <sub>2</sub> S		Data de ocorrência		Coordenadas		Limite de Percepção		Vento		Temp.	Estab.
	mg/m <sup>3</sup>	ppm	data	Hora	em UTM		0,042mg/m <sup>3</sup> (0,03ppm)		direção	Veloc.		
			dd/mm/ano	(h)	X(m)	Y(m)	Violou	Não violou	(Literal)	(m/s)	°C	-
Assembleia de Deus AD Caetés	0,0645	0,0463	27/06/2020	24	202710	8941318	sim	-	de ENE	0,5	26,4	Instável
Assembleia de Deus Morada do Planalto	0,0591	0,0424	27/06/2020	24	202710	8941318	sim	-	de ENE	0,5	26,4	Instável
Escola Mun. Professor Petrônio Viana	0,0587	0,0421	11/04/2020	20	202145	8941966	sim	-	de E	0,5	29,0	Instável
Igreja Evangélica Lírio dos Vales	0,0540	0,0388	30/10/2020	01	203022	8941237	sim	-	de ENE	0,5	25,4	Instável
Praça Nossa Senhora das Graças	0,0409	0,0293	17/01/2020	04	202599	8940768	-	não	de NE	2,6	25,4	instável
CRAS Cidade Sorriso	0,0404	0,0290	22/09/2020	01	201706	8941104	-	não	de ENE	0,5	25,5	Instável
E. M. P. Aurélio B. de Holanda Ferreira	0,0402	0,0289	15/12/2020	04	201820	8941218	-	não	de ENE	0,5	25,2	Instável
CREAS Benedito Bentes	0,0391	0,0281	27/06/2020	24	201948	8941124	-	não	de ENE	0,5	25,2	Instável
Esc. Est. Dom Otávio Barbosa de Aguiar	0,0388	0,0279	16/10/2020	23	201559	8943165	-	não	de ESE	0,5	25,9	Instável
Paróquia São João Bosco	0,0359	0,0258	22/11/2020	02	201274	8942548	-	não	de ESE	0,5	23,9	Instável
CRAS Selma Bandeira	0,0328	0,0235	30/10/2020	01	201487	8940397	-	não	de ENE	0,5	25,4	Instável
USF Carla Nogueira	0,0315	0,0226	30/10/2020	01	201374	8940342	-	não	de ENE	0,5	25,4	Instável

Fonte: AERMOD. Elaborador pela autora (2022).

### 6.3.2 Cenário 2: Concentração máxima de H<sub>2</sub>S sobre os Receptores Sensíveis

Nesse item apresenta-se os resultados da modelagem especificamente para o Cenário 2, que ocorre para o período entre 06h e 12h. A partir da aplicação dos dados no software, a Tabela 16 apresenta os resultados do Cenário 2 da simulação da concentração máxima de H<sub>2</sub>S que foi de 0,0559 mg/m<sup>3</sup>, a qual é 1,3 vezes maior que o LPO de 0,042 mg/m<sup>3</sup>, valor suficiente para causar incomodo odorífero nas imediações próximas do aterro. Essa concentração máxima de 0,0559 mg/m<sup>3</sup> do período da manhã se reduz em 53% em relação a registrada de madrugada (00h – 06h) de 0,119 mg/m<sup>3</sup>.

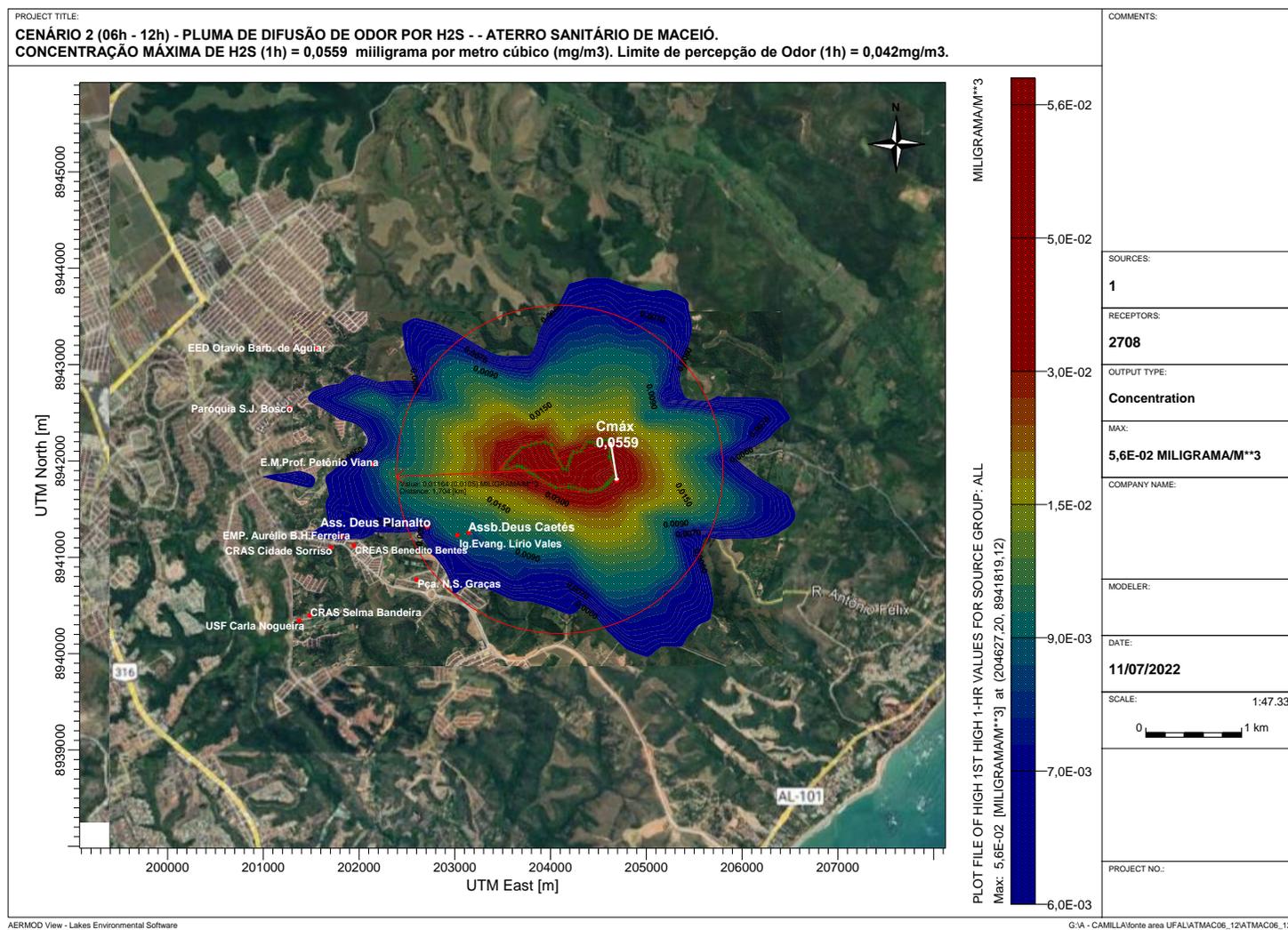
Tabela 16. Cenário 2 – Resultado da simulação da concentração de H<sub>2</sub>S no CTR – Maceió.

Poluente	Concentração Máxima (1h)		Localização do Máximo		Limite de Percepção LPO	
	(mg/m <sup>3</sup> )	(ppm)	X(m)	Y(m)	(mg/m <sup>3</sup> )*	(ppm)
H <sub>2</sub> S	0,0559	0,080957	203541,04	8942000,33	0,042	0,03

\*Fonte: National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) and California Ambient Air Quality. Standards (CAAQS) Attainment Status for South Coast Air Basin. CRITERIA (2016).

A Figura 26 mostra o mapa da distribuição espacial das isoconcentrações da difusão de odor por H<sub>2</sub>S. Esse fenômeno ocorre no período da manhã entre 06h e 12h, e observa-se que a pluma se expande seguindo sentido de este-sudeste (ESE) para oeste-noroeste (WNW) do aterro, se expandindo dentro de raio de 2 km aproximadamente a partir do centro do aterro. O que significa que, essa expansão da pluma impacta mais ou menos 33% do total de receptores localizados sob o espalhamento da pluma. Embora o ponto de concentração máxima de H<sub>2</sub>S, tenha ocorrido na borda à direita do CTR/MA, não significa que os receptores que não tenham sido afetados diretamente por esse valor máximo não estejam sendo impactado pela difusão do odor, o qual varia de percepção olfativa de cada indivíduo.

Figura 26. Cenário 2 – Mapa das isoconcentrações de H<sub>2</sub>S durante a manhã, médias de 1 hora.



Fonte: AERMOD. Elaborado pela autora (2022).

A Tabela 17 apresenta os resultados da simulação sobre os receptores sensíveis, onde se observa as concentrações comparadas com o Limite de Percepção Odorífera (LPO) e os parâmetros meteorológicos. As concentrações máximas de H<sub>2</sub>S sobre todos os receptores não violaram o LPO de 0,042mg/m<sup>3</sup>. O motivo é que no período da manhã o aquecimento da região ocorre rapidamente, desenvolvendo a convecção térmica que aumenta ligeiramente a dispersão turbulenta do ar e, na medida que o tempo avança para o meio o calor tende a reduzir as concentrações de H<sub>2</sub>S no nível do solo.

Apesar disso, não significa que a sensação de odor não esteja sendo sentido pelos receptores que varia de pessoa para pessoa pois depende da capacidade olfativa de cada um, isto é, mesmo que ocorra baixas concentrações é possível que um ou outro indivíduo possa sentir o odor com maior ou menor intensidade. Nessas concentrações, observa-se que o vento persistiu soprando da CTR para os receptores, ou seja, oscilando dos quadrantes estenordeste (ENE) para oestesudoeste (WSW) com velocidade moderada oscilando entre 0,5 m/s e 3,1m/s que tende a dispersar rapidamente a pluma de odor nesse período da manhã mantendo a condição de estabilidade atmosférica do tipo instável.

Portanto, a manutenção da condição instável justifica-se porque as condições climáticas na região de Maceió são predominantemente do tipo Tropical Quente sem frequência de avanço de massas de ar frio mesmo nos períodos da noite e madrugada. O modelo detectou que no período 06h às 12h a condição instável predominou, confirmado pelas temperaturas elevadas que variaram entre 24,2° C e 29,6° C os eventos ocorreram no segundo semestre do ano nos meses de agosto e dezembro.

Tabela 17. Cenário 2: Concentrações máximas de H<sub>2</sub>S e parâmetros meteorológicas sobre os receptores sensíveis.

RECEPTORES	Concentração Máxima de H <sub>2</sub> S		Data de ocorrência		Coordenadas		Limite de Percepção		Vento		Temp.	Estab.
	mg/m <sup>3</sup>	ppm	data	Hora	em UTM		0,042mg/m <sup>3</sup> (0,03ppm)		direção	Veloc.		
			dd/mm/ano	(h)	X(m)	Y(m)	Violou	Não violou	(Literal)	(m/s)	°C	-
Assembleia de Deus AD Caetés	0,0093	0,0067	05/12/2020	06	203145	8941255	-	não	de NE	1,0	29,6	instável
Assembleia de Deus Morada do Planalto	0,0069	0,0049	08/12/2020	06	202710	8941318	-	não	de E	2,5	28,4	Estável
Escola Mun. Professor Petrônio Viana	0,0084	0,0061	30/10/2020	06	202145	8941966	-	não	de E	1,0	29,0	Estável
Igreja Evangélica Lírio dos Vales	0,0094	0,0068	05/12/2020	06	203022	8941237	-	não	de NE	1,0	29,6	Instável
Praça Nossa Senhora das Graças	0,0052	0,0038	05/12/2020	06	202599	8940768	-	não	de NE	1,0	29,6	instável
CRAS Cidade Sorriso	0,0051	0,0036	08/12/2020	06	201706	8941104	-	não	de E	2,5	28,4	Estável
E. M. P. Aurélio B. de Holanda Ferreira	0,0065	0,0046	08/12/2020	06	201820	8941218	-	não	de E	2,5	28,4	Estável
CREAS Benedito Bentes	0,0051	0,0036	08/12/2020	06	201948	8941124	-	não	de E	2,5	28,4	Estável
Esc. Est. Dom Otávio Barbosa de Aguiar	0,0039	0,0028	20/08/2020	06	201559	8943165	-	não	de WNW	3,1	24,2	Instável
Paróquia São João Bosco	0,0045	0,0033	29/08/2020	06	201274	8942548	-	não	de ESE	0,5	25,0	Instável
CRAS Selma Bandeira	0,0035	0,0025	05/12/2020	06	201487	8940397	-	não	de NE	1,0	29,6	Instável
USF Carla Nogueira	0,0033	0,0023	05/12/2020	06	201374	8940342	-	não	de NE	1,0	29,6	Instável

Fonte: AERMOD. Elaborador pela autora (2022).

### 6.3.3 Cenário 3: Concentração máxima de H<sub>2</sub>S sobre os Receptores Sensíveis

Nesse item apresenta-se os resultados da modelagem para o Cenário 3 que ocorre para o período entre 12h e 18h. A Tabela 18 apresenta os resultados da simulação da concentração máxima de H<sub>2</sub>S que foi de 0,03904 mg/m<sup>3</sup>, a qual é 7% menor que o LPO de 0,042 mg/m<sup>3</sup>, que apesar disso, esse valor é suficiente para causar incômodos odoríferos sobre os receptores residentes próximos do aterro.

A concentração máxima de 0,03904 mg/m<sup>3</sup> do período da tarde se reduz em 30% em relação a registrada no período da manhã (06h – 12h). Isso ocorre porque a tarde a turbulência do ar se intensifica, devido a radiação solar forte, a temperatura máxima e o vento forte aumentam sua velocidade de dispersão atmosférica.

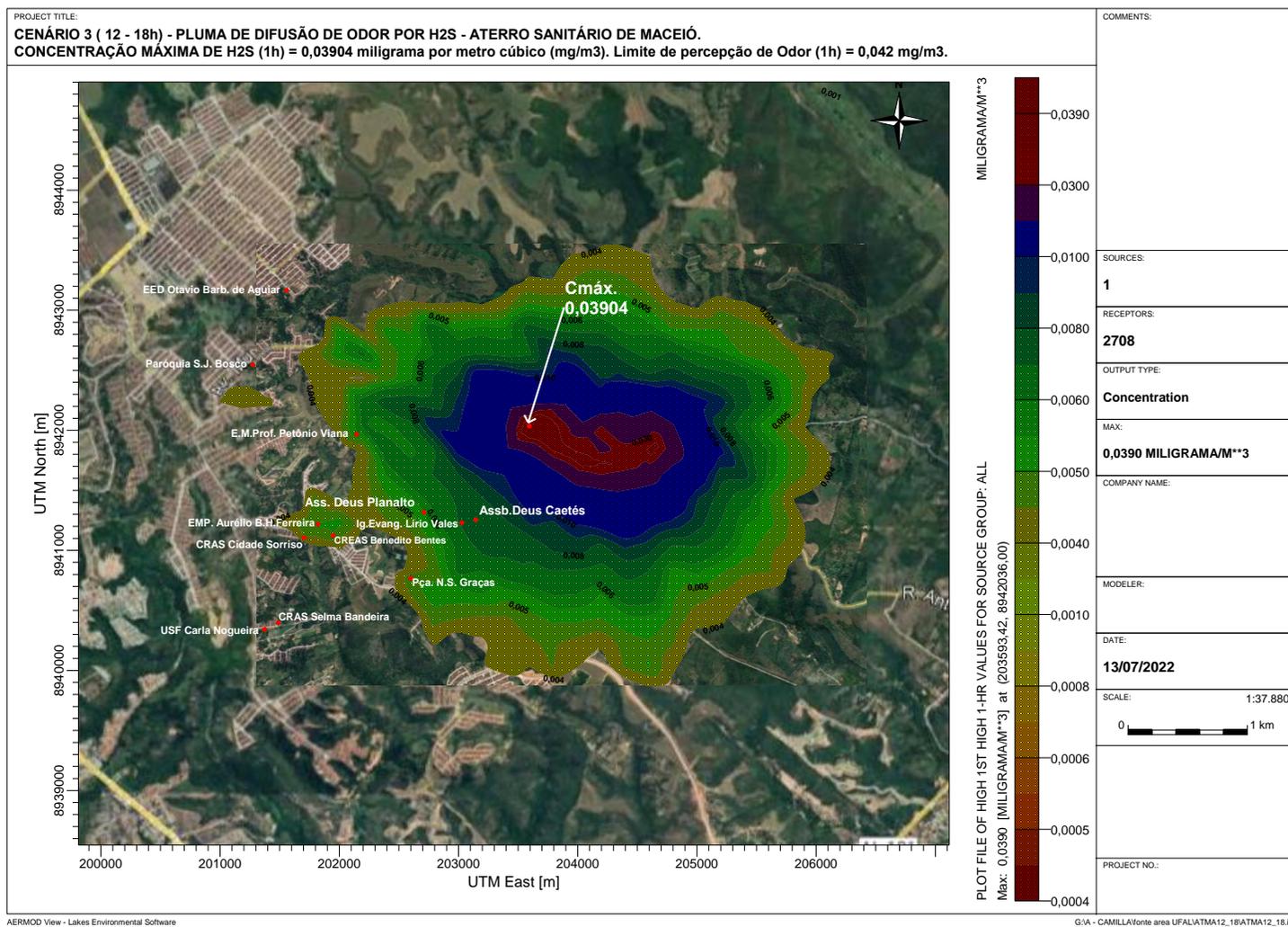
Tabela 18. Cenário 3 – Resultado da simulação da concentração de H<sub>2</sub>S no CTR – Maceió.

Poluente	Concentração Máxima (1h)		Localização do Máximo		Limite de Percepção LPO	
	(mg/m <sup>3</sup> )	(ppm)	X(m)	Y(m)	(mg/m <sup>3</sup> )*	(ppm)
H <sub>2</sub> S	0,03904	0,080957	203541,04	8942000,33	0,042	0,03

\*Fonte: National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) and California Ambient Air Quality Standards (CAAQS) Attainment Status for South Coast Air Basin. CRITERIA.

A Figura 27 mostra o mapa da distribuição espacial das isoconcentrações da difusão de odor por H<sub>2</sub>S. Esse fenômeno ocorre no período da tarde entre 12h e 18h, e nota-se que a pluma se expande seguindo sentido de esteseudeste (ESE) para oestenoeste (WNW) do aterro, atingindo um raio de 2 km aproximadamente a partir do centro do aterro. Significa que essa expansão da pluma impacta diretamente, com baixas concentrações de H<sub>2</sub>S, 7 receptores a saber: a Assembleia de Deus Caetés, a Igreja Evangélica Lírio Vales, a Assembleia de Deus Planalto, o CRAS Benedito Bentes, a Praça Nossa Senhora das Graças, a Escola Prof. Petrônio Viana e a Escola Municipal Professor Aurélio Viana.

Figura 27. Cenário 3 – Mapa das isoconcentrações de H<sub>2</sub>S durante a tarde, médias de 1 hora.



Fonte: AERMOD. Elaborado pela autora (2022).

Posto isto, a Tabela 19 apresenta os resultados da simulação sobre os receptores sensíveis, onde se observa as concentrações comparadas com o Limite de Percepção Odorífera (LPO) e os parâmetros meteorológicos. É possível observar que as concentrações máximas de H<sub>2</sub>S sobre todos os receptores não violaram o LPO de 0,042mg/m<sup>3</sup>. O motivo é que no período da tarde o aquecimento da região ocorre rapidamente, desenvolvendo a convecção térmica que aumenta a dispersão turbulenta do ar e, na medida que o tempo avança para o meio o calor tende a reduzir as concentrações de H<sub>2</sub>S no nível do solo.

Todavia, não significa que a sensação de odor não esteja sendo sentido pelos receptores, visto que varia de pessoa para pessoa por depende da capacidade olfativa de cada um, isto é, mesmo que ocorra baixas concentrações é possível que um ou outro indivíduo possa sentir o odor com maior ou menor intensidade. Nessas concentrações, observa-se que o vento persistiu soprando da CTR para os receptores, ou seja, oscilando dos quadrantes estenordeste (ENE) para oestesudoeste (WSW), com velocidade moderada oscilando entre 0,5 m/s e 3,1m/s que tende a dispersar rapidamente a pluma de odor nesse período da tarde mantendo a condição de estabilidade atmosférica do tipo instável.

Portanto, a manutenção da condição instável justifica-se porque as condições climáticas na região de Maceió são predominantemente do tipo Tropical Quente, sem frequência de avanço de massas de ar frio mesmo nos períodos da noite e madrugada.

Tabela 19. Cenário 3: Concentrações máximas de H<sub>2</sub>S e parâmetros meteorológicas sobre os receptores sensíveis.

RECEPTORES	Concentração Máxima de H <sub>2</sub> S		Data de ocorrência		Coordenadas		Limite de Percepção		Vento		Temp.	Estab.
	mg/m <sup>3</sup>	ppm	data	Hora	em UTM		0,042mg/m <sup>3</sup> (0,03ppm)		direção	Veloc.		
			dd/mm/ano	(h)	X(m)	Y(m)	Violou	Não violou	(Literal)	(m/s)	°C	-
Assembleia de Deus AD Caetés	0,0078	0,0067	15/04/2020	18	203145	8941255	-	não	de NE	1,5	29,5	instável
Assembleia de Deus Morada do Planalto	0,0055	0,0039	19/12/2020	18	202710	8941318	-	não	de ENE	1,5	27,8	Estável
Escola Mun. Professor Petrônio Viana	0,0054	0,0039	05/11/2020	18	202145	8941966	-	não	de E	1,0	29,0	Instável
Igreja Evangélica Lírio dos Vales	0,0072	0,0052	15/04/2020	18	203022	8941237	-	não	de NE	1,5	29,5	instável
Praça Nossa Senhora das Graças	0,0048	0,0034	15/04/2020	18	202599	8940768	-	não	de NE	1,5	29,5	instável
CRAS Cidade Sorriso	0,0044	0,0032	19/12/2020	18	201706	8941104	-	não	de ENE	1,5	27,8	Estável
E. M. P. Aurélio B. de Holanda Ferreira	0,0050	0,0037	19/12/2020	18	201820	8941218	-	não	de ENE	1,5	27,8	Estável
CREAS Benedito Bentes	0,0049	0,0035	19/12/2020	18	201948	8941124	-	não	de ENE	1,5	27,8	Estável
Esc. Est. Dom Otávio Barbosa de Aguiar	0,0038	0,0027	12/04/2020	18	201559	8943165	-	não	de ESE	1,5	24,2	Instável
Paróquia São João Bosco	0,0034	0,0024	09/03/2020	18	201274	8942548	-	não	de NE	3,6	31,0	Estável
CRAS Selma Bandeira	0,0024	0,0017	08/07/2020	18	201487	8940397	-	não	de NE	2,1	29,1	Instável
USF Carla Nogueira	0,0022	0,0016	08/07/2020	18	201374	8940342	-	não	de NE	2,1	29,1	Instável

Fonte: AERMOD. Elaborador pela autora (2022).

### 6.3.4 Cenário 4: Concentração máxima de H<sub>2</sub>S sobre os Receptores Sensíveis

Para este item, apresenta-se os resultados da modelagem especificamente para o Cenário 4, que ocorre para o período entre 18h e 00h. A Tabela 20 apresenta os resultados do Cenário 4 da simulação da concentração máxima de H<sub>2</sub>S que foi de 0,05590 mg/m<sup>3</sup>, a qual representa 33% maior que o LPO de 0,042 mg/m<sup>3</sup>, esse valor é suficiente para causar incômodos odoríferos sobre os receptores residentes próximos do aterro.

A concentração máxima de 0,05590 mg/m<sup>3</sup> é em 43% maior que a ocorrida no período da tarde (12h – 18h). Isso ocorre porque a noite a turbulência do ar se enfraquece, devido à ausência da radiação solar forte, a queda da temperatura média e a velocidade do vento também se enfraquece reduzindo, com isso, a capacidade da dispersão atmosférica, a consequência é a elevação da concentração do H<sub>2</sub>S emanado do aterro.

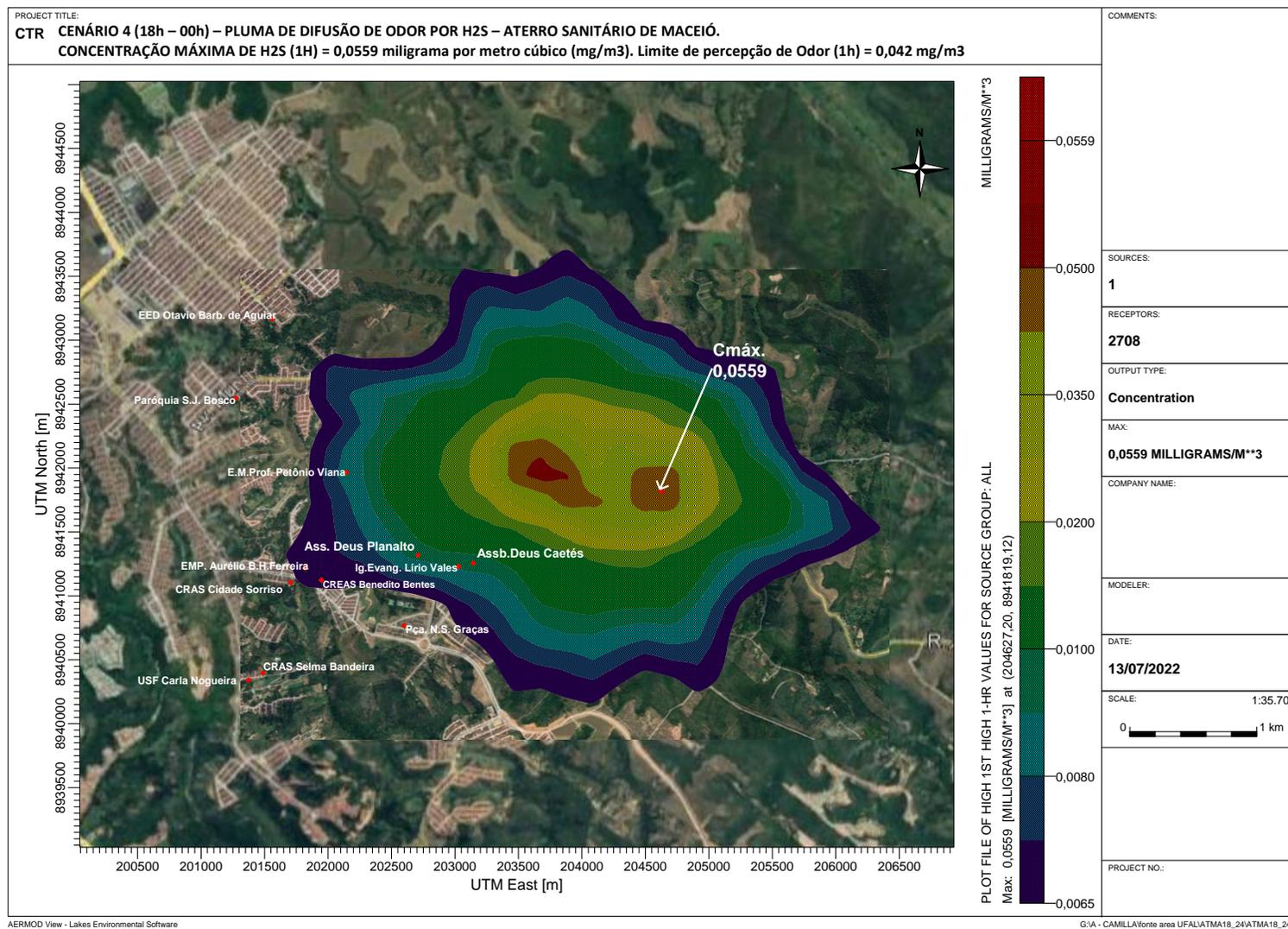
Tabela 20. Cenário 4 – Resultado da simulação da concentração de H<sub>2</sub>S no CTR – Maceió.

Poluente	Concentração Máxima (1h)		Localização do Máximo		Limite de Percepção LPO	
	(mg/m <sup>3</sup> )	(ppm)	X(m)	Y(m)	(mg/m <sup>3</sup> )*	(ppm)
H <sub>2</sub> S	0,05590	0,080957	204627,20	8941819,12	0,042	0,03

\*Fonte: National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) and California Ambient Air Quality. Standards (CAAQS) Attainment Status for South Coast Air Basin. CRITERIA.

A Figura 28 mostra o mapa da distribuição espacial das isoconcentrações da difusão de odor por H<sub>2</sub>S. Esse fenômeno ocorre no período da noite entre 18h e 00h, e nota-se que a pluma se expande seguindo sentido de este-sudeste (ESE) para oeste-noroeste (WNW) do aterro, atingindo um raio de 2 km aproximadamente, a partir do centro geométrico do aterro. Essa expansão da pluma impacta diretamente com concentrações de H<sub>2</sub>S mais elevada, os 5 receptores mais próximos a saber: a Assembleia de Deus Caetés, a Igreja Evangélica Lírio Vales, a Assembleia de Deus Planalto, o CRAS Benedito Bentes, e a Escola Municipal Professor Aurélio Viana.

Figura 28. Cenário 4 – Mapa das isoconcentrações de H<sub>2</sub>S durante a noite, médias de 1 hora.



Fonte: AERMOD. Elaborado pela autora (2022).

A Tabela 21, apresenta os resultados da simulação sobre os receptores sensíveis, onde se observa as concentrações comparadas com o Limite de Percepção Odorífera (LPO) e os parâmetros meteorológicos. Observa-se que as concentrações máximas de H<sub>2</sub>S sobre todos os receptores não violaram o LPO de 0,042mg/m<sup>3</sup>. O motivo, é que no período ao anoitecer a atmosfera local ainda está em processo de resfriamento e o efeito residual do aquecimento persiste na região pelo menos até às 00h, alimentando o processo de boa dispersão atmosférica.

Apesar disso, não significa que a sensação de odor não esteja sendo sentido por receptores próximos, pois depende da capacidade olfativa de cada de cada pessoa, isto é, mesmo que ocorra baixas concentrações é possível que um ou outro receptor humano possa sentir o odor com maior ou menor intensidade. Nessas concentrações, percebe-se que o vento persistiu soprando da CTR para os receptores, ou seja, oscilando dos quadrantes oeste-sudoeste (WSW) e este-nordeste (ENE), com velocidades oscilando entre 1,0 m/s e 3,1m/s, a qual tende a dispersar rapidamente a pluma de odor nesse período da noite mantendo a condição de estabilidade atmosférica do tipo instável.

Dessa forma, a manutenção da condição instável justifica-se porque as condições climáticas na região de Maceió são predominantemente do tipo Tropical Quente sem frequência de avanço de massas de ar frio mesmo nos períodos da noite e madrugada.

Tabela 21. Cenário 4: Concentrações máximas de H<sub>2</sub>S e parâmetros meteorológicas sobre os receptores sensíveis.

RECEPTORES	Concentração Máxima de H <sub>2</sub> S		Data de ocorrência		Coordenadas		Limite de Percepção		Vento		Temp.	Estab.
	mg/m <sup>3</sup>	ppm	data	Hora	em UTM		0,042mg/m <sup>3</sup> (0,03ppm)		direção	Veloc.		
			dd/mm/ano	(h)	X(m)	Y(m)	Violou	Não violou	(Literal)	(m/s)	°C	-
Assembleia de Deus AD Caetés	0,0094	0,0067	22/12/2021	24	203145	8941255	-	não	de WNW	1,5	27,4	Instável
Assembleia de Deus Morada do Planalto	0,0098	0,0070	27/06/2020	24	202710	8941318	-	não	de WNW	2,6	27,8	Instável
Escola Mun. Professor Petrônio Viana	0,0089	0,0064	06/11/2020	24	202145	8941966	-	não	de E	0,5	27,4	Instável
Igreja Evangélica Lírio dos Vales	0,0094	0,0067	15/04/2020	19	203022	8941237	-	não	de NE	1,0	29,5	Instável
Praça Nossa Senhora das Graças	0,0057	0,0041	22/11/2021	18	202599	8940768	-	não	de WNW	1,5	27,4	Instável
CRAS Cidade Sorriso	0,0064	0,0046	27/06/2020	24	201706	8941104	-	não	de WNW	2,6	27,5	Instável
E. M. P. Aurélio B. de Holanda Ferreira	0,0073	0,0052	06/02/2020	19	201820	8941218	-	não	de E	3,1	25,5	Estável
CREAS Benedito Bentes	0,0077	0,0055	27/06/2020	24	201948	8941124	-	não	de ENE	0,5	26,3	Estável
Esc. Est. Dom Otávio Barbosa de Aguiar	0,0050	0,0036	06/10/2020	24	201559	8943165	-	não	de E	3,1	29,8	Estável
Paróquia São João Bosco	0,0048	0,0034	09/11/2021	24	201274	8942548	-	não	de ESE	1,0	27,5	Estável
CRAS Selma Bandeira	0,0034	0,0024	15/04/2020	19	201487	8940397	-	não	de NE	1,0	27,9	Instável
USF Carla Nogueira	0,0032	0,0023	15/04/2020	19	201374	8940342	-	não	de NE	2,1	29,1	Instável

Fonte: AERMOD. Elaborador pela autora (2022).

#### 6.4 Discussão dos Resultados das Concentrações Máximas

A *primeira maior* concentração máxima de  $0,119 \text{ mg/m}^3$  ocorreu no Cenário 1 (entre 00h e 06h) que representa período em que a estratificação da atmosfera tende a enfraquecer a atividade turbulenta do ar que reflete no aumento da concentração de  $\text{H}_2\text{S}$ , cujo valor é 2,8 vezes maior que o Limite de Percepção odorífera (LPO) de  $0,042 \text{ mg/m}^3$ . Portanto nesse período a difusão de odor é maior sobre todos os receptores residentes no entorno do aterro.

A *segunda maior* concentração máxima de  $0,0559 \text{ mg/m}^3$  ocorreu no Cenário 2 (entre 06h e 12h) que representa um período de transição atmosférica entre o resfriamento da madrugada e o rápido aquecimento após o nascer do sol, que dar início à movimentação turbulenta do ar e a dispersão atmosférica tende a reduzir as concentrações de  $\text{H}_2\text{S}$ , em relação à concentração máxima durante a madrugada,

A *terceira maior* concentração máxima de  $0,0559 \text{ mg/m}^3$  ocorreu no Cenário 4 (entre 18h e 00h), cujo valor é igual ao ocorrido na parte da manhã. Esse fenômeno atmosférico é semelhante ao observado na parte da manhã em situação inversa. Ao anoitecer após o pôr do sol a turbulência atmosférica tende a enfraquecer resultando no aumento gradativo das concentrações até atingir o valor máximo durante a madrugada, conforme mostra o resultado do Cenário 1 (madrugada).

A *quarta maior* Concentração máxima de  $0,03904 \text{ mg/m}^3$  ocorreu no Cenário 3 (entre 12h e 18h), cujo valor representa 7% do Limite de Percepção odorífera (LPO) de  $0,042 \text{ mg/m}^3$ . Nesse período da tarde as turbulências do ar mecânica e térmica se intensificam, devido a radiação solar forte, a temperatura máxima e a velocidade do vento mais forte fatores suficientes para reduzir bastante as concentrações de  $\text{H}_2\text{S}$  e diminuindo o impacto de odor sobre os receptores expostos à pluma de odor. Posto isto, a Tabela 22 apresenta os resultados comparativos das concentrações máximas entre os quatro cenários em ordem decrescente.

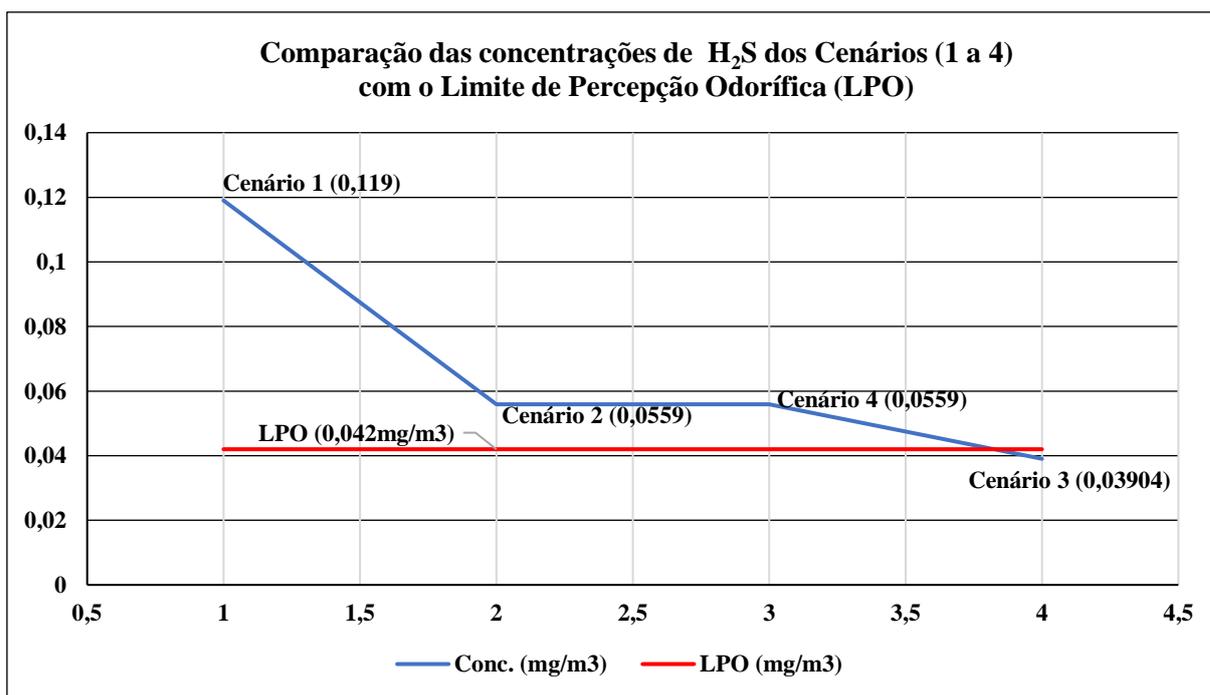
Tabela 22. Resultados das concentrações máximas de  $\text{H}_2\text{S}$  no CTR/MA.

Cenário	Concentração Máxima (1h)		Localização do Máximo		Limite de Percepção LPO	
	( $\text{mg/m}^3$ )	(ppm)	X(m)	Y(m)	( $\text{mg/m}^3$ )*	(ppm)
1(madrugada)	0,119	0,085317	204593,42	8941836,00	0,042	0,03
2(manhã)	0,0559	0,080957	203541,04	8942000,33		
4(à noite)	0,0559	0,080957	204627,20	8941819,12		
3(à tarde)	0,03904	0,080957	203541,04	8942000,33		

\* Fonte: National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) and California Ambient Air Quality Standards (CAAQS) Attainment Status for South Coast Air Basin. CRITERIA.

Todavia, a Figura 29 ilustra a comparação das concentrações máximas de H<sub>2</sub>S dos respectivos Cenários com o Limite de Percepção de Odor (LPO). Observa-se que existem receptores do Cenário 1 (madrugada) com valores acima do LPO e outros que estão abaixo. Para os demais cenários, todas as concentrações estão abaixo do LPO.

Figura 29. Comparação dos Cenários (1 a 4) das concentrações Máximas de H<sub>2</sub>S com o (LPO).



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

## 6.5 Discussão dos Resultados das Concentrações sobre os Receptores

A Tabela 23, mostra a comparação dos resultados da modelagem obtidos para cada Cenário sobre os receptores sensíveis. Observa-se que o Cenário 1 (madrugada), apresenta as maiores concentrações de H<sub>2</sub>S em relação aos demais Cenários com valores acima do LPO, sendo que o impacto ambiental direto sobre os receptores mais vulneráveis por odor pelo gás de H<sub>2</sub>S são: Assembleia de Deus A.D. Caetés, Assembleia de Deus Morada do Planalto, Escola Municipal Professor Petrônio Viana e a Igreja Evangélica Lírio dos Vales.

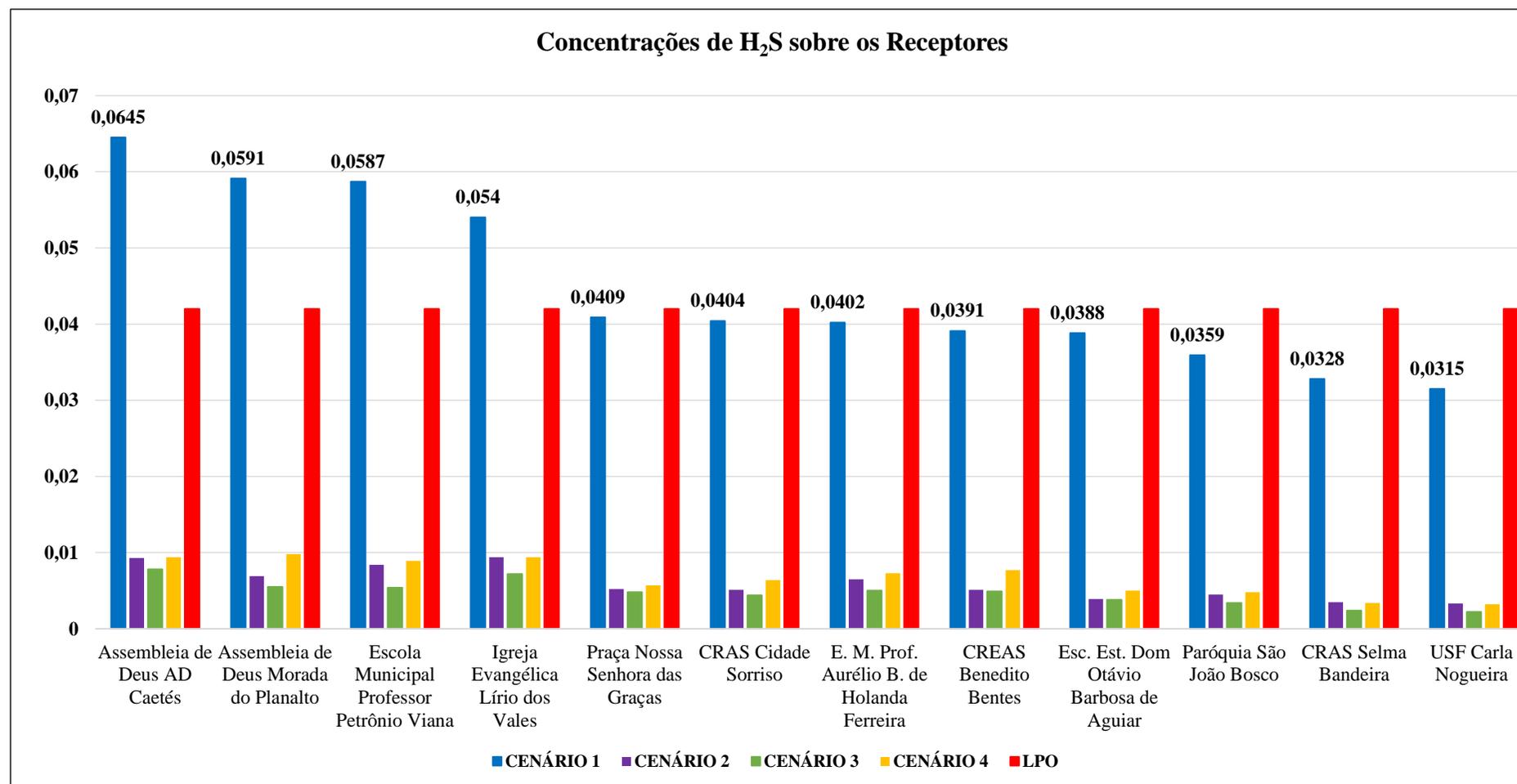
Tabela 23. Comparação entre os resultados das concentrações de H<sub>2</sub>S dos 4 Cenários sobre os receptores.

RECEPTORES	Concentrações de H <sub>2</sub> S – médias de 1 hora.				
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	LPO
	(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )
Assembleia de Deus AD Caetés	0,0645	0,0093	0,0078	0,0094	0,042
Assembleia de Deus Morada do Planalto	0,0591	0,0069	0,0055	0,0098	0,042
Escola Mun. Professor Petrônio Viana	0,0587	0,0084	0,0054	0,0089	0,042
Igreja Evangélica Lírio dos Vales	0,054	0,0094	0,0072	0,0094	0,042
Praça Nossa Senhora das Graças	0,0409	0,0052	0,0048	0,0057	0,042
CRAS Cidade Sorriso	0,0404	0,0051	0,0044	0,0064	0,042
E. M. P. Aurélio B. de Holanda Ferreira	0,0402	0,0065	0,005	0,0073	0,042
CREAS Benedito Bentes	0,0391	0,0051	0,0049	0,0077	0,042
Esc. Est. Dom Otávio Barbosa de Aguiar	0,0388	0,0039	0,0038	0,005	0,042
Paróquia São João Bosco	0,0359	0,0045	0,0034	0,0048	0,042
CRAS Selma Bandeira	0,0328	0,0035	0,0024	0,0034	0,042
USF Carla Nogueira	0,0315	0,0033	0,0022	0,0032	0,042
<b>MÉDIAS</b>	<b>0,04466</b>	<b>0,00593</b>	<b>0,00473</b>	<b>0,00675</b>	<b>0,042</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para demonstrar esse resultado de forma concisa, o gráfico de histograma da Figura 30 mostra quais são os receptores mais vulneráveis a serem impactados acima do valor do LPO de 0,042 mg/m<sup>3</sup> e, em contrapartida, os receptores que estão abaixo desse limite.

Figura 30. Concentrações de H<sub>2</sub>S sobre os receptores acima do LPO e os que estão com valores abaixo, médias de 1 hora.



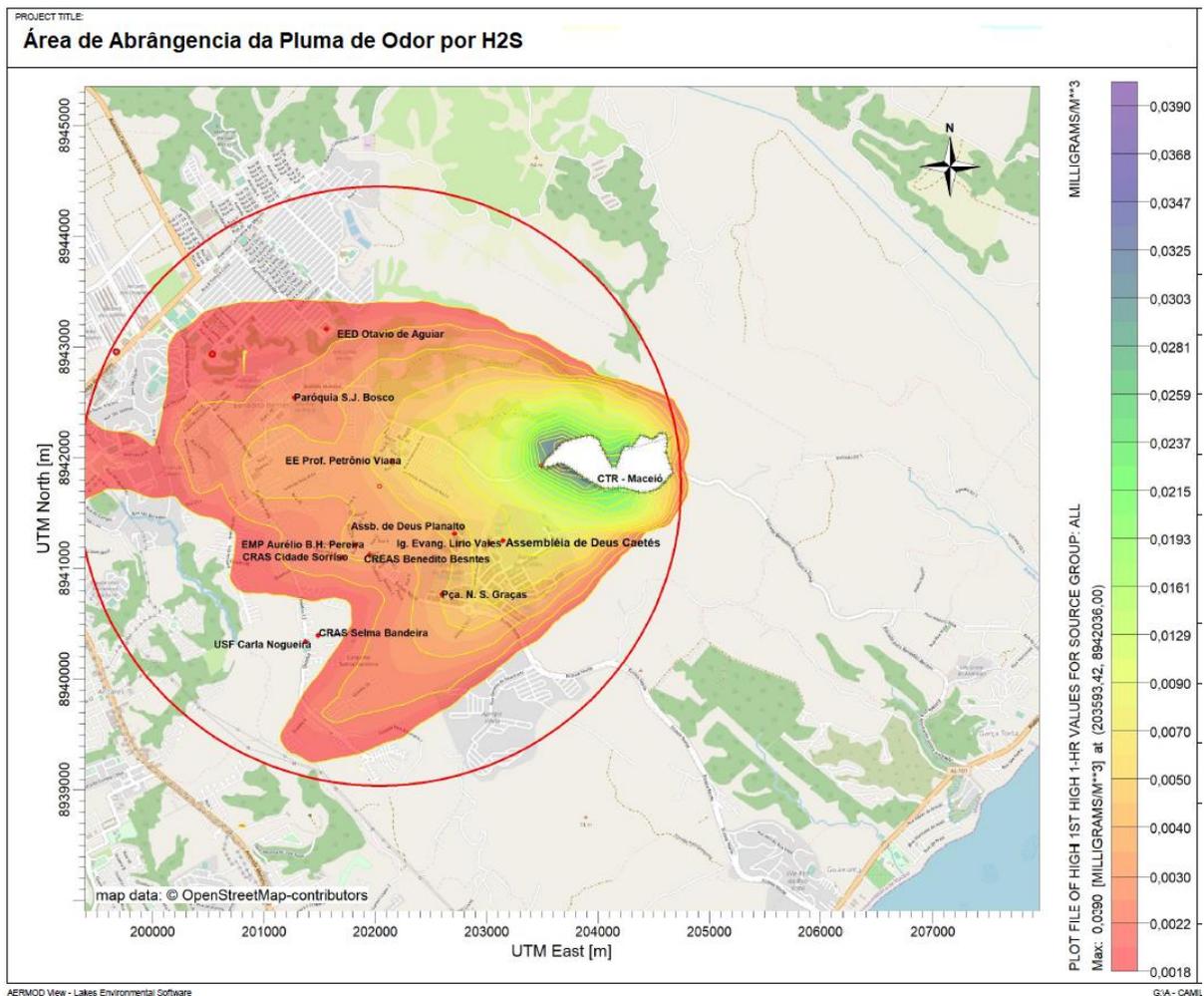
Fonte: Elaborado pela autora (2022)

## 6.6 Tendência de Difusão da pluma de odor

De acordo com o vento predominante soprando no sentido de noroeste para sudoeste sobre os receptores instalados a oeste da região do aterro, a trajetória média da pluma de odor se mantém conforme mostra o mapa da Figura 31 as concentrações se reduzem radialmente à medida que se afasta do aterro.

A pluma de  $H_2S$  se espalha sobre uma área de 25  $km^2$  atingindo todos os receptores instalados a oeste do aterro sendo os mais próximos mais impactados. Esse processo persiste ao longo de todo ano, tendo em vista que o microclima da região não composto de estações do ano definida, acredita-se que predominantemente existe duas uma de inverno (muita chuva) e outra de verão (seco e muito quente).

Figura 31. Área de abrangência da pluma de odor por  $H_2S$ , sobre os receptores sensíveis no entorno do aterro.



Fonte: AERMOD. Elaborador pela autora (2022).

## 6.7 Considerações Finais

Após as análises nota-se que os receptores instalados próximo a região da Central de Tratamento de Resíduos sofrem interferência de forma direta com a emissão do gás sulfídrico ( $H_2S$ ). Esse processo perdura-se durante o ano, tendo em vista que o clima da região de Maceió é instável, influenciando diretamente nas emissões atmosféricas.

O estudo apontou que o cenário com maior difusão de  $H_2S$  é o das 00h às 06h, madrugada, impactando diretamente sobre os receptores mais vulneráveis, sendo possível visualizar no mapa de difusão de odor, o qual apresentou a tendência de espalhamento sobre os receptores sensíveis mais próximos e reduzindo radialmente à medida que se afastam do aterro.

Comparando com outros estudos, observa-se que as tendências estão parecidas, contudo os resultados alcançados dependem da localização do meio transmissor, do clima da região, condições meteorológicas, dentre outros.

Grande parte dos trabalhos utilizados como base para esta pesquisa apontam que o controle do  $H_2S$  dos aterros sanitários é importante para a saúde pública e a proteção do meio ambiente. Muitos autores revisaram o desenvolvimento acadêmico atual sobre a formação de  $H_2S$  em aterros, o risco ambiental, os níveis de gás no ambiente e seu controle, uma vez que a emissão de sulfeto de hidrogênio varia com a composição e idade dos resíduos, as condições ambientais e os fatores meteorológicos.

Ressalta-se que, embora existam muitos métodos disponíveis para controle de  $H_2S$  em aterros sanitários, a seleção de tecnologias eficientes deve ser baseada em muitas considerações, como composição do lixo, localização do aterro, clima, condição, eficiência de remoção e o custo inicial e operacional. Além disso, outros compostos causadores de odor também precisam ser estudados e analisados para controle em aterros.

## 7 CONCLUSÕES

O trabalho em questão avaliou a difusão de uma pluma de odor por H<sub>2</sub>S, produzida pela decomposição de resíduos orgânicos pelo Centro de Tratamento de Resíduos de Maceió. Ressalta-se que a principal característica do H<sub>2</sub>S é apresentar um forte odor desagradável (característico de ovo podre) com elevada toxicidade, com limite de tolerância (TLV) de 0,03ppm de 1 hora.

Analisando os resultados obtidos, e diante dos principais tópicos dos itens que foram abordados na dissertação, é possível concluir que o H<sub>2</sub>S é um gás que emite odor sobre os receptores sensíveis instalados no entorno do Aterro, sendo que no período da madrugada o odor é mais intenso com concentrações acima do Limite de Percepção Odorífera (LPO), sendo igual a 0,042 mg/m<sup>3</sup>. O principal impacto são os efeitos toxicológicos na saúde e incômodo sobre os receptores humanos residentes no entorno do aterro, conforme ficou demonstrado no estudo através da simulação com o modelo de dispersão atmosférica AERMOD.

Tomando-se por base os valores dos limites de percepção olfativa e de toxicidade do H<sub>2</sub>S apresentado no presente estudo, observou-se que as concentrações de gás sulfídrico contidas no biogás podem ser significativas e, portanto, poderão ser tratados como questões relevantes para se fazer em estudos futuros o aproveitamento energético do biogás no Centro de Tratamento de Resíduos de Maceió.

É fundamental o esclarecimento sobre a toxidez do H<sub>2</sub>S, que dependendo da concentração pode levar o homem a morte em questão de minutos. Além disso, as pequenas concentrações em exposições diárias podem causar danos e desconforto ao homem. É importante a utilização de processos de remoção de H<sub>2</sub>S e outros gases poluentes, que contemplem seu aproveitamento para outros processos, preservando o meio ambiente e a saúde humana.

Dessa forma, recomenda-se às autoridades de saúde pública do município de Maceió, que esse problema existe e necessita de uma ação incisiva para prevenir em futuro próximos sérios problemas de saúde na população residente devido a expansão do gás. Portanto, requer ações de controle da emissão de H<sub>2</sub>S do aterro sob pena do agravamento maior desse problema na medida em que as toneladas diárias de resíduos orgânicos que vão se acumulando no CTR/MA. Finalmente, a emissão de odores por H<sub>2</sub>S decorrentes principalmente das operações

de manuseio e disposição final de resíduos, é um fator preocupante dentre os impactos gerados pelo aterro, abrangendo um raio superior a 1 km.

Como sugestões de trabalhos futuros, recomenda-se um acompanhamento constante da difusão de odor de H<sub>2</sub>S no aterro, através de medições mensais das emissões de gases nos drenos da Central de Tratamento de Resíduos, efetuando controle desses dados com ferramentas específicas, a exemplo do AERMOD View, de modo a garantir a eficiência dos processos, reduzindo impactos ambientais e sociais.

Por fim, reitero que esta pesquisa é parte do Projeto CTR, que tem como objetivo o monitoramento ambiental do aterro sanitário de Maceió, tendo sido criado com o intuito de desenvolver pesquisa aplicada às necessidades do aterro, no que diz respeito a tecnologias ambientais, numa iniciativa conjunta da V2 Ambiental SPE S/A e da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, com disponibilidade de bolsa acadêmica.

## REFERÊNCIAS

ABREU, R.C.S. & SANTANA, D. F. **Análise de Percepção Ambiental Sobre a Dispersão de Odor em Aterro Sanitário Próximo a Centro Urbano**. 2019. Revista de Engenharia e Tecnologia. V. 11, Nº. 4.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY – ATSDR. **Health consultation, exposure investigation report for airborne exposures to hydrogen sulfide**. 2008. Atlanta, GA: ATSDR.

AGENDA A. **10 anos sem Lixão: como Maceió virou referência com um dos mais modernos aterros sanitários do país**. Publicado em 12 de junho de 2020. Disponível em: <https://www.agendaa.com.br/negocios/economia/8391/2020/06/12/10-anos-sem-lixao-como-maceio-virou-referencia-com-um-dos-mais-modernos-aterros-sanitarios-do-pais>. Acesso em maio de 2021.

ALAGOAS. Legislação Estadual – Alagoas. Lei nº 7.653 de 24 de julho de 2014. **Dispõe sobre as atividades pertinentes ao controle da poluição atmosférica, padrões e gestão da qualidade do ar, conforme especifica e adota outras providências**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH, Alagoas, 2014.

ALMEIDA, Márbara Vilar de Araújo. **Comportamento biodegradativo do aterro sanitário em Campina Grande – PB em função dos subprodutos gerados**. / Márbara Vilar de Araújo Almeida. – Campina Grande, 2020. 154 f.: il.

ARAUJO, Ivan Roberto Santos. **Simulação da dispersão de poluentes atmosféricos e avaliação da qualidade do ar na área de abrangência do Distrito Industrial de Barcarena-PA**. Dissertação. Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Instituto de Geociências, Programa de Pós- Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2012.

ARAÚJO, L. G. S. **Avaliação do lixiviado de aterro sanitário: geração e tecnologias de tratamento**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2019.

ASAKURA, H., MATSUTO, T., AND INOUE, Y. **Adopted technologies and basis for selection at municipal solid waste landfill facilities constructed in recent Years in Japan.** 2010. Waste Management & Research 28, 685–694.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004: Resíduos sólidos – classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

BARTON, L. L., AND PLUNKETT, R. M. **Sulfate-reducing bacteria: Environmental and technological aspects.** In G. Bitton (Ed.), Encyclopedia of environmental microbiology. 2002. New York: Wiley.

BERGERSEN, O., AND HAARSTAD, K. **Metal oxides remove hydrogen sulfide from landfill gas produced from waste mixed with plaster board under wet conditions.** 2008. Journal of the Air and Waste Management Association 58, 1014–1021.

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J., MIERZWA, J.C., BARROS, M., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., NEUSA, J, EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental – O desafio do desenvolvimento sustentável.** 2ª Edição. Pearson Prentice Hall. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2005.

BRASIL Lei Federal n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de aplicação e dá outras providências.** Brasília, DF, 1981.

BRASIL. **Censo, 2010.** IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/maceio/panorama>>. Acesso em: maio de 2022.

BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. **Lei n° 12.305** de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2 ed. Brasília, DF: Edições Câmara. 2012.

BRASIL. Presidência da República. **Lei n° 14.026** de 15 de julho de 2020. Marco Legal do Saneamento, 2020.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, Senado, 1988.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 18. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. Brasília, DF, 06 de maio de 1986.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 05. Dispõe sobre a criação do Programa Nacional de Controle da qualidade do Ar – PRONAR.** Brasília, DF, 15 de junho de 1989.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15 – Atividades e Operações Insalubres.** Manuais de Legislação Atlas. 77a Edição. São Paulo: Editora Atlas, 2016b.

BRASIL. **Resolução nº 03. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar previstos no PRONAR.** Brasília, DF, 28 de junho de 1990a.

BRASIL. **Resolução nº 08. Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição.** Brasília, DF, 06 de dezembro de 1990b.

BRASIL. **Resolução nº 382. Dispõe sobre os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos por fontes fixas.** Brasília, DF, 26 de dezembro de 2006.

BRASIL. **Resolução nº 430. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007.** Brasília, DF, 22 de dezembro de 2011.

BRASIL. **Resolução nº 491. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.** Brasília, DF, 19 de novembro de 2018.

CAAQS – **National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) and California Ambient Air Quality. Standards Attainment Status for South Coast Air Basin.** 2016. CRITERIA. Disponível em: <<https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/ambient-air-quality-standards>> acesso em 10 de junho de 2022.

CIMORELLI, A. J., S. G.; PERRY, R. F.; LEE, R. J.; PAINE, A.; VENKATRAM, J. C.; WEIL, and R. B. WILSON, (1996): **Current Progress in the AERMIC Model Development Program.** Preprints, *89th Annual Meeting Air and Waste Management Association*, Air and Waste Management Association, Pittsburgh, PA. 1996.

CIMORELLI, A.J. et al. (2004) - *AERMOD: Description of Model Formulation*. - U.S. EPA, U.S., 85 pp. Accessed April 22, 2022. Available: <http://www.epa.gov/scram001/tt26.htm#aermod>.

COSTA, Magdalena Duarte. **Estudos de Camadas de Cobertura de Aterros Sanitários em Colunas de Solos**. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife, 2015.

D'IMPORZANO, G., CRIVELLI, F., AND ADANI, F. **Biological compost stability influences odor molecules production measured by electronic nose during food-waste high-rate composting**. 2008. *Science of the Total Environment* 402, 278–284.

DAMASCENO, L. A. G. **Emissão fugitiva de metano através do sistema de cobertura de um aterro sanitário considerando a ocorrência de zonas com fissuramento**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica. Salvador – BA, 2018.

DEWIL, R., BAEYENS, J., ROELS, J., AND VAN DE STEENE, B. **Evolution of the total sulphur content in full-scale wastewater sludge treatment**. 2009. *Environmental Engineering Science* 26, 867–872.

DINCER, F., AND MUEZZINOGLU, A. **Chemical characterization of odors due to some industrial and urban facilities in Izmir, Turkey**. 2006. *Atmospheric Environment* 40, 4210–4219.

EAUK (2002a). **“Assessment of community response to odorous emissions”**. Environment Agency of United Kingdom. Bristol, July. Disponível em: <http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/SP4-095-TR-e-p.pdf>

EAUK (2002b). **“Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Technical note H4 – Draft horizontal guidance for odour Part 1 – regulation and permitting”**. Environment Agency of United Kingdom.

EAUK (2002c). **“Odour Guidance - Internal Guidance for the Regulation of Odour at Waste Management Facilities, Version. 3.0”**. Environment Agency of United Kingdom. July.

FANG, J. J., YANG, N., CEN, D. Y., SHAO, L. M., AND HE, P. J. **Odor compounds from different sources of landfill: Characterization and source identification**. 2012. Waste Management 32, 1401–1410.

FIOCRUZ. **Riscos Químicos**. Departamento de química - UFPR Segurança do trabalho e Ambiente. (2004). Disponível em <[http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab\\_virtual/riscos\\_quimicos.html](http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab_virtual/riscos_quimicos.html)>. Acesso em: 08 de junho de 2022.

FRANQUETO, R.; MARTINS, E. H.; CABRAL, A. R.; SCHIRMER, W. N. **Monitoramento de Emissões Fugitivas a Partir da Camada de Cobertura de Aterro Sanitário**. Revista UNINGÁ Review ISSN 2178-2571, Ciências Exatas, da Terra e Engenharias, 2020.

HALLMAN & ALDRICH. **Hydrogen sulfide in Manure Handling Systems: Health and Safety Issues**. Cornell University, 2006.

HAO, O. J. **Sulphate-reducing bacteria**. In Handbook of water and wastewater microbiology (Eds. Mara, D. and Horan, N. J.) (pp. 459–469). 2003. London: Academic Press.

HAUPERT, L. **Addressing Odour Issues in Cannabis Production**. Smell Science. 2018.

HE, R., XIA, F.-F., BAI, Y., WANG, J., AND SHEN, D.-S. **Mechanism of H<sub>2</sub>S removal during landfill stabilization in waste biocover soil, an alterative landfill cover**. 2012. Journal of Hazardous Materials 217–218, 67–75.

HE, R., XIA, F.-F., WANG, J., PAN, C.-L., AND FANG, C.-R. **Characterization of adsorption removal of hydrogen sulfide by waste biocover soil, an alternative landfill cover**. 2011. Journal of Hazardous Materials 186, 773–778.

INMET. **Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia**. 2022. disponível em <[www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)>. Acesso em 15 de junho de 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. (IPT). **Lixo municipal: manual de Gerenciamento Integrado**. 4<sup>a</sup> ed., São Paulo: Publicação IPT, 2018. 316 p.

KIM, K.-H., CHOI, Y. J., OH, S. I., SA, J. H., JEON, E. C., AND KOO, Y. S. **Shortterm distributions of reduced sulfur compounds in the ambient air surrounding a large landfill facility**. 2006. Environmental Monitoring and Assessment 121, 343–354.

KOERNER, R. M., DANIEL, D. E. **Final Covers for Solid Waste Landfills and Abandoned Drumps**. Thomas Telford & ASCE Press. 1997.

LANDAUD, S., HELINCK, S., AND BONNARME, P. **Formation of volatile sulfur compounds and metabolism of methionine and other sulfur compounds in fermented food**. Applied Microbiology and Biotechnology 77, 1191–1205. 2008.

LEE, S., XU, Q., BOOTH, M., TOWNSEND, T. G., CHADIK, P., AND BITTON, G. **Reduced sulfur compounds in gas from construction and demolition debris landfills**. 2006. Waste Management 26, 526–533.

LINS, E. A. M.; LINS, A. S. B. M.; CUNHA, L. V. F. C.; FILHO, L. O. C.; NASCIMENTO, R. F. **Aplicação da Matriz de Leopold na Avaliação dos Impactos Ambientais gerados pelo derramamento de petróleo nas praias do nordeste brasileiro – estudo de caso no município do Cabo de Santo Agostinho/PE**. Artigo publicado no 3º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Gramado – RS, 2020.

LIU, F., XU, Q., AND TOWNSEND, T. G. **Research on adsorption characteristics of several materials to H<sub>2</sub>S emitted from landfill**. International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (2011).

LOPES, R. L.; MACIEL, F. J.; JUCÁ, J. F. T. **Avaliação da emissão de metano em aterro experimental de resíduos sólidos na Muribeca/PE – Brasil**. REVISTA AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica, v. 5, n. 1, 2012, p. 107-116. ISSN 0718-378X

LORA, E.E.S. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

LYRA, D. G. P. **Modelo integrado de gestão da qualidade do ar da região metropolitana de Salvador**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. Campinas – SP, 2008.

MACEIÓ. Código Municipal de Meio Ambiente - LEI N.º 4.548, de 21 de novembro de 1996. **Dispõe sobre a administração do uso dos recursos ambientais, da proteção da qualidade do meio ambiente, do controle das fontes poluidoras da ordenação do uso do solo do**

**território do município de Maceió, de forma a garantir o desenvolvimento sustentável.** Câmara Municipal de Maceió, Alagoas, 1996.

MACHUCA ESPÍRITU, José Guillermo. **O Aterro Sanitário de Marituba: Estimativa e dispersão das emissões de biogás e a percepção da mudança da qualidade do ar pela população do entorno.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará. 2019.

MACIEL, F. J. **Estudo da geração, percolação e emissão de gases no Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca - PE.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pernambuco, Recife-PE, 2003.

MACIEL, F. J. **Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife-PE, 2009.

MAINIER, F.B. – **H<sub>2</sub>S: Rotas de aproveitamento industrial frente aos problemas de corrosão e contaminação ambiental.** Engevista, V.4 n<sup>o</sup> 6, p. 16-22, 2002.

MARTINS, E. M.; FORTES, J. D. N.; LESSA, R. de A. **Modelagem de Dispersão de Poluentes Atmosféricos: Avaliação de Modelos de Dispersão de Poluentes Emitidos por Veículos.** Revista Internacional de Ciências, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 2 - 19, jul. 2015. ISSN 2316-7041.

MELO, J. D. **Caracterização climática da cidade de Maceió como subsídio a decisões de planejamento.** 2009. Dissertação de Mestrado, UFAL, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, pág.61.

MENDONÇA, R. M. G. **Estudo da difusão de oxigênio em materiais de cobertura.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2007.

MENEZES, M. B. C. **Aproveitamento dos efluentes domésticos para geração de energia em condomínios residenciais de baixa renda.** Tese (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento). Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió – AL, 2016.

MUSSON, S. E., XU, Q., AND TOWNSEND, T. G. **Measuring the gypsum content of C&D debris fines**. 2008. *Waste Management* 28, 2091–2096.

NAAQS. NATIONAL AMBIENT AIR QUALITY STANDARDS. 2022. Disponível em: <<https://ww2.arb.ca.gov/resources/national-ambient-air-quality-standards>>. Acesso em 20 de junho de 2022.

NICELL, J. A. “**Assessment and regulation of odour impacts**”. 2009. *Atmospheric Environment* 43, pp. 196-206.

OLIVEIRA, R. F., BRAGA, R. M. Q. L. **Sistema de cobertura final de um aterro sanitário para a RMB de Belém-PA com emprego de resíduos da construção civil**. *R. gest. sust. Ambiente Florianópolis*, v. 6, n. 3, p. 573-596, out./dez. 2017. DOI: 10.19177/rgsa.v6e32017573-596

OMS. Organização Mundial da Saúde. **The World Health Reportm – Health Systems Financing: The Path to Universal Coverage**. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2010.

PEU, P., PICARD, S., DIARA, A., GIRAULT, R., B’ELINE, F., BRIDOUX, G., AND DABERT, P. **Prediction of hydrogen sulphide production during anaerobic digestion of organic substrates**. 2012. *Bioresource Technology* 121, 419–424.

QUALITEX Engenharia e Serviços. **Amostragem em Dreno de Gás na Camada de Cobertura do Aterro do Benedito Bentes – AL**. Relatórios Técnicos compreendendo os anos de 2016 a 2021, para a empresa solicitante V2 Ambiental SPE S/A, conforme propostas comerciais.

REDEMET. **Dados da estação meteorológica (EMS) do Aeroporto Internacional de Maceió**. 2022. Disponível em <[www.redemet.aer.mil.br](http://www.redemet.aer.mil.br)>. Acesso em 15 de junho de 2022.

RYCKEBOSCH, E., DROUILLON, M., AND VERUAEREN, H. **Techniques for transformation of biogas to biomethane**. 2011. *Biomass Bioenergy* 35, 1633–1645.

SADOWSKA-ROCIK, A., KURDZIEL, M., SZCZEPANIEC-CIECIAK, E., RIESENMEY, C., VAILLANT, H., BATTON-HUBERT, M., AND PIEJKO, K. **Analysis of odorous compounds at municipal landfill sites**. 2009. *Waste Management & Research* 27, 966–975.

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

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; MARDER, M.; ARAÚJO, L. G. S. **Geração quantitativa e qualitativa da emissão de biogás no aterro sanitário de Maceió**. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.11, n.5, p.401-408, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0037>.

SILVA, G. **Sulfeto de Hidrogênio H<sub>2</sub>S**. Página Saúde e Segurança do Trabalho: Perigos e Exposições. 2017. Disponível em <<https://saudeesegurancaotrabalho.com/perigos-exposicoes/sulfeto-de-hidrogenio.htm>>. Acesso em 30 de junho de 2022.

SIRONI, S., CAPELLI, L., CENTOLA, P., DEL ROSSO, R., AND GRANDE, M. I. **Odour emission factors for assessment and prediction of Italian MSW landfills odour impact**. 2005. Atmospheric Environment 39, 5387–5394.

SOUTH COAST AQDM (2020). Disponível em <<http://www.aqmd.gov/home/air-quality/meteorological-data/modeling-guidance>>. Acesso em 20 de junho de 2022.

STRETCH, D.; LAISTER, G.; STRACHAN, L.; SANER, M. “**Odour trails from landfill sites**”. 2001. Sardinia, Cagliari, Italy.

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of solid waste management**. 2. ed. Estados Unidos, 2002. DOI: 10.1036/0071356231.

TEIXEIRA, P. F. **Oxidação Biológica do Metano em Coberturas de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos: Dinâmica do Processo e Aspectos Geotécnicos**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

THÉ, J. L. et al. **AERMODView interface Windows, Lakes Environmental Software**, 1 a 937, 2021.

TIPPAYAWONG, N.; THANOMPONGCHART, P. **Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S in a packed column reactor**. Energy, v.35, n.12, p.4531-4535, 2010.

TREVISAN, T. S. **Avaliação da Geração do Sulfeto de Hidrogênio e seus riscos à saúde do trabalhador em estação de tratamento de esgoto**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia

de Segurança do Trabalho, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR. 2017.

USEPA – U.S. **Environmental Protection Agency. Preferred/Recommended Models.** Disponível em: <[http://www.epa.gov/scram001/dispersion\\_prefrec.htm](http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm)>. Último acesso em maio de 2021.

VASAREVICIUS, S. V., S. **Investigation and evaluation of H<sub>2</sub>S emissions from a municipal landfill.** Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 2011.

WIDDLE, F. **Microbiology and ecology of sulphate- and sulphur-reducing bacteria.** In A. J. B. Zehnder (Ed.), Biology of anaerobic microorganisms. 1988. New York: Wiley.

WINTER, G., AND CURTIN, C. **In situ high throughput method for H<sub>2</sub>S detection during micro-scale wine fermentation.** Journal of Microbiological Methods 91, 165–170. 2012.

XU, Q. Y., TOWNSEND, T., AND REINHART, D. **Attenuation of hydrogen sulfide at construction and demolition debris landfills using alternative cover materials.** 2010b. Waste Management 30, 660–666.

YING, D., CHUANYU, C., BIN, H., YUEEN, X., XUEJUAN, Z., YINGXU, C., AND WEIXIANG, W. **Characterization and control of odorous gases at a landfill site: A case study in Hangzhou, China.** Waste Management 32, 317–326. 2012.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – SOBRE O CLIMA DE MACEIÓ

As proximidades de Maceió e o litoral norte do estado podem ser classificadas pelo clima tropical chuvoso, com verão seco e inverno úmido. As temperaturas ficam entre 23°C e 28°C na região. As chuvas nesta área se concentram no inverno, registrando índices de precipitação entre 1800 e 2000 mm (Disponível em [Clima de Alagoas](#)).

### APÊNDICE B – TABELA SOBRE O SIGNIFICADO DAS SIGLAS DA DIREÇÃO DO VENTO

Direção do vento	Significado	Direção em (Graus)	Desvio padrão da Direção do Vento	Intervalo de validade da direção do vento.
<b>N</b>	<b>Norte</b>	360,0° ou 0,0°	± 11,25°	348,57£ N£ 11,25
<b>NNE</b>	<b>Nortenordeste</b>	22,5°	± 11,25°	11,25£ NNE£ 33,75
<b>NE</b>	<b>Nordeste</b>	45,0	± 11,25°	33,75£ NE£ 56,25
<b>ENE</b>	<b>Estenordeste</b>	67,5°	± 11,25°	56,25£ ENE£ 78,75
<b>E</b>	<b>Este</b>	90,0°	± 11,25°	78,75£ E£ 101,25
<b>ESE</b>	<b>Estesudeste</b>	112,5°	± 11,25°	101,25£ ESE £ 123,75
<b>SE</b>	<b>Sudeste</b>	135,0°	± 11,25°	123,75£ SE £ 146,25
<b>SSE</b>	<b>Sulsudeste</b>	157,5	± 11,25°	146,25£ SSE £ 168,75
<b>S</b>	<b>Sul</b>	180,0°	± 11,25°	168,75£ S£ 191,25
<b>SSW</b>	<b>Sulsudoeste</b>	202,5°	± 11,25°	191,25£SSW£ 213,75
<b>SW</b>	<b>Sudoeste</b>	225,0°	± 11,25°	213,75£ SW£ 236,25
<b>WSW</b>	<b>Oestesudoeste</b>	247,5°	± 11,25°	236,25£ WSW£ 258,75
<b>W</b>	<b>Oeste</b>	270,0°	± 11,25°	258,75£ W£ 281,25
<b>WNW</b>	<b>Oestenoroeste</b>	292,5	± 11,25°	281,25£ WNW £ 303,75
<b>NW</b>	<b>Noroeste</b>	315,0	± 11,25°	303,75£ NW£ 326,25
<b>NNW</b>	<b>Nortenoreste</b>	337,5°	± 11,25°	326,25£ NNW£ 348,75



